

**АХМЕТОВ АНВАР ТАХИРЖАНОВИЧ**

**Разработка распыляющего элемента станции  
профилактической обработки думпкаров**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

05.05.06 – Горные машины

Республика Казахстан  
Алматы, 2010

Работа выполнена в Казахском Национальном Техническом университете имени К.И.Сатпаева

Научный руководитель

доктор технических наук,  
профессор  
Столповских И.Н.

Официальные оппоненты

доктор технических наук,  
профессор  
Музапаров М.Ж.

кандидат технических наук  
доцент  
Чуприн В.П.

Ведущая организация

ДГП «ИГД им. Д. А. Кунаева»  
РГП «НЦ КПМС РК» МИТ  
РК

Защита состоится 27 октября 2010 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 14.61.23 при Казахском национальном техническом университете имени К.И.Сатпаева в конференц – зале НК по адресу: 050013, г.Алматы, ул.Сатпаева 22а, телефон: 8(7272)577156, факс 8(7272)926437; E-mail: ertomka@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КазНТУ имени К.И.Сатпаева по адресу: 050013,г.Алматы, ул.Сатпаева, 22, ГМК, на сайте [www.kazntu.kz](http://www.kazntu.kz) в разделе научная работа.

Автореферат разослан 26 сентября 2010 года

Ученый секретарь  
Диссертационного совета

Байгурин Ж.Д.

## Введение

**Актуальность проблемы.** Доминирующее положение на карьерах большой и средней мощности занимает железнодорожный или комбинированный автомобильно-железнодорожный транспорт. При этом значительную часть транспортируемой горной массы (до 30%) составляет рыхлая горная масса (а ее в основном и перевозит железнодорожный транспорт), причем чаще всего в переувлажненном состоянии. Перевозка рыхлой горной массы повышенной влажности средствами железнодорожного транспорта сопровождается ее интенсивным прилипанием, а в период отрицательных температур - примерзанием к рабочим поверхностям вагонов. Как следствие из-за падения коэффициента грузоподъемности производительность локомотивосоставов снижается на 15-20%. Поэтому борьба с прилипанием и примерзанием является для открытых горных работ весьма актуальной и важной проблемой, решение которой обеспечивает значительный рост производительности горнотранспортного оборудования.

При разработке вскрышных пород месторождений наиболее распространенным способом борьбы с прилипанием является профилактический способ, при котором на рабочую поверхность наносится тонкий слой гидрофобной жидкости (Ниогрин, КОС, универсин и т.д.), который предотвращает взаимодействие породы с поверхностью и позволяет предотвратить прилипание и примерзание горной массы.

Профилактическая обработка рабочей поверхности происходит на специальных пунктах. В качестве распыляющего элемента на данных пунктах обычно используются форсунки. При этом происходит распыление жидкости на внутреннюю поверхность думпкаров. Основным недостатком данного способа является снос профилактической жидкости в сторону от обрабатываемой поверхности при ветровом воздействии. Что приводит к большим потерям жидкости, снижению эффекта от обработки и загрязнению окружающей среды. Таким образом исследования направленные на уменьшение потерь жидкости и повышения точности обработки поверхности весьма актуальны как с производственной так и с экологической точки зрения. Экономичному и качественному решению этой проблемы и посвящена настоящая работа.

**Целью работы** является разработка конструкции специального щелевого распыляющего элемента, создающего плоскую треугольную струю, обладающую значительной устойчивостью к ветровой нагрузке, для повышения эффективности процессов транспортирования горной массы.

**Идея работы** заключается в использовании установленных аналитических зависимостей геометрических размеров струи от конструктивных параметров распыляющего элемента, позволяющих повысить точность обработки и снизить попадание профилактической жидкости на почву.

### **Задачи работы:**

- изучение современного состояния проблемы предотвращения прилипания и примерзания горной породы к рабочим поверхностям транспортного оборудования;
- исследование поведения жидкости в плоском расширяющемся канале с помощью математического моделирования методом конечных элементов;
- проведение экспериментальных исследований по выявлению эффективности работы распыляющего элемента и основных его параметров работы;
- обоснование и разработка конструкции распыляющего элемента;
- разработка методики расчета распыляющего элемента;
- оценка экономической эффективности разработанной конструкции распыляющего элемента в производственных условиях.

**Методы исследований.** При выполнении диссертационной работы использовался комплексный метод исследований, включающий анализ и научное обобщение научно-технической информации, математическое и компьютерное моделирование, экспериментальные исследования на специальном стенде, конструкторские разработки, методы математической статистики для обработки результатов экспериментов.

### **Научные положения и результаты, выносимые на защиту:**

1. Установленные закономерности поведения жидкости в плоском расширяющемся канале, позволяют выявить соотношения длины канала и прироста его ширины (конусности), при которых начинается образование плоской струи, что позволяет сократить расход профилактической жидкости и снизить ущерб окружающей среде.

2. Параметры струи, образуемой щелевым распыляющим элементом пропорциональны его геометрическим размерам и расположению до обрабатываемой поверхности, что позволяет установить рациональную конструкцию распыляющего элемента

3. Для создания и эффективной эксплуатации новых конструкций станций профилактической обработки думпкаров целесообразно использовать зависимости скорости потока струи жидкости и вектора её направления от значений входного давления и геометрических параметров распыляющего элемента, установленных математическим моделированием на основе метода конечных элементов в среде ANSYS.

**Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации, подтверждается использованием апробированных методик проведения экспериментов, методов математического моделирования, достаточной сходимостью результатов моделирования с экспериментальными и производственными данными.

### **Научная новизна результатов работы заключается в следующем:**

1. Разработана новая конструкция распыляющего элемента с плоским расширяющимся каналом – щелевой распыляющий элемент.

2. Установлены закономерности формирования струи распыляющего элемента в зависимости от длины щелевого канала.

3. Выявлена аналитическая зависимость ширины струи в месте контакта с обрабатываемой поверхностью в зависимости от расстояния элемента до обрабатываемой поверхности и конусности щелевого канала.

4. Разработана методика расчета рациональных параметров распыляющего элемента и его конусности.

**Практическое значение работы состоит в:**

– создании новой конструкции щелевого распыляющего элемента для станций обработки думпкаров профилактическими жидкостями;

– разработке методики расчета и выбора геометрических параметров щелевого распыляющего элемента;

– разработке конструкции испытательного стенда для проведения комплексных исследований по установлению зависимости геометрических параметров струи жидкости от геометрических параметров распыляющего элемента.

**Реализация выводов и рекомендаций работы.**

Разработанные по результатам исследований рекомендации реализованы в следующих формах:

– методика расчета параметров установки и конструктивных параметров щелевого распыляющего элемента приняты к использованию в АО ССГПО и в учебном процессе РГКП «Рудненский индустриальный институт».

**Апробация.** Основные положения диссертационной работы докладывались на различных международных конференциях: Международная научно-практическая конференция «Горно-перерабатывающая промышленность и наука» (Рудный, 2005); VII Международная научная конференция «Топорковские чтения» (Рудный, 2006); VIII Международная научная конференция «Топорковские чтения», (Рудный, 2008); 67 научно-техническая конференция МГТУ им. Г.И. Носова, (Магнитогорск, 2009); Конференция посвященная 50 лет РИИ (Рудный, 2009); VIII международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Диссертационная работа выполнена в КазНТУ им. К.И. Сатпаева.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х разделов, общих выводов и рекомендаций, изложена на 117 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунки, 12 таблиц, список литературы, включающий 117 наименований и приложения.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Горнодобывающая промышленность является основой экономического роста Республики Казахстан. Добыча рудного и нерудного сырья производится в основном открытым способом. Доминирующее положение на карьерах большой и средней мощности занимает железнодорожный или комбинированный автомобильно-железнодорожный транспорт. При этом

значительную часть транспортируемой горной массы (до 30%) составляет рыхлая горная масса (а ее в основном и перевозит железнодорожный транспорт), причем чаще всего в переувлажненном состоянии. Перевозка рыхлой горной массы повышенной влажности средствами железнодорожного транспорта сопровождается ее интенсивным прилипанием, а в период отрицательных температур - примерзанием к рабочим поверхностям вагонов. Как следствие из-за падения коэффициента грузоподъемности производительность локомотивосоставов снижается на 15-20%. Поэтому борьба с прилипанием и примерзанием является для открытых горных работ весьма актуальной и важной проблемой, решение которой обеспечивает значительный рост производительности горнотранспортного оборудования.

Данная проблема исследовалась в работах значительного числа ученых и исследователей, в частности, В.Э. Парунакян, Р.И. Синянская, В.Д. Кочулов, С.Ф. Малтасов, М.В. Васильев, Я.Ф. Вайнкоф, В.М. Разумов, Л.П. Круглов, А.П. Владимиров, А.Н. Зяблицев, И.С. Мельников, В.Н. Лозинский, И.Г. Олейников, Б.Д. Курочкин, С.И. Попов, М.Н. Заикин, В.Н. Харламов. Все предложенные ими способы предотвращения прилипания и примерзания горной породы отличаются теми или иными недостатками. Однако для карьерного железнодорожного транспорта наиболее распространенным способом предотвращения прилипания и примерзания горной массы является способ периодической обработки рабочих поверхностей транспортных сосудов специальными профилактическими жидкостями на нефтяной основе, основными достоинствами данного способа является его простота и довольно низкая стоимость профилактических жидкостей изготавливаемых из отходов нефтяного производства.

В АО ССГПО для нанесения профилактической жидкости на рабочие поверхности используются специальные профилактические пункты. В качестве распыляющего элемента на данных пунктах обычно используются форсунки. При этом происходит распыление жидкости на поверхность. Основным недостатком данного способа является снос профилактической жидкости в сторону от обрабатываемой поверхности при ветровом воздействии. Что приводит к большим потерям жидкости, снижению эффекта от обработки и загрязнению окружающей среды.

Причина этого явления связана с тем что в результате распыления жидкости происходит образование мелких капелек жидкости, которые вследствие своих маленьких размеров обладают большой летучестью. Обработка рабочей поверхности происходит на открытом воздухе. Месторождение расположено в степном районе с постоянной ветровой нагрузкой 360 дней в году, причем скорость ветра может достигать значительных величин (среднегодовая ветровая нагрузка 5 м/с, максимальная 20-24 м/с).

Устранение этого недостатка позволит значительно улучшить качество обработки думпкаров, снизить загрязнение окружающей среды, улучшить условия работы обслуживающего персонала.

Решение данной проблемы возможно двумя способами: устранение ветровой нагрузки путем создания защитных сооружений; отказаться от распыления жидкости и производить обработку тонкой плоской струей со значительной кинетической энергией, достаточной для преодоления ветровой нагрузки.

На данный момент распылителем создается тороидально-конусная струя. Предлагается создать плоскую треугольную струю.

Значительная парусность треугольной струи во фронтальном направлении нейтрализуется ее расположением перпендикулярно оси следования думпкара, и, следовательно, жидкость относимая ветром будет попадать на обрабатываемую поверхность.

При задании значительной скорости в верхней части потока (примерно в 3 раза выше скорости ветра) возможно добиться незначительного отбоя жидкости в сторону от направления обработки.

Для проектирования щелевого распыляющего элемента, необходимо хотя бы приближенно знать характер процессов протекающих в нем. Как и для любого гидравлического узла следует иметь представление о распределении давлений и скоростей в распыляющем элементе, а также, для данного случая, направления распространения потоков.

Для описания движения используются уравнения движения Навье-Стокса и замыкающее уравнение неразрывности потока.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \omega \frac{\partial u}{\partial z} &= F_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \omega \frac{\partial v}{\partial z} &= F_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} + \omega \frac{\partial \omega}{\partial z} &= F_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Задачей расчета движения реальной несжимаемой жидкости является нахождение вектора скорости, или, что то же, трех его проекций и давления. Таким образом, в общем случае требуется найти четыре скалярных функции координат и времени путем решения полученной системы. Для чего необходимо задать начальные и граничные условия. Для скорости граничные условия заключаются в том, что на твердой непроницаемой поверхности вектор скорости обращается в нуль. Сформулированная таким образом задача чрезвычайно сложна и не имеет до сих пор общего решения. Более того, для нее недоказана теорема о существовании и единственности решения. Точные аналитические решения краевых задач удается получить

лишь для немногих частных случаев, в основном для описания ламинарных потоков.

Решение задачи нестационарного движения жидкости в плоском расширяющемся канале наиболее рационально проводить с применением численных методов счисления. В частности, метод конечных элементов, реализуемый в программной среде ANSYS 9.0. Недостатком всех численных методов является определение решения в числовых результатах для определенных заданных условий. Поэтому чтобы иметь более подробное представление о процессах, протекающих в плоском расширяющемся канале решение, проводилось для различных значений геометрических параметров расширяющегося элемента.

Решение проводилось по расчетной схеме, приведенной на рисунке 1.

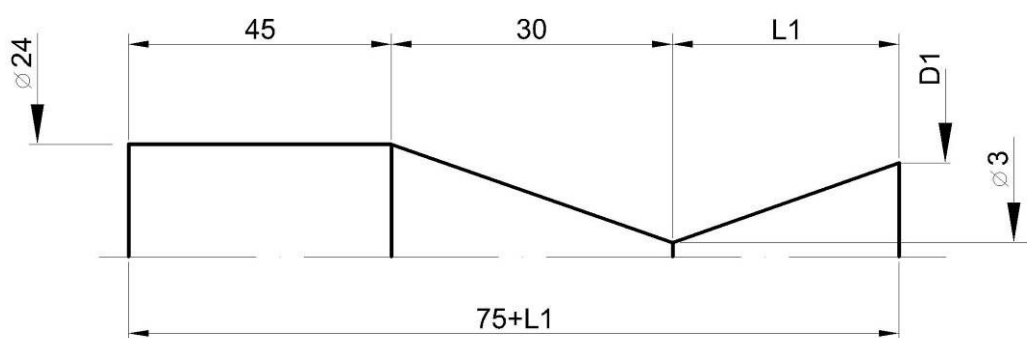


Рисунок 1 – Расчетная схема для решения задач движения жидкости в канале

В программной среде ANSYS возможно написание программ для решения однопоточных задач, к которым, несомненно, относится наш случай. После запуска программы появляется диалоговое окно с ячейками запросов изменяемых параметров (рисунок 2).

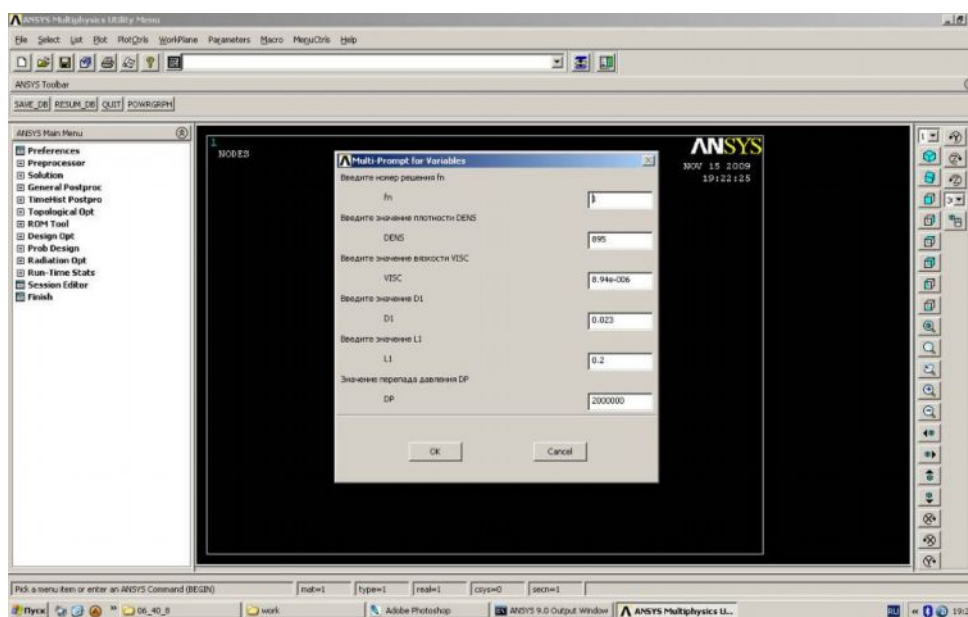


Рисунок 2 – Диалоговое окно запроса программы



В диалоговом окне запрашиваются следующие данные:

Номер решения	Fn (по умолчанию 1)
Значение плотности	DENS (по умолчанию $895 \text{ кг/м}^3$ )
Значение вязкости	VISC (по умолчанию $8,94 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )
Значение ширины щели	D1 (по умолчанию 0,023 м)
Значение длины щели	L1 (по умолчанию 0,2 м)
Значение перепада давления	DP (по умолчанию 2000000 Па)

Возможность изменения значения вязкости и плотности жидкости введено с целью влиять на эти параметры при возникновении необходимости дополнительных исследований. По умолчанию вводятся значения для специальной жидкости Ниогрин.

Решение проводилось для различных значений длины и ширины щели, а также давления жидкости. Для удобства анализа решения объединялись в комплексы по углу наклона боковой стенки щели. Поскольку геометрические расчеты с использованием угла довольно громоздки, угол наклона был заменен на тангенс угла наклона (в дальнейшем конусность щели). Для решений были приняты следующие конусности 0,1; 0,2; 0,3 .... 0,8; 0,9. В качестве длин щели приняты следующие данные 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 мм.

После проведения и анализа полученных решений были сделаны следующие выводы:

Решения для одинаковых соотношений приращения ширины щели на длину идентичны. Поскольку они имеют одинаковое развитие процессов изменения скорости и давления по длине щели. При этом процессы, протекающие при большей длине щели, представляют собой продолжение развития процессов протекающих при менее длинной щели. Данное явление в принципе объясняется тем, что щели с одинаковой конусностью представляют собой идентичные гидравлические сопротивления.

При конусностях 0,1 и 0,2 изменение скорости в щели по осям X и Y идет равномерно. Это возможно объяснить весьма плавным расширением щели.

При конусностях от 0,3 до 0,7 в щели появляется минимум скорости по X и появляется область отрицательной скорости по оси Y. Причиной чего может служить возникновение на границе щели вихревых возмущений связанных с более резким расширением щели. Размер таких возмущений незначительный и можно говорить о микровихрях на границе щели.

При конусностях от 0,8 до 0,9 минимум скорости по оси X и по оси Y сходятся в одной области. Что говорит о присутствии в данной области серьезного турбулентного завихрения.

При всех значениях конусности в устье щели возникает зона высоких значений скоростей по X и Y (назовем эту область «ядром скорости»), объясняемая переходом потенциальной энергии давления в кинетическую энергию скорости (закон Бернулли). Причем это явление является причиной возникновения возмущений описываемых ранее.

Суммируя все вышесказанное можно предположить, что процесс изменения скорости, протекающий в щели, происходит в две стадии на различных отрезках длины щели.

Стадия 1. При входе жидкости в расширяющийся канал в ней возникает усилие по оси  $Y$  вызванное разностью давлений, однако при этом в жидкости также присутствует очень большое инерционное усилие действующее по оси  $X$  (вызванное «ядром скорости»), что приводит к запаздыванию перемещения по оси  $Y$  и возникновению завихрения, причем величина завихрения напрямую зависит от величины расстояния от струи до стенки щели (т.е. от конусности)

Стадия 2. Происходит касание жидкостью стенки и выравнивание векторов скорости по сечению вдоль стенки канала. При этом возникают инерционные силы связанные с постоянным направлением потока.

Следовательно, можно говорить о наличии критического значения длины щели, т.е. такого минимального значения длины щели при котором начнется образование плоской струи, а при значениях длины менее заданной, скорее всего, будет происходить схлопывание струи в осесимметричную как более устойчивую.

Значение критического значения длины щели, очевидно зависит от величины области «ядра скоростей» и области завихрений для значений конусности выше 0,2.

Основываясь на теоретическом исследовании была предложена следующая конструкция: распыляющий элемент (рисунок 3) состоит из последовательно соединенного конфузора и щелевого канала (длиной  $L1$  и шириной устья  $D1$ ), поступление жидкости в конфузур осуществляется через трубчатую часть в хвостовой части которой нарезана резьба предназначенная для коммутации распыляющего элемента с трубопроводом станции.

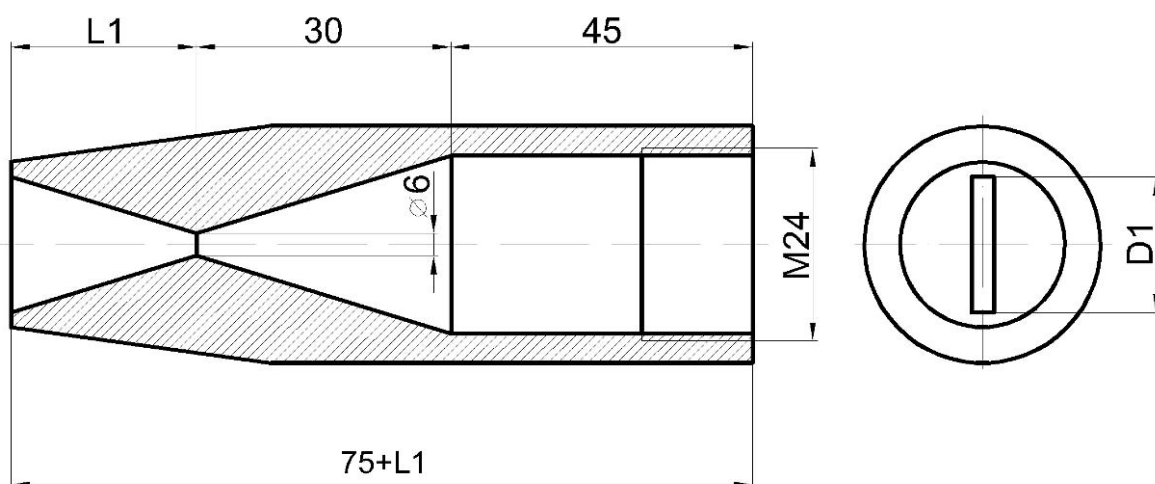


Рисунок 3 – Щелевой распыляющий элемент

Для проектирования распыляющего элемента станции необходимо знать следующие моменты:

- 1) При какой величине длины щели происходит образование плоской струи.
- 2) Зависимость геометрических параметров от конусности распыляющего элемента.

Экспериментальные исследования проводились с целью доказательства работоспособности распыляющего элемента с плоским расширяющимся каналом, выявления зависимости геометрических параметров струи жидкости от геометрических параметров распыляющего элемента (в основном, как зависит конусность струи от конусности распыляющего элемента), а также для определения значений величин критической длины щели.

Для проведения эксперимента был разработан специальный стенд (рисунок 4), который позволяет измерять ширину и форму струи на различных расстояниях от распыляющего элемента (т.е. измерение струи в различных сечениях). Стенд представляет собой разомкнутую гидравлическую систему, предназначенную для исследования прямоточных гидравлических агрегатов. В структуру стенда входят опорные конструкции, гидравлическая и электрическая системы.

Для проведения экспериментов было использовано следующее оборудование:

- 1 Исследовательский стенд.
- 2 Набор распыляющих элементов разной длины и ширины щели
- 3 Линейка измерительная ГОСТ 427-75.

Исследовательский стенд является базовым оборудованием для проведения эксперимента, его устройство позволяет регулировать давления в пределах от 0 до 8 МПа, измерение давления происходит встроенным в систему манометром МПН 100, с пределом измерения 16МПа. Стенд также имеет возможность регулирования положения распыляющего элемента по высоте.

Набор распыляющих элементов является объектом исследования. Все элементы имеют разные геометрические параметры щели, которые направлены на выявление основных особенностей поведения жидкости. Для проведения экспериментов было создано 90 распыляющих элементов с девятью различными конусностями от 0,1 до 0,9 шагом 0,1, и с десятью различными длинами щели от 10 до 100 шагом 10. Элементы исследовались при давлениях от 2 до 12 МПа шагом 2 МПа.

Эксперименты проводились по следующему алгоритму:

- 1 – произвести холостой пуск стенда при закрытом полуоборотном кране ДУ-20 и открытом дросселе;
- 2 – настроить давление жидкости необходимое для проведения эксперимента;
- 3 – остановить установку;
- 4 – установить распыляющий элемент на стенд;
- 5 – произвести установку распыляющего элемента на нужную высоту
- 6 – произвести запуск системы;

7 – при помощи полуоборотного крана произвести подачу жидкости на распыляющий элемент;

8 – закрыть полуоборотный кран сразу же после начала работы элемента (время работы элемента принимается равным 0,5 с.).

9– произвести замер размера пятна разбрызгивания;

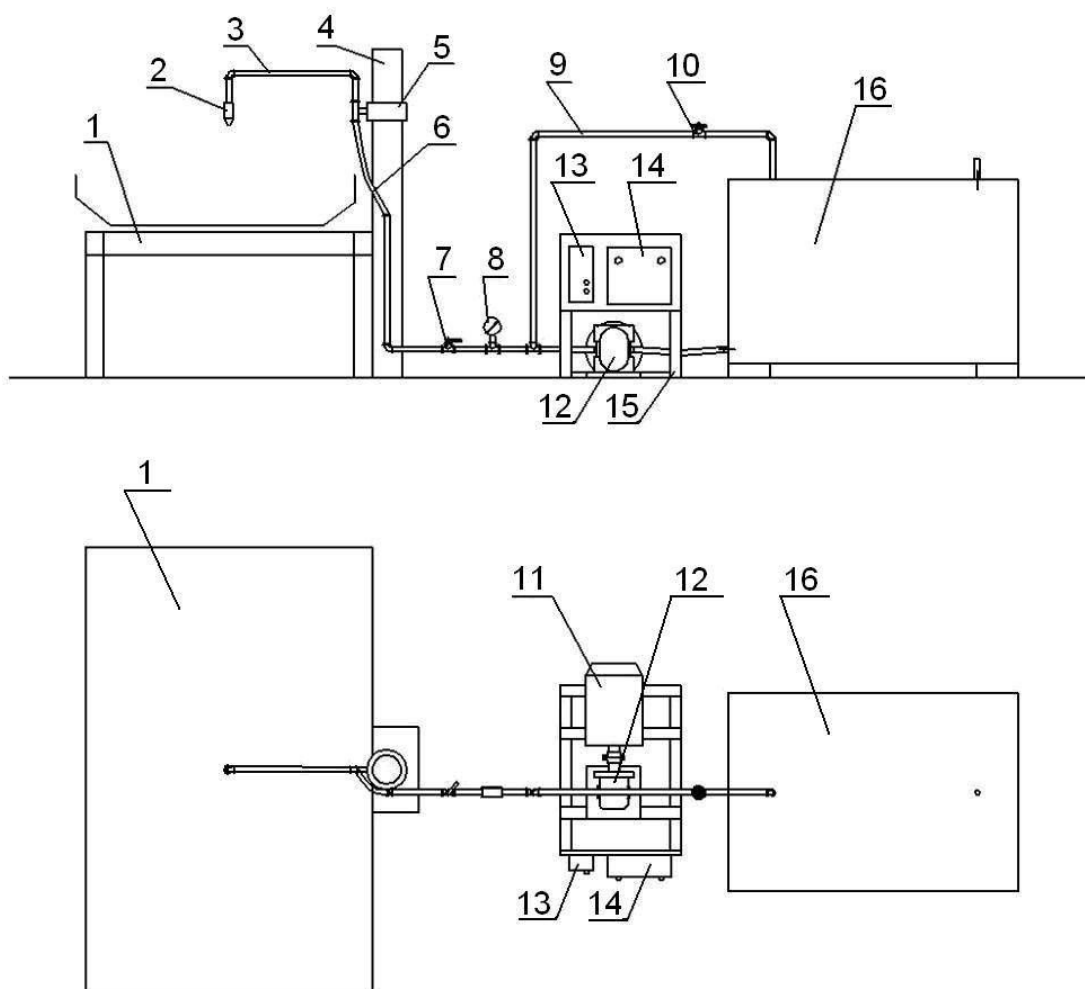
10– занести результаты измерения в ведомость эксперимента;

11 – при необходимости повторить эксперимент.

Примечание: для большей чистоты эксперимента, давление является базовым параметром и при проведении экспериментов на одном настраиваемом давлении проводятся все возможные эксперименты.

Эксперимент повторяется 10 раз для одного значения высоты установки.

Данные по проведению экспериментов были сведены в таблицы. Обработка данных велась с помощью программы MS Excel.



1 – Стол; 2 – Форсунка; 3 – Основной трубопровод; 4 – Стойка; 5 – Устройство регулирования высоты; 6 – Рукав; 7 – Полуоборотный кран; 8 – Манометр; 9 – Трубопровод отвода давления; 10 – Дроссель регулирующий; 11 – Электродвигатель; 12 – Насос; 13 – Автоматический выключатель; 14 – Тумблер; 15 – Станина; 16- Бак

Рисунок 4 - Стенд для исследования распыляющего элемента

По методу наименьших квадратов была опрксимирована зависимость ширины пятна контакта от высоты установки элемента. Выявлена линейная зависимость этих параметров. Коэффициент корреляции 0,976

Например для распылительного элемента конусностью 0,4 (на одну сторону щели) длиной щели 50 мм при давлении 8 МПа уравнение выглядит:

$$l_{ш} = 0,79 \cdot h_{уст} + 43,01, \text{ мм} \quad (2)$$

После анализа полученных уравнений выявлены следующие особенности

Константа уравнения близка к величине ширины щели на выходе.

Коэффициент уравнения пропорционален удвоенной величине конусности распыляющего элемента. После анализа корреляции этих величин, величина коэффициента составила 0,98.

На основе полученных результатов можно сделать следующее заключение.

Величина пятна контакта, высота установки элемента, конусность форсунки и длина щели увязываются следующей зависимостью:

$$l_{ш} = 2 \cdot k_x k_g \cdot h_{уст} + b, \quad (3)$$

где  $l_{ш}$  - ширина пятна контакта, м;

$k_x$  - конусность элемента;

$k_g$  - коэффициент пропорциональности;

$h_{уст}$  - высота установки элемента, м;

$b$  - ширина щели на выходе из элемента, м.

Ширина щели на выходе в свою очередь зависит от конусности элемента:

$$b = k_x l_{щели} + d_{устья} \quad (4)$$

Величина коэффициента пропорциональности зависит от конусности и от величины давления. По полученным с помощью использования метода наименьших квадратов экспериментальным зависимостям построены их графики (рисунок 5).

Проведя регрессионный анализ зависимости коэффициента пропорциональности  $k_g$  от конусности  $k_x$  и анализируя полученные зависимости получено следующее выражение

$$k_g = -0,04884 \cdot k_x + 0,0023 \cdot p + 0,9816, \quad (5)$$

где  $p$  - давление жидкости, МПа.

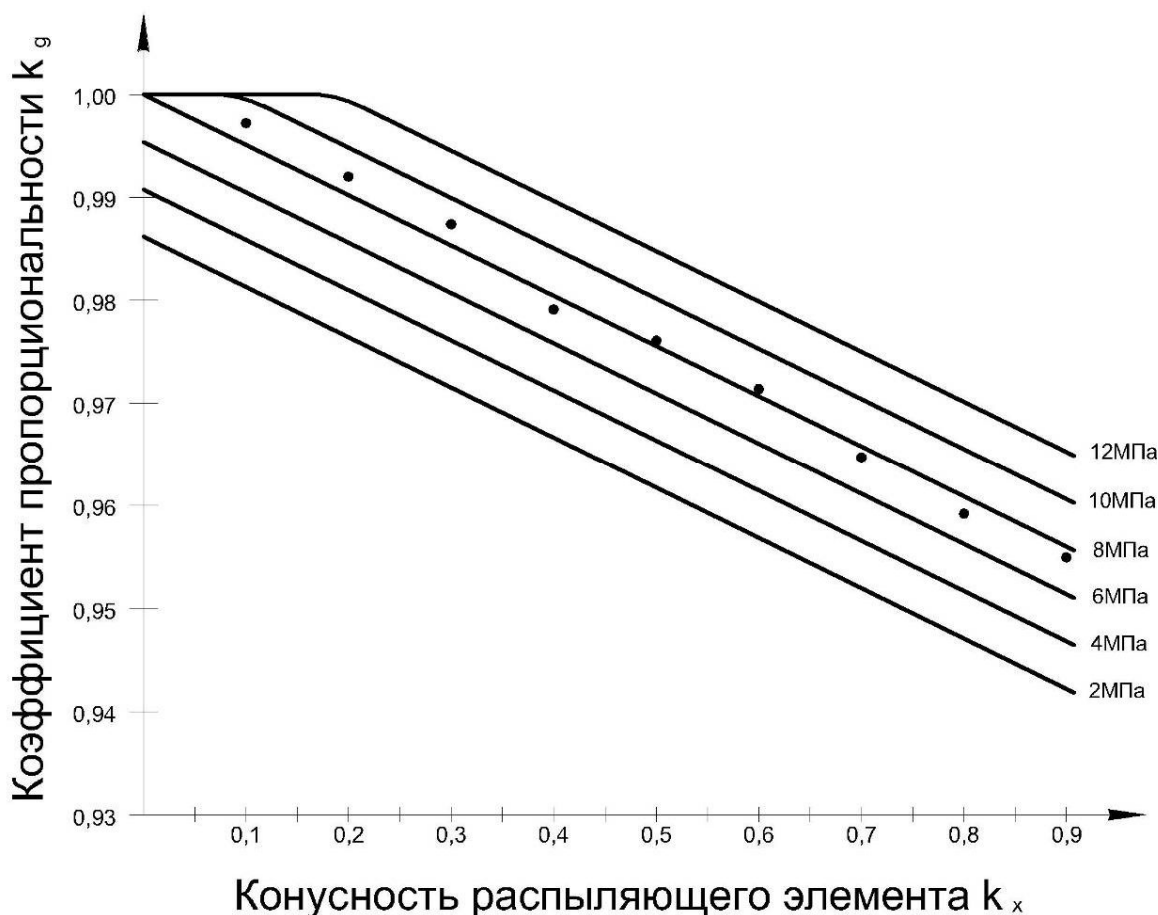


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента пропорциональности  $k_g$  от давления и конусности  $k_x$  распыляющего элемента

Как отмечалось ранее существует такое критическое значение длины щели, т.е. такое минимальное значение длины щели при котором начнется образование плоской струи. Одной из целей проведения эксперимента было определение таких значений.

Для получения более точной картины влияния длины щели на процесс образования плоской струи был проведен ряд уточняющих экспериментов с целью получить точные эмпирические значения длин щели при которых не будет происходить образование плоской струи.

После проведения эксперимента, была построена зависимость критической длины щели и длины щели переходного периода от конусности распыляющего элемента (рисунок 6).

Опираясь на полученные значения и ряд нормальных величин, принимаем следующий рекомендуемый ряд длин щелей, которые достаточны для создания плоской струи (таблица 1).

Таблица 1 – Рекомендуемые значения длин щели при различных значениях конусности распыляющего элемента

Конусности	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Длина щели, мм	14	20	25	45	50	56	67	80	90

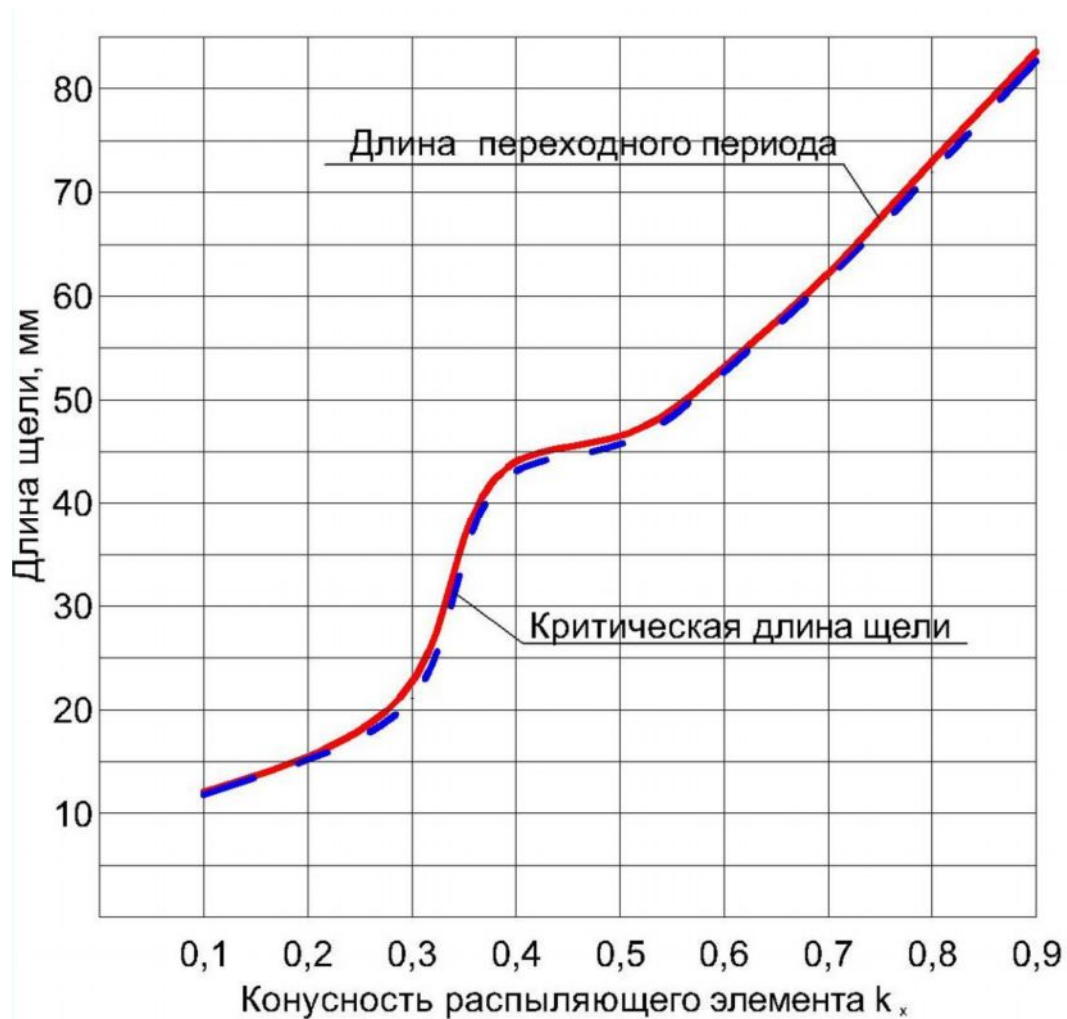


Рисунок 6 – Зависимость критической длины щели (— — — —) и длины щели переходного периода (————) от конусности распыляющего элемента

Полученные значения позволяют проводить расчеты распыляющего элемента и параметров его установки.

Задачу расчета параметров распыляющего элемента станции профилактической обработки думпкаров можно поставить двумя способами (рисунок 7):

Первый: известно значение конусности распыляющего элемента  $k_x$  и значение необходимой ширины пятна контакта  $l_{ш}$ , необходимо определить высоту размещения распыляющего элемента  $h_{уст}$ .

Второй: известно значение минимальной высоты установки распыляющего элемента  $h_{уст}^{min}$  (задаваться должно значение высоты нижнего края распыляющего элемента), значение необходимой ширины контакта  $l_{ш}$ , требуется определить необходимую конусность распыляющего элемента  $k_x$  и длину щели  $l_{щели}$  и оптимальную высоту установки  $h_{уст}$ .

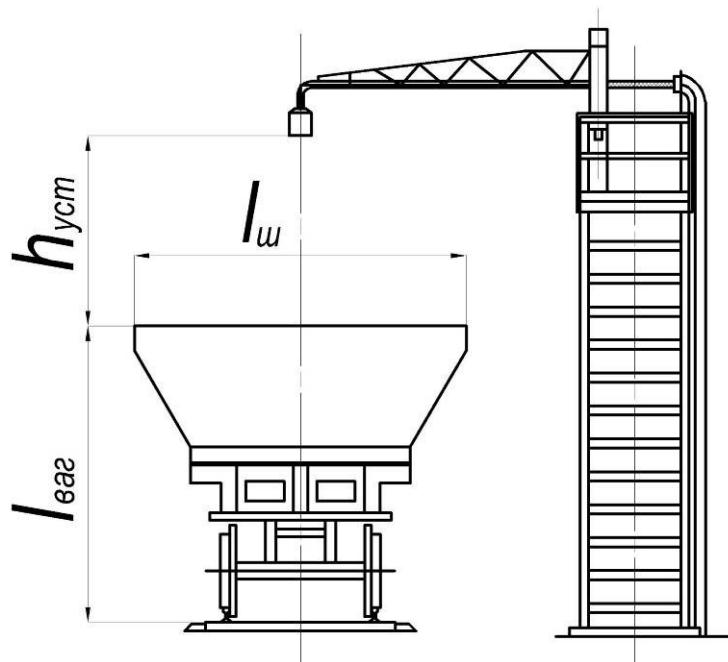


Рисунок 7 – Схема установки распыляющего элемента

Решение задачи независимо от постановки базируется на выражении зависимости ширины пятна контакта от высоты установки распыляющего элемента [20], формуле ширины щели на выходе из распыляющего элемента [21], и на выражении зависимости коэффициента пропорциональности  $k_g$  от конусности  $k_x$  [22], а также на рекомендуемых значениях длин щели при различных значениях конусности распыляющего элемента (таблица 1).

Полученные значения конусности распыляющего элемента или высоты его установки округляется до нормальных значений после чего необходимо произвести проверочные расчеты. Корректировка решения производится путем изменения высоты размещения распыляющего элемента как более независимого параметра.

Отталкиваясь от полученного значения конусности распыляющего элемента определяют оставшиеся геометрические параметры распыляющего элемента.

Расчет экономической эффективности внедрения нового распыляющего элемента производился для условия модернизации уже существующей станции профилактической обработки, поскольку в данном случае капитальные затраты будут максимальными.

В результате модернизации станции произошло сокращение расхода профилактической жидкости на 35%, что привело к уменьшению ее потребления и сокращению затрат на возмещение экологического ущерба.

При реализации разработанных рекомендаций расчетный среднегодовой экономический эффект полученный за счет сокращения расхода профилактической жидкости и снижения экологического ущерба составит 111 млн. тенге/год.



## **Заключение**

Диссертация содержит новое научное обоснование результатов, использование которых обеспечивает решение важной прикладной задачи, связанной с профилактической обработкой рабочих поверхностей транспортных сосудов для предотвращением прилипания и примерзания горной породы, которая вносит существенный вклад в теорию и практику разработки и эксплуатации горно-транспортных машин.

### **Краткие выводы по результатам диссертационных исследований:**

1. На основе результатов анализа технических средств предотвращения прилипания и примерзания горной массы установлены области применения различных способов и направления их модернизации.

2. Установлено, что наиболее рациональным способом обработки думпкаров в настоящее время является использование профилактического метода с применением специальных жидкостей, на специальных станциях.

3. Разработана математическая модель на основе метода конечных элементов в среде ANSYS, которая позволяет установить скорость потока, его давление и векторы направления скорости, при различных значениях входного давления и геометрических параметров распыляющего элемента.

4. На основе экспериментальных исследований установлена зависимость геометрических параметров струи от геометрических параметров распыляющего элемента. Ширина струи в месте обработки прямо пропорциональна высоте установки распыляющего элемента и зависит от конусности распыляющего элемента. Установлены значения критических длин щели – такое минимальное значение длины щели при котором начинается образование плоской струи. Значение критической длины зависит от конусности распыляющего элемента.

5. На основе установленных аналитических зависимостей разработана методика расчета распыляющего элемента. Расчет предусматривает два варианта постановки задачи с последующим нахождением недостающих параметров. Для более быстрого и точного проведения расчетов было разработано специальное программное обеспечение.

6. Внедрение рекомендаций по использованию новой конструкции распыляющего элемента позволит сократить потери профилактической жидкости как минимум на 35%, что приведет к сокращению расхода профилактической жидкости и к снижению ущерба окружающей среде, производимого профилактической установкой. Расчетный экономический эффект от внедрения одной новой конструкции распыляющего элемента составит 111 млн. тенге в год на годовой объем перевозки горной массы Сарбайского карьера АО ССГПО ( $A_r=12$  млн.т/год).

### **Оценка полноты решения поставленных задач.**

В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований были решены следующие задачи:

- изучено современное состояние проблемы предотвращения прилипания и примерзания горной породы к рабочим поверхностям транспортного оборудования;

- проведено исследование поведения жидкости в плоском расширяющемся канале с помощью математического моделирования методом конечных элементов;

- проведено экспериментальное исследование и выявлена эффективность работы распыляющего элемента и основные его параметры;

- обоснована и разработана конструкция распыляющего элемента;

- разработана методика расчета распыляющего элемента;

- проведена оценка экономической эффективности разработанной конструкции распыляющего элемента в производственных условиях.

#### **Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов.**

Разработана методика расчета распыляющего элемента станции профилактической обработки думпкаров.

Исходными данными при выборе оптимальных параметров распыляющего элемента являются: плотность и вязкость профилактической жидкости, ширина и длина щели, давление жидкости в плоском расширяющемся канале.

#### **Оценка научного уровня выполнения работы в сравнении с лучшими достижениями в данной работе.**

В данной работе впервые:

- исследовано поведение жидкости в плоском расширяющемся канале, в частности рассмотрены значения скоростей потоков и векторов их направлений в зависимости от входного давления и геометрических параметров канала.

- предложена конструкция распыляющего элемента состоящая из последовательно соединенного конфузора и плоского расширяющегося канал.

- выявлены аналитические зависимости ширины струи в месте контакта с обрабатываемой поверхностью в зависимости от расстояния элемента до этой поверхности и конусности щелевого канал.

#### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

1. Ахметов А.Т. Модернизация установки для борьбы с прилипанием и примерзанием горной породы к рабочим поверхностям думпкаров. Международная научно-практическая конференция «Горно-перерабатывающая промышленность и наука», РИИ, 2005. – С. 96 - 103

2. Адгезия горных пород Качарского карьера и проблемы их транспортирования. Горное дело и металлургия в Казхстане: состояние перспективы: Труды II-ой международной научно-практической конференции посвященной 15-летию независимости Республики Казахстан. – Алматы: КазНТУ, 2006. Т1. – С. 215-219.

3. Ахметов А.Т. Снижение загрязнения окружающей среды установкой для борьбы с прилипанием и примерзанием горной породы к рабочим поверхностям думпкаров. VII Международная научная конференция «Топорковские чтения», РИИ, 2006. – С. 308 – 313.

4. Ахметов А.Т. Установка нагрева ковша для предотвращения прилипания горной породы. VIII Международная научная конференция «Топорковские чтения», РИИ, 2008. – С. 95 - 100

5. Ахметов А.Т. Оптимальная форма струи распылителя жидкости станции профилактической обработки думпкаров. Вестник науки Костанайского социально-технического университета им. академика Зулхарнай Алдамжар №1 2009. – С.29 – 35.

6. Ахметов А.Т., Столповских И.Н., Ахметов А.Т. К вопросу применения полимерных покрытий для предотвращения прилипания и примерзания горной породы к рабочим поверхностям думпкаров. Международная научно-практическая конференция «Роль стратегии индустриально-инновационного развития Республики Казахстан в условиях глобализации проблемы и перспективы» посвященная 50-летию РИИ, Рудный 2009. – С. 54 – 57.

7. Столповских И.Н., Ахметов А.Т., Стенд для исследования распыляющего элемента станции обработки думпкаров профилактической жидкостью. Вестник КазНТУ №6 (76), 2009. – С. 83-86.

8. Ахметов А.Т. Исследование распыляющего элемента станции обработки думпкаров профилактической жидкостью. VIII Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека» Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности, Уральский Государственный горный университет, 2010. – С. 13 – 17.

9. Столповских И.Н., Ахметов А.Т. Задачи проектирования распыляющего элемента станции профилактической обработки думпкаров. VIII Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека» Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности, Уральский Государственный горный университет, 2010. – С. 128 – 132.

10. Столповских И.Н., Ахметов А.Т. Задачи создания распыляющего элемента станции профилактической обработки думпкаров. Горный журнал Казахстана №9 2010.

**Анвар Ахметов**  
**Думпкарларды өндеуді профилактикалық стансаларда шашырату**  
**элементтерін жасау**

**ТҮЙІН**

Карьердегі жағдайды үлкен және орта қуаттың Әсер етуші автомобилді-теміржол аралас немесе теміржол әсер ететін жағдайы алып отыр. Теміржол көлігімен құра жоғары дымқылдағы жұмсақ тау массасын тасымалдауы оның интенсивті жабысуымен бірге вагондардың жұмыс беткейінде қатуымен. Таукен көліктері жабдықтарының өнімділігін маңызды өсіруді қамтамасыз ететін шешім, сондықтан да ашық таукен жұмыстары үшін жабысу мен қатып қалумен күресу мәселесі өте өзекті де маңызды.

Ашық жыныс кен орындарын өндеуде жабысу мен күресудің ең жиі тараған әдісі профилактикалық әдіс, гидрофабты сұйықты жұқа қабатта жұмыс беткейіне жағылады жоғары беткеймен өзара қатысын жыныспен жол бермеуі және де таукен жынысының қатып қалу және жабысуынан қорғайды.

Профилактикалық өндеу жұмыс беткейінің арнайы пунктерінде өтеді. Берілген пунктердің жоғары беткейінде шашырату элементі ретінде форсункалар қолданылады. Бұл кезде жоғары беткейге сұйықтың шашырауы болады. Берілген әдістің негізгі кемшілігі желді ықпалда өндеудегі жоғары беткейден басқа жаққа профилактикалық сұйықтың ескіру болып табылады. Бұл қоршаған ортаның ластануына және өндеудің төмен тиімділігін, сұйықтың үлкен шығынына әкеп соқтырады. Осы жағдайда сұйықтың шығынын азайтуға бағытталған зерттеу және жоғары беткейдің нақты өндеуін жоғарлату өндірісте де, экология жағынан да өте өзекті. Осы жұмыс осы мәселенің сапалы да, үнемді шешіміне арналған.

**Жұмыстың мақсаты** жалпақ үшбұрышты құрай алатын, желді күшке тетеп бере алатындай, арнайы саңылауды шашырататын элемент конструкциясын өндеуден тұрады.

**Жұмыстың маңыздылығы** профилактикалық сұйықтың құнарға түсуін төмендету және нақты өндеуді жоғарлатуға мүмкіндік туғызу, жоғары жылдамдықтағы және жалпақ перпендикулярлы ос құрамына орналасуы, жалпақ үшбұрышты ағын шашыратқыш элементін жасаудан тұрады.

**Жұмыстың міндеті**

-көліктік жабдықтардың жұмыс беткейінде таукен жынысының қату және жабысуын болдырмау мәселелерінің жаңа жағдайларын зерттеу.

- элементтердің соңғы әдістерін математикалық моделдеу көмегімен жалпақ кеңейту каналында сұйықтың қозғалысын зерттеу.

- ол жұмыстың негізгі параметрін және шашыратқыш элементінің жұмыс тиімділігін табу бойынша эксперименталды зерттеу жүргізу.

- шашыратқыш элементтің конструкциясын жасау.

- өндірістік жағдайда шашыратқыш элементтің жасалған конструкциясының экономикалық тиімділігін бағалау.

**Зерттеу әдістері.** Диссертациялық жұмысты жасауда жалпы ғылыми-техникалық ақпаратқа ғылыми жалпылау және сараптама енгізілді, арнайы

стендте эксперименталды зерттеу мен математикалық моделдеу, конструкторлық нұсқаулар, эксперименттердің нәтижесін талдауға арналған математикалық статистика әдістері, кешенді зерттеу әдістері қолданылды.

### **Қорғадға шығарылатын ғылыми қағлдар мен нәтижелер:**

1. Жазық кеңейтілетін каналда сұйықтың жүруінің анықталған заңдылықтары каналдың ұзындығының және оның енінің өсуінің (конустылығының) жазық ағыстың пайда балуы басталатын ара қатынасын табуға мүмкіндік береді, бұл тазалағыш сұйықтың шығынын азайтуға және қоршаған ортаға зиянды төмендетуге ықпал етеді.

2. Саңылаулы шашыратқыш элементпен жасалатын ағыстың параметрлері өңделетін жазықтыққа дейін орналасуына және геометриялық өлшемдеріне пропорционал болады, бұл шашыратқыш элементтің тиімді құрылымын анықтауға мүмкіндек береді.

3. Думпкаларды профилактикалық өңдеу белетінің жаңа құрылымын жасау және тиімді пайдалану үшін ANSYS ортасында түпкі элементтер әдісінің негізінде математикалық моделдеу арқылы анықталған, сұйық ағасы ағынының жылдамдығы мен оның бағыты векиорының шашыратқыш элементтік кіру қысымы мен геометриялық параметрлері мәндеріне тәуелділік байланыстарын пайдаланған тиімді.

**Анықталады** диссертацияда берілген ұсыныстар мен қорытындылар, ғылыми ережелер, математикалық моделдеу әдісімен оның ұқсастығын қанағаттандыратын эксперименталдық жағдайда моделдеу қорытындысымен тексерілген апробациялану әдісімен өткізілген экспериментті қолданумен расталады.

### **Жұмыс нәтижесінің ғылыми жаңалығы:**

1. Саңылаулы шашыратқыш элемент – жалпақ кеңейтілетін каналмен шашыратқыш элементінің конструкциясы жасалды.

2. Саңылаулы каналдың ұзындығынан ағынды қалыптастыру заңдылығы анықталды.

3. Конустық саңылаулы каналдың және элементтен қашықтықтан тұратын өңделетін беткеймен байланысатын орында ағын енінің тәуелділігі анықталды.

4. Шашыратқыш элементінің және оның конустылығының орнының есеп әдісі жасалды.

### **Жұмыстың практикалық маңыздылығы:**

- профилактикалық сұйықтармен думпкаларды өңдеу стансаларына арналған саңылаулы шашыратқыш элементтерінің конструкциясын жасау.

- саңылаулы шашыратқыш элементтің геометриялық параметрін таңдау және есеп әдісін жасау.

- шашыратқыш элементтің геометриялық параметрінен сұйықтың ағын геометриялық параметрінен тәуелділігін бекіту бойынша кешенді зерттеуді өткізу үшін сынау стендінің конструкциясын жасау.

### **Жұмыс қорытындысы және ұсынысы**

Зерттеу бойынша жасалған ұсыныстар келесі нысандарда көрсетіледі.

- саңылау шашыратқыш элементінің конструктивтік параметрін және параметр орнығы есебінің әдісі ССКББ АҚ және оқытуші процестер РМКП «РИИ» қолдануға алынды.

**Anvar Akhmetov**  
**Development of the Spraying Element for Dumpcars Pretreatment Station**

**ANNOTATION**

The dominant position for open pits of large and medium depth is railway or combined truck and railway transport facilities. Transportation of the soft rock of high humidity is accompanied by heavy sticking and freezing to railcars working surfaces. Due to the drop of stowage factor drop locomotive productivity falls by 15-20%. Hence the sticking and freezing control is a topical and important problem for open pit mining where the solution will ensure significant productivity growth in mining transport equipment. When developing overburden rocks of mine fields the most popular way of sticking control is a preventive method, where hydrophobic liquid are applied by thin layer on the working surface that allows to preventing sticking and freezing of the rock.

Pretreatment of the working surface shall be made on specific points. Injecting nozzles are usually used on these points as a spraying element where the liquid is sprayed on the surface. The main disadvantage of this method is a drift of the preventing liquid apart from treated surface when windy that leads to bad losses of the liquid, lowering effect of treatment and environmental pollution. Thus the searches directed to decrease losses of the liquid and to increase accuracy of the surface treatment are of high priority from both production and environmental point of view. The present work is devoted to efficient and qualitative solution of this problem.

**The target of this work is** development of a special slotted spray element allowing creating a flat triangular jet having significant resistance to wind load.

**The idea of the work is** a creation of the flat triangular jet by the spray element having high speed and locating perpendicular to railcar axis allowing more accurate treatment and reducing the penetration of the preventing liquid in the soil.

**Objectives of the Work:**

- study the current state of problems preventing sticking and freezing of the rock to the working surfaces of the transportation equipment o study;
- study the liquid behavior in a flat expanding channel by means of mathematical modeling by finite element method;
- implementation of experimental studies related with discovery of the spray element operating efficiency and its main working conditions;
- evaluation of economical efficiency of the developed spray element structure under production conditions.

**Methods of Research.** When preparing thesis work the comprehensive method has been used including analysis and scientific consolidation of scientific and technical information, mathematic modeling and experimental research on specific bench, engineering development, methods of mathematic statistics to process outcomes of experiments.

### **Research and Outcomes for defence:**

1. Liquid behavior in the flat expanding channel depends on ratio between channel length and increase of the channel width i.e. it's conicity.
2. There is such minimal value of the flat expanding channel length where the flat triangular jet is not formed.
3. Geometric parameters of the jet formed by the slotting spray element depend on geometric parameters of its element. Especially, the jet conicity will be identical to spray conicity.
4. Decrease of the jet size formed by the flat expanding channel on a ratio basis to the distance from the element to the treating surface.

**The reliability** of scientific statements, conclusions and recommendations contained in the thesis is confirmed by using proven methods of experimenting, mathematical modeling, verification of modeling results under experimental conditions with satisfactory their convergence.

### **Scientific originality of the work outcomes are as follows:**

1. The Installed regularities of the behaviour to liquids in flat increasing channel, allow to reveal the correlations of the length of the channel and increase of its width (consising), under which begins formation flat stream that allows to shorten the consuption to liquids and reduce the damage surrounding ambience.
2. Parameters stream, formed slot spraying element proportional its geometric size and location before processed to surfaces that allows to install rational design spraying element
3. For making and efficient usage new design station of the preventive processing dumpcars reasonable to use the dependencies to velocities of the flow stream liquids and vector of her(its) direction from importances of the output pressure and geometric parameter spraying element, installed by mathematical modeling on base of the method final element in ambience ANSYS.

### **Practical importance of the work is in:**

- creation of the slotted spray element for the station for dumping cars treatment with proactive liquids;
- development of the calculation method and selection of geometric parameters of the slotted spray element;
- development of the test bench to make comprehensive researches regarding to establishment dependence of geometric parameters between the liquid jet and spray element.

### **Implementation of the conclusions and recommendation of the work.**

Developed recommendations under research outcomes are implemented in the following forms:

- The calculation method of the installation characteristics and design parameters for the slotted spay element are accepted for the usage by Sokolovsko-Sarbajskiy Mining Production Association JSC and in scholastic process RSGE "Rudnenskiy industrial institute".

Подписано в печать 23.09.2010 г.

Печать типографическая, Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная №1. Объем 1 п.л.  
Тираж 100 экз. заказ №

Типография Алматинского института  
Энергетики и связи  
050013, Алматы, ул. Байтурсунова, 126