

геотехнических систем – Днепропетровск, ИГТМ НАН Украины, 2004. – 75 с.

3. Зайцев М.С. Методика визуального внутрискважинного контроля (ВВК) состояния горного массива. / Межвед. сб. научных трудов «Геотехническая механика». ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск. - 2006. - Вып.62. - с. 85-92.

4. Зайцев М.С. Использование оборудования визуального внутрискважинного контроля (ВВК) для измерения площади видимого раскрытия трещин. / Межвед. сб. научных трудов «Геотехническая механика». ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск. - 2006. - Вып.65. - с. 74-80.

5. Временные технические условия по охране сооружений и природных объектов от влияния подземных горных разработок [Текст]: утв. Минуглепром Украины: ввод в действие 1995. – Донецк: УкрНИМИ, 1995. - 237 с.

**УДК 622.413.4:622.268**

Докт. техн.наук, проф. В.Г. Перепелица,  
м.н.с. С.В.Тынына (ИГТМ НАН Украины)

**К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ  
ОХЛАДИТЕЛЕЙ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ  
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК  
ГЛУБОКИХ ШАХТ**

В роботі запропонований один з можливих варіантів системи шахтного кондиціонування у вибоях та тупікових виробках на глибині понад 1000 метрів. Розглянуто принцип роботи його головного елемента вихрової труби. Висвітлено рівень досконалості конструкції вихрових труб та ступінь впливу її основних характеристик на долю холодного повітря, яка генерується вихровою трубою.

**TO THE QUESTION ABOUT POSIBILITY OF APPLICATION OF  
VORTICAL COOLERS AT CREATION OF THE SYSTEMS  
CONDITIONING MAKING OF DEADLOCKS TO DEEP MINES**

In this article one of possible variants of the system of conditioning is offered in face and making of deadlocks on depths more than 1000 meters. Principle of action of its basic element vortex tube is considered. The level of perfection of construction of vortex tube and degree of influencing of its basic descriptions is shown on the stake of cold air of generated by a vortex tube.

В настоящее время 55% шахт ведут горные работы на глубинах порядка 1000 м, а к 2010 году около 35 % уйдут на глубины более 1100 м. С увеличением глубины разработки увеличивается температура вмещающих пород, и как следствие, шахтной атмосферы. На реально наблюдаемых глубинах порядка 1000-1200 м эти значения достигают 45-50°C, и существующие системы кондиционирования не могут снизить температуру шахтного воздуха до требуемых Правилами безопасности (ПБ) величин, несмотря на существенные капитальные и эксплуатационные затраты. Повышение температуры воздуха в сочетании с высокой его относительной влажностью наносит ощутимый ущерб здоровью горнорабочих, приводит к снижению безопасности и производительности труда, способствует ухудшению технико-экономических показателей работы шахт, отрицательно влияет на продолжительность жизни шахтеров. На некоторых шахтах тепловой барьер является одним из основных факторов, ограничивающих развитие угледобычи на глубоких горизон-

тах. В связи с этим проблема нормализации климатических условий в глубоких шахтах требует неотложного решения.

Особенно остро задача снижения температуры воздуха стоит на глубоких шахтах Донбасса.

Эта задача может быть решена путем применения в подготовительных выработках систем местного, или как их еще иногда называют, систем точечного кондиционирования.

Главным требованием, предъявляемым, к схемам кондиционирования является, поддержание температуры воздуха на допустимом уровне.

Хорошо известно, что свежий воздух поступает в шахту с температурой 18-24°C, но, доходя до очистного забоя, нагревается до температуры выше предельно допустимой по ПБ. Поэтому, необходима дозированная подача дополнительно охлажденного свежего воздуха на участки, где температура превышает предельно допустимые нормы ПБ.

Принимая во внимание особые условия труда, в которых приходится работать шахтерам, из всех кондиционеров следует особое внимание уделить вихревым переносным и передвижным кондиционерам [1-3].

Этот тип кондиционеров с успехом применяется в химической, металлургической, судостроительной и др. отраслях промышленности, где невозможно избежать ручного труда в атмосфере с высокой температурой. Простота конструкции, надежность и долговечность вихревых аппаратов являются теми качествами, которые позволили найти применение вихревого эффекта в технике, а также создания новых конструкций ВТ с более высокими показателями эффективности. Вихревые кондиционеры (ВК) позволяют применять их не только для понижения, а также для очистки кондиционируемого воздуха от пыли.

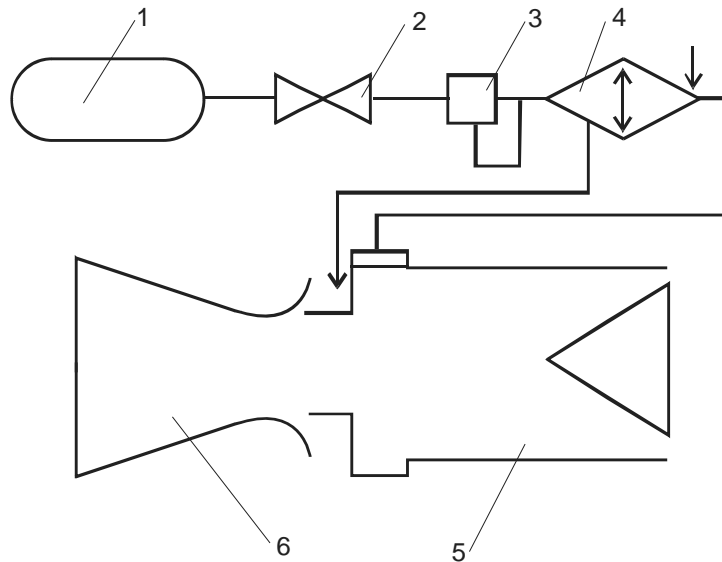
В режиме охлаждения температуру регулируют подмешивая к охлажденному потоку часть нагретого потока, остальную часть выбрасывают в атмосферу (рис. 1). В таком кондиционере свежий воздух после регулятора температуры попадает в эжектор, где он подсасывает воздух, находящийся в кондиционируемом пространстве. Эжектор позволяет уменьшить разность температур без увеличения расхода сжатого воздуха.

Основным элементом такого кондиционера является вихревая труба (ВТ). Именно в вихревой трубе и происходит кондиционирование, а точнее сказать разделение воздуха на холодную и горячую составляющие (рис. 2).

Несмотря на всю кажущуюся простоту конструкции ВТ принцип ее работы довольно сложен и однозначного его трактования на сегодняшний день не существует. Согласно теории предложенной в работах [2-3] образование охлажденного и нагретого потоков является результатом перераспределения энергии входящего в вихревую трубу сжатого газа. При отсутствии теплообмена с окружающей средой суммарное количество энергии охлажденного и нагретого потоку по закону сохранения энергии равно количеству энергии поступающего газа, т.е.

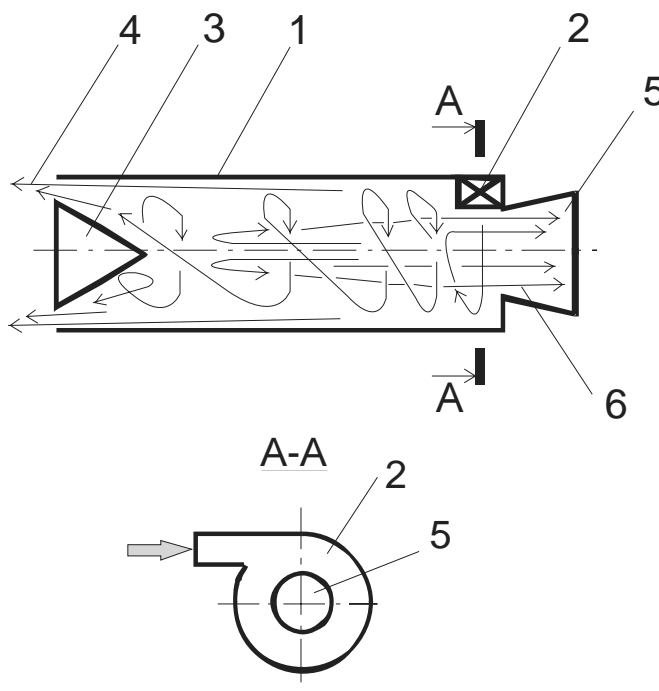
$$G_c i_c = G_x i_x + G_2 i_2 \quad (1)$$

где  $G_c = G_x + G_2$  – расход сжатого газа, кг/с;  $G_x, G_2$  – расход соответственно охлажденного и нагретого потоков, кг/с;  $i_x, i_2$  – удельная энтальпия соответственно сжатого, охлажденного и нагретого потоков, Дж/кг.



1 - баллон сжатого воздуха, 2 - вентиль, 3 - редуктор,  
4 - теплообменник, 5 - вихревая труба, 6 - эжектор

Рис. 1 - Принципиальная схема простейшего вихревого кондиционера



1 - корпус, 2 - завихритель, 3 - отбойник  
4 - горячий поток, 5 - холодный поток, 6 - сопло

Рис. 2 - Принципиальная схема противоточной вихревой трубы

Используя известное выражение для определения энтальпии  $i=c_p T$ , ( $c_p$  – удельная теплоемкость газа при постоянном давлении,  $T$  – температура газа) и пренебрегая изменением  $c_p$ , можно получить уравнение связывающего эффекты охлаждения и нагревания газа в ВТ с расходом одного из выходящих потоков:

$$\mu \Delta T_x = (1-\mu) \Delta T_z \quad (2)$$

где  $\mu=G_x/G_c$  – относительный расход (доля) охлажденного потока;  $\Delta T_x = T_c - T_x$  – эффект охлаждения охлажденного потока;  $\Delta T_z = T_z - T_c$  – эффект нагревания нагретого потока;  $T_c$ ,  $T_x$ ,  $T_z$  – температура сжатого, охлажденного и нагретого потоков газа, К, соответственно.

Существуют и другие теории трактования процесса разделения, например: теория «турбулентных миграций» [4-5], а также теория предложенная в цикле работ выполненных в университете штата Теннесси (США) [6-9]. На сегодняшний день наибольшее развитие и признание у практиков получила теория объясняющая процесс температурного разделения газа в ВТ существованием температурных пульсаций [4]. Следует отметить, что последняя есть не что иное, как обобщенная модель, предложенная А.П. Меркуловым [2].

Из анализа работ видно, что одними из основных параметров, характеризующих работу ВТ, являются термический КПД –  $\eta_t$  (его еще называют – коэффициент температурной эффективности), адиабатный КПД –  $\eta$  и относительный расход охлажденного газа –  $\mu$ .

На рис. 3 в качестве примера приведена зависимость  $\eta_m$  и  $\eta$  от  $\mu$  для вихревой трубы с неохлаждаемой камерой, которая является яркой иллюстрацией взаимосвязи этих параметров. В настоящее время для лучших аппаратов по эффекту охлаждения  $\eta_m = 0,7$ ,  $\eta = 0,5$ , что существенно ограничивают область их рационального применения.

В связи с этим ведется поиск путей совершенствования ВТ. Требуется тщательная доработка существующих конструкций ВТ и разработка новых вихревых аппаратов. Примером этого может служить рис. 4, на котором показано изменение КПД при различных формах развихрителей.

Существуют аналогичные характеристики и для других элементов конструкции ВТ, например для конструкций разделительных камер (РД). Конструкция камер совершенствуется и по сей день (табл. 1).

Надо отметить, что совершенствование РД привело к увеличению КПД известных конструкций труб с  $\eta_m = 0,4$ ,  $\eta = 0,22$  до  $\eta_t = 0,7$ ,  $\eta = 0,5$ .

Подводя итог данной статьи можно сделать следующий вывод.

Применение вихревых кондиционеров является перспективным направлением в вопросе обеспечения нормальных условий труда в выработках глубоких шахт. А совершенствование конструкции вихревых труб позволит лучше понять процессы, протекающие в вихревых аппаратах.

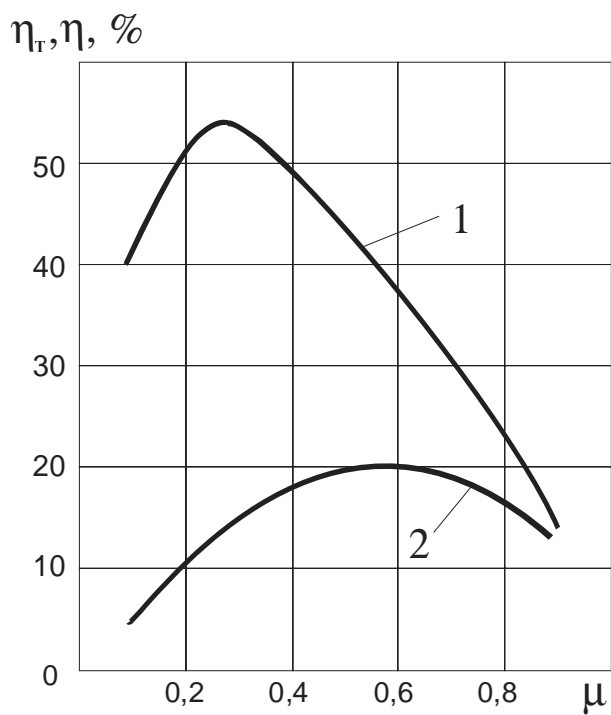


Рис. 3 – Зависимость  $\eta_m$  (кривая 1), и  $\eta$  (кривая 2) от  $\mu$  ( $p_c=0,6$  МПа;  $p_x=0,1$  МПа;  $T_c=300$  К)

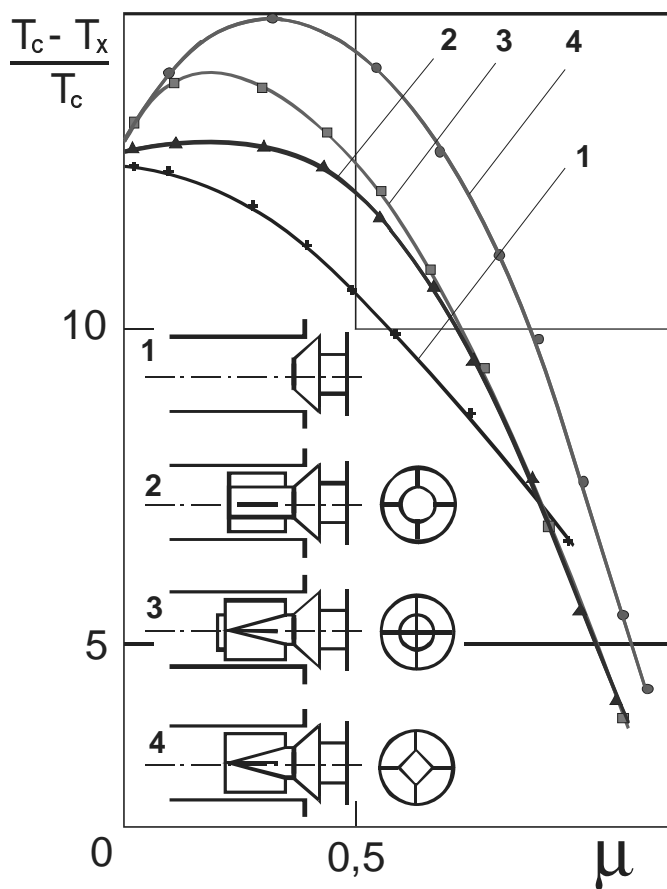


Рис. 4 – Характеристики вихревой трубы с различными развихрителями

Таблица 1 - Классификация камер разделения по типу соплового ввода и соплу.

Тип соплового ввода	Сопло	Автор конструкции
Спиральный	Прямоугольное	Ж. Хилш
	Круглое	Р. Ранке
	Прямоугольное	А.П. Меркулов
	Коническое	Б. Пуралейкар
Тангенциальный	Круглое	Г.М. Дубинский
Тангенциально-лотковый		В.С. Мартыновский В.П. Алексеев
многосопловой	Четыре и более круглых сопел	С.Д, Фильтон
	Три, четыре и более прямоугольных сопел	А.В.Мартынов

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тер-Ионесян Р.С. Повышение эффективности кондиционеров защитного снаряжения.– Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1979, №296, с 120-109.
2. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике.– М., Машиностроение, 1969. 184 с.
3. Суслов А.Д. и др. Вихревые аппараты.– М., Машиностроение, 1983. 255 с.
4. Гуцол А.Ф. Эффект Ранка.-УФН, том 167, №6, с 665-687. Москва.1997.
5. Халтов А.А. Теория и практика закрученных потоков.– Киев, Наукова думка, 1989. 220с.
6. Гупта А., Лили Д., Сайред Н. Закрученные потоки.– М., Мир, 1987. 360с.
7. Kurosaka M.J. Fluid Mech.–NY.1982.300.
8. Kurosaka M.J., Chu J.Q. Goodman J.R. Effect of the Bend of a Vortex Chamber– AIAA, paper 85-2592.1987.
9. Kurosaka M.J. Study of Vortex Tubes– AIAA, paper 89-0740.1984.

**УДК 622.685: 531.8**

Асс. С.Д. Приходченко

(Национальный горный университет)

### **ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШЛАМОВОГО НАСОСА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

У статті описано створення математичної моделі шламового насосу і дослідження її динамічних характеристик. Наведено порівняння із даними експерименту.

### **CREATING OF SLURRY PUMP MATHEMATICAL MODEL AND RESEARCH OF ITS DYNAMIC CHARACTERISTICS**

Slurry pumps mathematical model creating and model dynamics parameters investigations are described in article. Experimental and modeled data comparison is included.

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам повышения производительности оборудования горно-обогатительных предприятий, в свете чего на большинстве ГОКов проводятся комплексные мероприятия по повышению КПД оборудования [1]. Такого рода мероприятия включают в себя автоматизацию технологических процессов и агрегатов. Автоматизация по уже существующим схемам приносит определенный эффект, однако совре-