

пределения температуры  $T$  и давления  $p$  по радиусу для различных сечений (1, 2, 3 калибра) при  $\mu = 1$  вполне согласуются с аналогичными кривыми для обычной ВТ с дросселем [3].

Испытания ВТ проводились при пониженных давлениях за счет прокачки всей схемы плазмохимической и модельной установок вакуумным насосом. Результаты испытаний ВТ на плазмохимической установке при переработке нитратных растворов РЗЭ с концентрацией азотной кислоты 18,9 г/л и окислов РЗЭ 19,39 г/л показали достаточно высокую степень отделения твердой фазы: на одной вихревой трубе - 90-93%, на двух при последовательной установке - до 97%. Эти величины хорошо согласуются с результатами моделирования.

Состав окислов РЗЭ:  $La_2O_3$  - 23-25%,  $CeO_2$  - 50-55%,  $Pr_6O_{11}$  - 6-9%,  $Nd_2O_3$  - 13-16%,  $\Sigma Sm, Eu$  - 1-2%, остальное - примеси. Температура пылепарогазовой смеси на входе в ВТ составляла 720-770К, гидравлическое сопротивление трубы 20-30 кн/м<sup>2</sup>.

#### Л и т е р а т у р а

1. М е д н и к о в Е.П. Миграционная теория осаждения аэрозольных частиц из турбулентных потоков на стенках труб и каналов. - ДАН т. 206, 1972, № 1.
2. З в е р е в Н.И. Моделирование движения полидисперсной пыли. - Теплоэнергетика, 1957, № 7.
3. М е р к у л о в А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969.

УДК 532.527.000.14

М.В.Юцкевич

#### К ВОПРОСУ РАБОТЫ ВИХРЕВЫХ ТРУБ НА ВЛАЖНОМ ВОЗДУХЕ

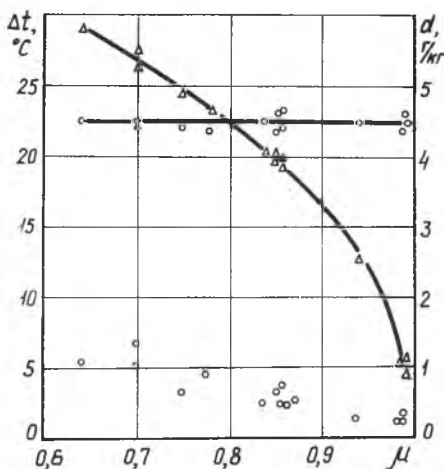
Вихревые трубы находят применение в качестве генератора холода в системах индивидуальной противотепловой защиты [1, 2]. Весьма перспективным следует считать использование ВТ для таких целей в глубоких угольных шахтах, когда средствами общешахтного

кондиционирования невозможно либо экономически нецелесообразно поддерживать необходимый микроклимат на рабочих местах. Работа ВТ в этих условиях характеризуется следующими параметрами:  $P_{сж} = 0,3-0,6$  МПа,  $T_{сж} = 300-308$ К,  $\varphi_{сж} = 100\%$ ,  $t_x = 15-18^{\circ}\text{C}$ ,  $P_x = 800$  мм рт.ст.,  $\mu = 0,7-0,9$ .

Считается, что температурная эффективность ВТ, работающей на влажном воздухе, снижается, если при охлаждении воздух проходит через точку росы [3]. В экспериментах получено снижение температурной эффективности и в том случае, когда холодный поток не проходит через точку росы. Наблюдается частичная конденсация паров, которая тем больше, чем выше начальное влагосодержание сжатого воздуха и ниже температура охлаждения. Однако, если рассматривать не ВТ в отдельности, а противотепловое средство индивидуальной защиты (СИЗ) в целом, которое включает в себя и одежду, под которой создается комфортный микроклимат, то мелкодисперсная капельная влага, вынесенная холодным потоком в поддежное пространство, является своего рода аккумулятором холода, так как тепло на ее испарение будет получено в подкостюжном пространстве. Следовательно, снижение температурной эффективности из-за выпадения влаги в холодном потоке воздуха не вызывает потери холода в системе. Другое дело, если взаимные фазовые переходы воды и пара происходят многократно или происходит перераспределение влаги между потоками охлажденного и горячего воздуха [4], поскольку холод, затраченный на конденсацию влаги, выносимый горячим потоком, безвозвратно теряется.

Исследование температурных полей зондированием показало наличие потоков с весьма низкими температурами в вихревой зоне [5]. В связи с этим можно предположить, что в сечении соплового ввода происходит конденсация влаги даже в том случае, когда холодный поток в целом не проходит через точку росы. В таком случае есть достаточно оснований считать, что хотя бы часть образовавшихся капелек конденсата, даже в условиях высокой турбулизации потока, будет отброшена к стенке трубы, что приведет к перераспределению влаги в потоках охлажденного и горячего воздуха.

На рис. I представлены результаты продувок влажным воздухом (давление, температура и влагосодержание на входе в вихревую трубу 0,5 МПа, 303К, 4,5 г/кг сухого воздуха) цилиндрической ВТ, имеющей следующие размеры:  $D_p = 0,014$  м;  $L = 9$ Д;  $D_g = 0,67$ Д;



Р и с. 1. Температурная эффективность и влагосодержание охлажденного потока: ● - полное влагосодержание охлажденного потока; ○ - капельная составляющая влагосодержания охлажденного потока

При этом перед повторным определением влагосодержания поток воздуха нагревался в теплообменнике.

Полученные результаты позволяют утверждать, что при работе на влажном воздухе в исследованном диапазоне значений  $\mu$ , в цилиндрических ВТ с развихрителем потока на горячем конце перераспределения влаги между потоками не происходит. В то же время в экспериментах наблюдалась капельная влага в холодном потоке на всех режимах работы ВТ. При этом заметна тенденция к увеличению количества капельной влаги по мере снижения температуры холодного потока. Наличие капельной влаги в холодном потоке, очевидно, свидетельствует о том, что высокие скорости охлаждения в сопловом вводе обеспечивают необходимые условия для переохлаждения паров воды в ВТ, в результате конденсация основной части влаги происходит в сформировавшемся холодном потоке.

Проведенная серия продувок ВТ скатым воздухом, содержащим капельную влагу (от 0,75 до 2 г/кг), показала, что в этих усло-

$n = 1$ ;  $H/B = 0,5$ . На горячем конце трубы установлен развихритель потока. ВТ с такой характеристикой используются в качестве генераторов холода в противотепловых СИЗ. В экспериментах температуры измерялись лабораторными ртутными термометрами и с помощью медь-константовых термоспар и потенциометра. Расходы определялись по динамическим напорам потоков, измерявшимся пневмометрическими трубками и микроманометрами компенсационного типа. Влагосодержание определялось психометрическим методом, для чего использовались психометры Ассмана. Для учета капельной влаги перед повторным определением

виях происходит перераспределение влаги между потоками. Однако не вся капельная влага, как это можно было бы предположить, исходя из действия центробежных сил, попадает на горячий конец, часть ее идет на увеличение влагосодержания холодного потока. Установить какие-либо количественные закономерности перераспределения капельной влаги между потоками не удалось. Капельная влага на входе приводит к снижению расхода воздуха через ВТ.

### В ы в о д ы

Капельная влага в сжатом воздухе ухудшает работу ВТ, поэтому при подключении противотепловых СИЗ к промышленным сетям сжатого воздуха необходимо устанавливать фильтры-влагоотделители.

При работе ВТ на влажном воздухе наблюдается частичная конденсация водяных паров до достижения холодным потоком температуры точки росы.

Перераспределения влаги по потокам в ВТ, работающих в области значений  $\mu = 0,7-1$ , не происходит.

### Л и т е р а т у р а

1. Антонов Ю.В., Николаев Н.С., Тер-Ионесян Р.С., Чижигов Ю.В. Создание комфортных условий при работе в защитном снаряжении. - Холодильная техника, 1971, № 10.
2. *Personal Air Conditioner: Safety Maintenance. August, 1969, p. 62.*
3. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969.
4. Бобровников Г.Н., Поляков А.А., Ильина Н.И. Исследование работы вихревых труб на влажном воздухе. - Холодильная техника, 1976, № 11.
5. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? - М.: Энергия, 1976.