

1	2	3	4	5	6	7
Бутан	0,500	0,330	0,476	0,510	0,491	0,590
Изопентан	0,190	0,086	0,154	0,181	0,154	0,167
Пентан	0,130	0,067	0,123	0,149	0,103	0,149
Неуглеводородные (N_2 , CO_2 , O_2 + Az)	1,59	1,425	1,695	1,982	1,794	2,074

Л и т е р а т у р а

1. Жидков М.А., Лейтес И.Л., Тагянцев Б.Г., Атаманова В.В. Очистка природного газа от сернистых соединений низкотемпературной абсорбцией конденсирующимися углеводородами. - Газовая промышленность, 1974, № 6, с. 43-46.

2. Жидков М.А., Лейтес И.Л., Комарова Г.А., Шилкина М.П., Корабельникова И.М. Расчет процесса низкотемпературной очистки природного газа от сернистых соединений по методу Де-Пристера. - Труды ГИАП, 1979, вып. 55, с. 110-118.

3. Лейтес И.Л., Семенов В.П., Половинкин В.А. и др. Очистка природного газа с помощью вихревого эффекта. - Химическая промышленность, 1970, № 5, с. 25-30.

4. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. - 183 с.

5. Мартыновский В.С., Алексеев В.П. Исследование эффекта вихревого температурного разделения газов и паров. - ЖТФ, 1956, т. 26, вып. 10, с. 2303-2315.

УДК 621.51.047

В.И.Миндрин, Р.М.Лапшин, Н.И.Прохоров

ВОЗДУХОосушитель для КОНСЕРВАЦИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Паротурбинные установки и другое энергетическое оборудование на тепловых и атомных электростанциях в период длительных остановок, связанных, например, с их ремонтом, подвергаются воздействию стояночной коррозии.

Наиболее дешевой и доступной является консервация продуванием оборудования сжатым воздухом. Известный способ осушки воздуха с помощью адсорбентов дорог и недостаточно надежен, так как поглощательные спо-

способности адсорбентов существенно зависят от температуры воздуха. Кроме того, возможно попадание частиц адсорбента в проточную часть турбины.

Одним из наиболее перспективных способов является сушка воздуха охлаждением. Наличие сухого воздуха, давление которого перед использованием снижается, делает целесообразным применение в качестве генератора холода вихревой трубы [1]. Основные схемы и расчетные зависимости для таких установок, включающих теплообменник-охладитель и ВТ, приведены в работе [2].

На ТЭЦ Горьковского автозавода был спроектирован, изготовлен и испытан вихревой воздухоосушитель, используемый для целей консервации паровых турбин типа Т-100-130.

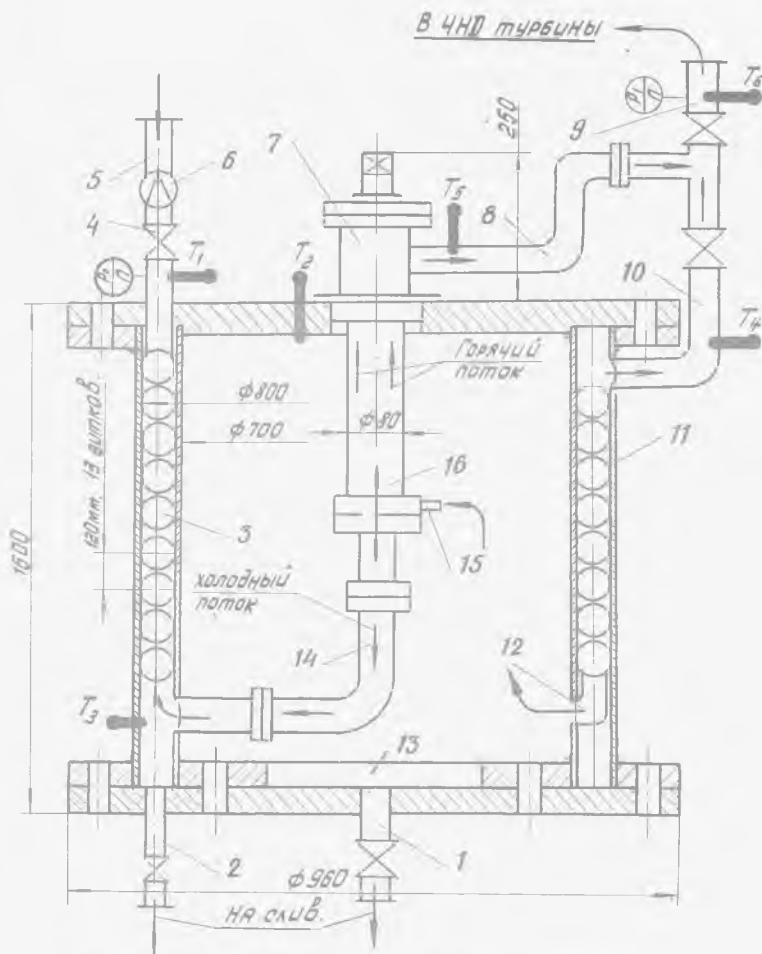
Воздухоосушитель, конструктивная схема которого показана на рис.1, состоит из теплообменника-охладителя II и вихревой трубы (ВТ) I6.

Неохлаждаемая коническая ВТ, спроектированная с учетом рекомендаций работ [1, 3], имеет следующие основные размеры: диаметр в сечении соплового ввода 45 мм, диаметр отверстия диафрагмы 29 мм, угол раскрытия конуса $2^{\circ}18'$, длину конической части 200 мм, полную длину 800 мм, размеры прямоугольного соплового ввода 9×13 мм. Теплопередающая поверхность теплообменника выполнена в виде змеевиковой трубки внутренним диаметром 50 мм и длиной 30,6 м и имеет площадь $5,1 \text{ м}^2$.

Исходный сухой воздух подается из пневмосети 5 в теплообменник, где, проходя внутри змеевиковой трубки 3, охлаждается встречным потоком холодного воздуха, выходящего из ВТ по патрубку I4 и движущегося в межтрубном пространстве к выходному патрубку I0. Понижение температуры воздуха внутри трубки 3 приводит к росту его относительной влажности, а после достижения состояния насыщения — к конденсации избыточного количества водяных паров. Затем водовоздушная смесь через патрубок I2 поступает в полость I3, из которой отделившийся конденсат отводится через дренаж I. Осушенный воздух поступает через сопловый ввод I5 в ВТ, где происходит температурное разделение воздуха за счет его расширения и закрутки. Охлажденный воздух из приосевой зоны трубы выходит через диафрагму и по патрубку I4 выходит в межтрубное пространство теплообменника. Горячий поток из периферийной зоны трубы выходит через регулирующий вентиль 7 в трубопровод 8 и смешивается с воздухом, протекающим через патрубок I0, повышая его температуру. Осушенный и подогретый воздух подается через трубопровод 9 в проточную часть паровой турбины в период ее остановки.

Подаваемая смесь может быть использована не только для защиты основных элементов от коррозии, но и для поддержания паротурбинных установок в подогретом состоянии.

Регулирование расходов холодного и горячего потоков, выходящих из



Р и с. 1. Установка для осушки сжатого воздуха

ВТ, осуществляется вентилем 7. Общий расход воздуха через установку регулируется вентилем 4.

Установка снабжена измерителями расхода сжатого воздуха (мерной шайбой) 6, температур (расположенные в гильзах ртутные термометры) $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ и давлений P_0 и P_1 . Дренаж 2 служит для удаления влаги и контроля за наличием ее в межтрубном пространстве теплообменника.

При давлении исходного сжатого воздуха $P_0 = 0,7$ МПа максимальный расход воздуха через осушитель составляет $0,21 \text{ м}^3/\text{с}$ при давлении во внутренней полости турбины Т-100-130 $P_2 = 0,11$ МПа.

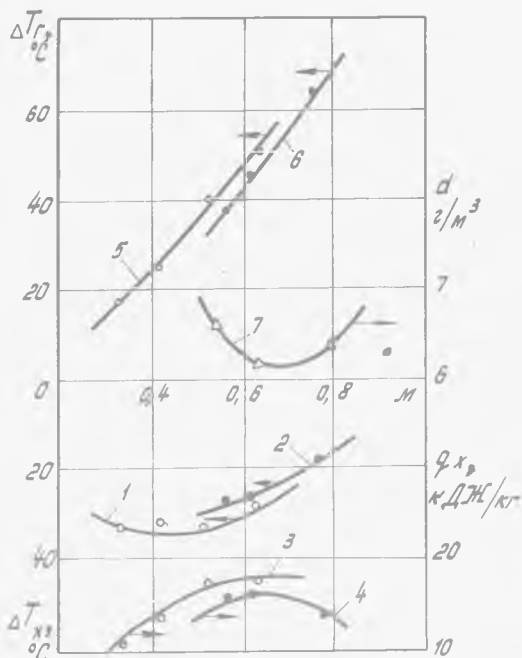
Для определения доли холодного воздуха, выходящего из ВТ, использовалось уравнение энергетического баланса трубы.

Основные результаты экспериментального исследования описанного выше вихревого воздухоосушителя приведены на рис. 2.

Кривые 1 и 2, представляющие зависимости $\Delta T_x = f(\mu)$ показывают, что наибольший эффект охлаждения воздуха в ВТ соответствует режиму $\mu = 0,4-0,5$ и равен $\Delta T_x = 35^\circ\text{C}$ при $P_0 = 0,7$ МПа. Этот результат согласуется с характеристиками одиночных ВТ, имеющих диафрагму с достаточно большим диаметром отверстия и рассчитанных на работу с высокими значениями параметра μ [1].

В процессе испытаний температура сжатого воздуха после теплообменника перед ВТ составляла $T_2 = 31-34^\circ\text{C}$, а температура холодного воздуха за ВТ для указанного выше интервала величин $\mu = 0,4-0,5$ снижалась до $T_3 = -3 - -2^\circ\text{C}$. На выходе из осушителя температура воздуха практически равна температуре исходного сжатого воздуха $T_6 \approx T_1 = 46^\circ\text{C}$.

Максимальная холодопроизводительность использованной в осушителе ВТ составляет 18 и 16 кДж/кг для давлений P_0 , равных соответственно 0,7 и 0,5 МПа (кривые 3 и 4). При этом максимум величины q_x лежит в области $\mu = 0,6-0,7$, что также согласуется с характеристиками отдель-



Р и с. 2. Экспериментальные характеристики воздухоосушителя: 1,2-степень охлаждения воздуха в ВТ; 3,4-удельная холодопроизводительность ВТ; 5,6-степень нагрева воздуха в ВТ; 7-влажность осушенного воздуха; ○ - давление сжатого воздуха $P_0 = 0,7$ МПа (расход $0,21 \text{ м}^3/\text{с}$); ● - $P_0 = 0,5$ МПа (расход $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$)

но испытанных труб [1, 3]. Степень подогрева горячего потока ΔT_r (кривые 5 и 6) практически линейно зависит от параметра M , достигая при $M = 0,8$ величины 70°C . Температура горячего воздуха за ВТ в исследованном диапазоне значений M составляла $52-102^\circ\text{C}$ для отмеченных выше температур воздуха перед трубой.

Влажность воздуха определялась прибором "Alnor Dewpointer", измеряющим температуру точки росы с точностью $2,5\%$, с последующим пересчетом этой температуры на влагосодержание. При температуре $T_r = 46^\circ\text{C}$ и давлении $P_0 = 0,7$ МПа температура точки росы исходного сжатого воздуха перед осушителем составляла $+14^\circ\text{C}$, а влагосодержание $10,82$ г/м³. Минимальная температура точки росы осушенного воздуха на выходе из установки для указанных входных параметров составила $+5^\circ\text{C}$, а влагосодержание $6,3$ г/м³. Обе температуры точек росы приведены для давления $P_1 = 0,11$ МПа. Указанный результат получен на режиме $M = 0,65-0,70$ (кривая 7), соответствующем режиму максимальной холодопроизводительности ВТ (кривая 3), что качественно согласуется с результатами работы [4].

Оптимизация работы осушителя на отмеченном режиме благоприятна с точки зрения исключения возможности появления в теплообменнике "снежной шубы", так как для данного диапазона величин $M = 0,65-0,70$ температура холодного воздуха за ВТ положительна и составляет $T_3 = 1-5^\circ\text{C}$ в зависимости от давления сжатого воздуха.

Таким образом, использование вихревого воздушного осушителя позволяет удалить из сжатого воздуха более 40% содержащейся в нем влаги и существенно снизить температуру точки росы, что исключает возможность выпадения конденсата и обеспечивает надежную работу системы защиты паровых турбин от стояночной коррозии без дополнительной затраты энергии. Внутренний осмотр остановленной на полугодовой период турбины показал полное отсутствие в ней влаги и следов коррозии.

Л и т е р а т у р а

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. - 183 с.
2. Дыскин Л.М. Осушка сжатого воздуха охлаждением. - В кн.: Исследование в области теплоснабжения и вентиляции. Межвуз.темат.сб.тр. Л.: ЛИСИ, 1981, с. 21-26.
3. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? - М.: Энергия, 1976. - 152 с.
4. Дыскин Л.М. Определение оптимальных режимов работы вихревых осушителей воздуха. - В кн.: Совершенствование методов расчета и систем теплоснабжения: Межвуз.темат.сб.тр. Л.: ЛИСИ, 1982, с. 71-77.