

УДК 621.61/63

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВАЛОВ ПЕЧНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ИЗ МАТЕРИАЛОВ С РАЗНЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Л. А. Зайнуллин¹, М. В. Калганов¹, Д. В. Калганов¹, Н. А. Спирин²¹ ОАО «ВНИИМТ» (г. Екатеринбург, Россия),² ФГАОУ ВО УрФУ (г. Екатеринбург, Россия)

Получены экспериментальные данные о теплообмене от открытого участка вала печного вентилятора Ц9-55 № 10. Их анализ позволил сделать вывод, что эффективность теплоотвода от вала в большей степени зависит от выбора конструкции устройства охлаждения, чем от применяемых материалов. Расчеты показали, что при замене стали 45 на алюминий или медь для всех типов устройств: ОД 260; СТ 260 и МД 260 температура вала в районе первого подшипника снижается лишь на 6 – 8 °С во всем изученном диапазоне изменения частоты вращения от 200 до 1200 мин⁻¹. В исследованном диапазоне изменения параметров работы вентилятора при изготовлении устройств охлаждения можно применять более дешевый материал — сталь 45 без какого-либо существенного уменьшения эффективности охлаждения вала.

Ключевые слова: устройство охлаждения, вал печного вентилятора, конвективный теплообмен.

Надежность работы печей с конвективным типом теплообмена определяется во многом ресурсом работы высокотемпературных вентиляторов, которые являются побудителями циркуляции газовой среды внутри их рабочего пространства, интенсифицируя нагрев обрабатываемого металла [1 – 14]. Длительная эксплуатация печных вентиляторов определяется удовлетворительными температурными условиями работы их ходовой части. Показано [15], что наибольший нагрев наблюдается на участке вращающегося вала вентилятора между рабочим колесом (в печном объеме) и подшипниковыми опорами. Тепловой поток, распространяющийся от нагретого конца вдоль вращающегося вала, рассеивается в окружающее пространство наиболее интенсивно на участке между наружной стенкой печи и первым (ближним) к ней подшипником.

Экспериментальные зависимости теплообмена от открытого участка вращающегося вала приведены в [16]. Расчеты и исследования в промышленных условиях показали, что на некоторых режимах работы, например, при температуре перекачиваемого газа 600 °С и скорости вращения вала менее 400 мин⁻¹ наблюдается нагрев первого подшипника более допустимого значения (> 75 °С). С целью повышения теплоотвода от поверхности открытого участка вала на нем устанавливают разного рода системы воздушного охлаждения, представляющие собой вращающиеся теплообменники с развитой теплообменной поверхностью разной конструкции.

В [17 – 19] исследовали устройства охлаждения: однодисковые (ОД 260), стержневые (СТ260) и многодисковые (МД 260) с внешним диаметром 260 мм (рис. 1). Все исследованные устройства изготовлены из стали 45 и показали более высокую эффективность отвода тепла от поверхности вала по сравнению с необорудованным валом. Определенный интерес представляет изучение влияния на интенсивность охлаждения вала

указанных устройств из разных материалов с разными теплофизическими свойствами, например, из алюминия и меди (теплопроводность меди выше, чем стали 45 примерно в пять раз, что способствует увеличению эффективности тепловой работы устройства).

Количественно тепловую работу того или иного устройства, выполненного из разных материалов, оценивали по следующей методике. Наибольшую трудность при этом представлял расчет распространения тепла за счет теплопроводности от вала к внешней поверхности через внутренний объем устройства ввиду сложности конструкции. Исследуемое устройство охлаждения того или иного типа представляли в виде условной втулки, установленной на вращающийся вал с некоторым эквивалентным диаметром $D_{\text{ЭКВ}}$ (рис. 1), который рассчитывался из условия, что тепловой поток от вала к поверхности условной втулки, определяемый законом Фурье, равен тепловому потоку от поверхности реального устройства охлаждения в стационарном тепловом режиме. При этом средние температуры поверхности эквивалентной втулки и устройства охлаждения равны. Зависимость, описывающая теплопередачу от вала вентилятора в окружающую среду с учетом теплопроводящих свойств материала, в этом случае имеет вид:

$$Q_p = \frac{F_y (t_{\text{вал}} - t_{\text{в}})}{1/\alpha_y + F_y \ln(D_{\text{ЭКВ}}/d_{\text{вал}})/(2\pi\lambda_{\text{вт}}l_{\text{ст}})}, \quad (1)$$

где Q_p — рассеиваемый тепловой поток с поверхности устройства охлаждения, Вт; α_y — коэффициент теплоотдачи с поверхности устройства охлаждения, Вт/(м² · °С); F_y — теплообменная поверхность устройства охлаждения, м²; $d_{\text{вал}}$ — диаметр вала, м; $\lambda_{\text{вт}}$ — коэффициент теплопроводности втулки, Вт/(м² · °С); $l_{\text{ст}}$ — длина ступицы, м; $t_{\text{вал}}$ и $t_{\text{в}}$ — температуры вала и окружающей среды, °С.

Коэффициент теплопередачи от поверхности вала в окружающую среду через охлаждающее устройство:

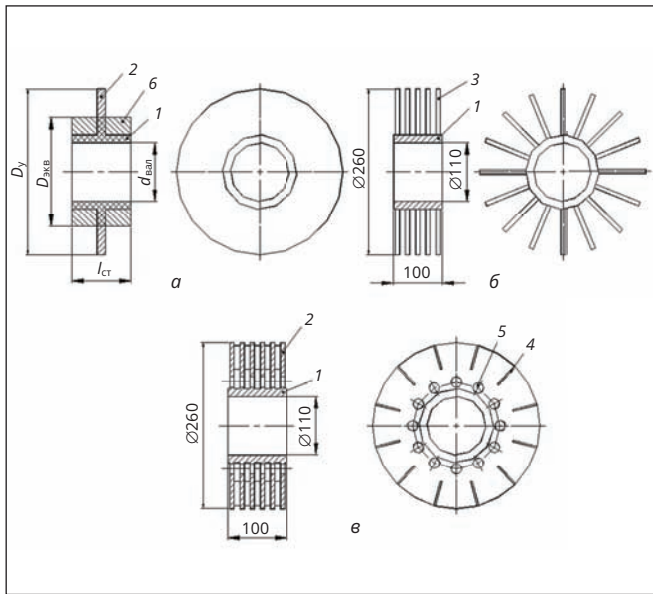


Рис. 1. Исследованные устройства воздушного охлаждения вала печного вентилятора Ц9-55 № 10: а — однодисковое ОД 260; б — стержневое СТ 260; в — многодисковое МД 260; 1 — ступица устройства охлаждения; 2 — диск; 3 — стержень; 4 — радиальные лопатки; 5 — впускные отверстия; 6 — условная эквивалентная втулка; $D_{экв}$ — диаметр эквивалентной втулки; D_y — внешний диаметр устройства; $l_{ст}$ — длина ступицы устройства охлаждения; $d_{вал}$ — диаметр вала вентилятора

$$k_y = \frac{1}{1/\alpha_y + F_y \ln(D_{экв}/d_{вал}) / (2\pi\lambda_{вт}l_{ст})}. \quad (2)$$

Выражение для определения эквивалентного диаметра втулки имеет вид:

$$D_{экв} = d_{вал} \exp\left[\frac{2\pi\lambda_{вт}l_{ст}}{F_y} \left(\frac{1}{k_y} - \frac{1}{\alpha_y}\right)\right]. \quad (3)$$

При расчете эквивалентного диаметра втулки по указанной выше зависимости использовали значения k_y и α_y , полученные в ходе экспериментальных исследований для конкретных конструкций охлаждения из стали 45. Коэффициент теплопередачи для устройств охлаждения из других материалов — алюминия и меди определяли по формуле (2) при допущении, что эквивалентный диаметр условной втулки для конкретных условий работы и соответствующих конструкций устройств охлаждения — величина постоянная.

На рис. 2, а – в представлены результаты расчетов в виде зависимостей температуры вала в районе первого подшипника от частоты его вращения в сопоставимых условиях при использовании устройств охлаждения ОД 260, СТ 260 и МД 260 из стали 45, алюминия и меди. В качестве исследуемого объекта использовали печной центробежный вентилятор Ц9-55 с рабочим колесом диам. 1000 мм [15], используемый при температуре перекачиваемого газа 600 °С.

При замене стали 45 алюминием устройство охлаждения ОД 260 (рис. 2, а) позволяет снизить температуру вала при 600 мин⁻¹ с 86 до 79 °С, т. е. на 7 °С. Использование меди в этом случае приводит к снижению температуры вала относительно алюминия лишь

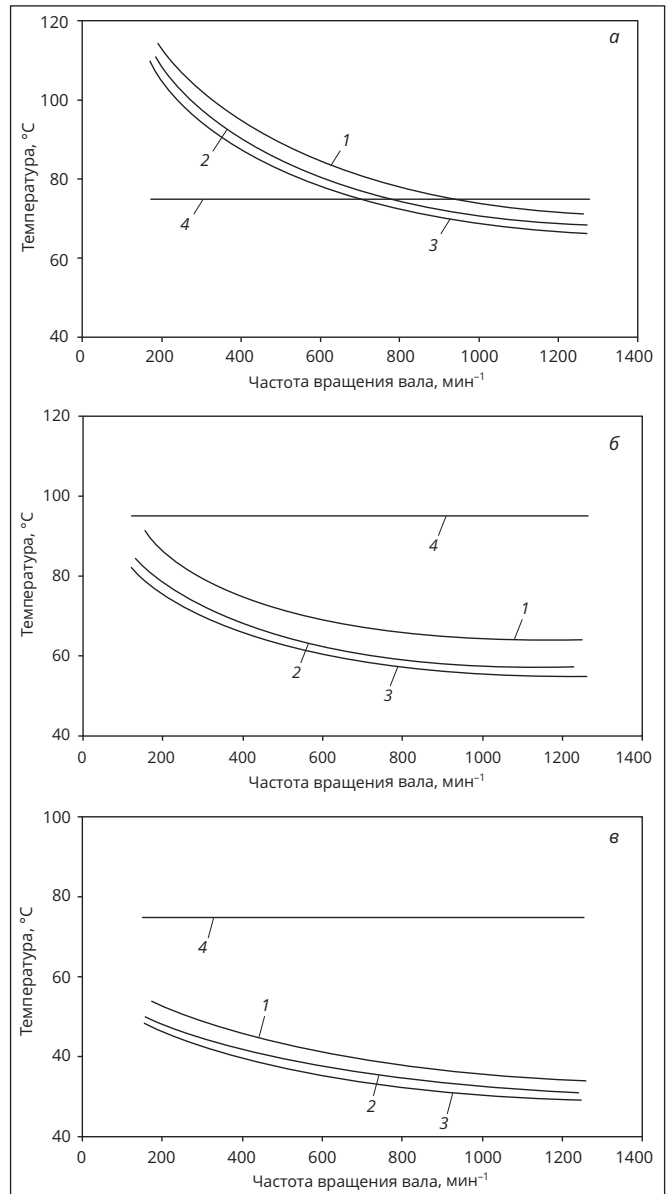


Рис. 2. Зависимости изменения температуры вала в районе первого подшипника от частоты его вращения, оборудованного ОД 260 (а), СТ 260 (б), МД 260 (в), изготовленного из материалов: 1 — сталь 45; 2 — алюминий; 3 — медь; 4 — максимально допустимая температура

на 1 °С, т. е. до 78 °С. Замена стали 45 на алюминий или медь в устройствах СТ 260 и МД 260 (рис. 2, б, в) снижает температуру вала в сопоставимых условиях на 6 – 8 °С.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что эффективность теплоотвода от вала печного вентилятора в большей степени зависит от выбора конструкции устройств охлаждения, чем от применяемых материалов.

Таким образом, в исследованном диапазоне изменения параметров работы вентилятора в интервале частот от 200 до 1200 мин⁻¹ при изготовлении устройств охлаждения всех трех типов можно применять более дешевый материал — сталь 45 без какого-либо существенного уменьшения эффективности охлаждения вала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аптерман В. Н., Тымчак В. М. Протяжные печи. — М. : Metallurgy, 1969. — 320 с.
2. Казанцев Е. И. Промышленные печи. — М. : Metallurgy, 1975. — 367 с.
3. Дружинин Г. М., Ашихмин А. А., Маслов П. В. и др. Термическая печь с комбинированной системой отопления // Сталь. 2015. № 3. С. 70 — 74.
4. Зайнуллин Л. А., Калганов М. В., Калганов Д. В. и др. Создание печных электронагревателей с радиационно-конвективным способом теплообмена // Сталь. 2015. № 3. С. 75 — 77.
5. Кузьмин И. И., Зубков С. В., Лыжин Ю. А. Совершенствование конструкции циркуляционного вентилятора колпаковых печей // Сталь. 2007. № 8. С. 89 — 91.
6. Bloom W. Jet heat reparation of waste furnace gases on strip lines // Iron and Steel Engineer. 1979. Vol. 12. P. 32 — 37.
7. Martin H. Heat and mass transfer between impinging gas jets and solid surfaces // Advances in Heat Transfer. 1977. Vol. 13. P. 1 — 60.
8. Lauder V. E., Rodi W. The turbulent wall jet // Prog. Aerospace Science. 1981. Vol. 19. P. 81 — 128.
9. Султанов Н. Л., Мироненков Е. И., Жиркин Ю. В. Управление тепловым состоянием подшипниковых опор на стане-тандеме 2000 холодной прокатки ОМО ММК // Сталь. 2014. № 4. С. 71 — 73.
10. Zareba S., Wolff A., Jelali M. Mathematical modeling and parameter identification of a stainless steel annealing furnace // Simulation Modeling Practic and Theory. 2016. Vol. 16. P. 15 — 39.
11. Strommer S., Niederer M., Steinboeck A., Kudi A. A mathematical model of a direct-fired continuous strip annealing furnace // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2014. Vol. 69. P. 375 — 389.
12. Feng H. J., Chen L. G., Xie Z. N., Sun F. R. Constructive design for insulation layers of steel rolling reheating furnace wall with convective and radiative boundary condition // Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 100. P. 925 — 931.
13. Соломахова Т. С., Чебышева К. В. Центробежные вентиляторы: справочник. — М. : Машиностроение, 1980. — 175 с.
14. Косточкин В. Н. Центробежные вентиляторы. — М. : Машгиз, 1951. — 222 с.
15. Зайнуллин Л. А., Калганов М. В., Калганов Д. В., Спирин Н. А. Исследование тепловых режимов работы ходовой части печного вентилятора // Сталь. 2018. № 5. С. 37 — 39.
16. Зайнуллин Л. А., Калганов М. В., Калганов Д. В. Исследование эффективности охлаждения вращающегося вала печного высокотемпературного вентилятора // Изв. вузов. Черная металлургия. 2015. № 9. С. 662 — 666.
17. Зайнуллин Л. А., Калганов М. В., Калганов Д. В., Спирин Н. А. Исследование эффективности охлаждения вращающегося вала печного вентилятора при использовании устройств однодискового типа // Изв. вузов. Черная металлургия. 2018. № 2 (1418). С. 73 — 77.
18. Зайнуллин Л. А., Калганов М. В., Калганов Д. В., Спирин Н. А. Исследование эффективности охлаждения вала печного вентилятора, оснащенного устройствами стержневого типа // Изв. вузов. Черная металлургия. 2017. № 8. С. 651 — 655.
19. Зайнуллин Л. А., Калганов М. В., Калганов Д. В., Спирин Н. А. Разработка и исследование устройств воздушного охлаждения вращающегося вала печного высокотемпературного вентилятора многодискового типа // Изв. вузов. Черная металлургия. 2017. № 6. С. 451 — 456.

Статья поступила 23.03.2020

Контактная информация

Данная статья опубликована в журнале Сталь № 5, 2020 г., посвященном 90 летнему юбилею научно-исследовательского института металлургической теплотехники ОАО «ВНИИМТ». Институт ВНИИМТ предлагает эффективные технологии переработки металлургического сырья и энергоэффективные печные агрегаты, горелочные устройства для металлургии и машиностроения.

Если Вас заинтересовала информация, представленная в данной статье, Вы можете обратиться по следующим координатам.

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»
(ОАО «ВНИИМТ»).

620137, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Факс.: +7 (343) 374-29-23

Email: aup@vniimt.ru

www.vniimt.ru