

О. С. Дмитриева, А. В. Дмитриев, А. Н. Николаев

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТИ В ГРАДИРНЯХ ВИХРЕВОГО ТИПА С РАСПЫЛИТЕЛЯМИ

*Ключевые слова: градирня, расход воды, оборотная вода, распылитель.**В статье предложен аппарат для охлаждения оборотной воды и метод определения расхода воды.**Keywords: cooling tower, water consumption, circulating water, atomizer.**The paper developed a device for cooling circulating water and the method for determining the water consumption.*

Мировая потребность в воде на сегодняшний день превышает половину среднегодового стока всех рек Земли. Нехватку воды испытывает более 2,5 млрд. людей на планете, и очевидно, что с ростом населения, развитием городов и производств дефицит будет только увеличиваться [1]. Анализ прогнозов развития экономики Российской Федерации, в том числе и с учетом последствий мирового экономического кризиса, приводит к выводу, что к 2020 году с большой вероятностью годовая потребность в водных ресурсах составит 90-110 км<sup>3</sup> [2, 3]. В целях максимально эффективного использования водных ресурсов предприятия используют водооборотные охлаждающие системы, где в качестве охлаждающего оборудования используются градирни [4]. Однако существующие недостатки традиционных градирен, такие как плохая смачиваемость насадочных устройств, недостаточно равномерное распределение воды и другие, делают весьма актуальной задачу разработки новых аппаратов для охлаждения оборотной воды. В работах [5, 6] представлена конструкция теплообменного устройства для контакта газа и жидкости в вихревом потоке для систем оборотного водоснабжения, применение которой позволит эффективно осуществлять процесс охлаждения оборотной воды. Авторами статьи разработан вихревой аппарат с дисковым распылителем [7], который не обладает вышеперечисленными недостатками. Достоинствами аппарата являются низкое гидравлическое сопротивление аппарата, простота конструкции, высокая эффективность охлаждения при относительно низких энергетических и эксплуатационных затратах. Подробное описание разработанной конструкции представлено в работе [8].

Для оптимальной работы разработанной вихревой камеры с дисковым распылителем необходимо, чтобы все капли после контакта с воздухом имели одинаковую температуру. Это возможно, если выполняется условие постоянства диффузионного потока от всех капель, находящихся в рабочей зоне аппарата:

$$n_a \pi a^2 \beta_a (x - x_p) \tau_a = \text{const}, \quad (1)$$

где  $n_a = 6L_{vi}\tau_a/(\pi a^3)$  – количество капель в рабочей зоне аппарата диаметром  $a$ ;  $a$  – диаметр капли, м;  $\beta_a$  – коэффициент массоотдачи от капель к воздуху, м/с;  $x$  – влагосодержание воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $x_p$  –

равновесное влагосодержание, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau_a$  – время полета капель, с;  $L_{vi}$  – объемный расход жидкости с  $i$ -того диска распылителя, м<sup>3</sup>/с.

Откуда после всех преобразований можно определить распределение потоков жидкости с дисков распылителя

$$\frac{L_{mi}}{L_{m\max}} = \frac{(h - \Delta z)^2 \left( 1 - \left( 1 - \frac{D_n}{2R_a} \right) \frac{i\Delta z}{h_p} \right)^{3,29}}{\left( h + i\Delta z \left( \left( R_a - \frac{D_n}{2} \right) \frac{\text{tg} \chi}{h_p} - 1 \right) \right)^2 \cdot \left( 1 + \left( R_a - \frac{D_n}{2} \right) \frac{i\Delta z}{h_p} \text{tg} \chi \right)^{-2,29}} \quad (2)$$

где  $L_{mi}$  – массовый расход жидкости с  $i$ -того диска распылителя, кг/с;  $L_{m\max}$  – максимальный массовый расход жидкости с первого диска распылителя, кг/с;  $h$  – высота лопаток завихрителя, м;  $\Delta z$  – высота прорези в распылителе, м;  $D_n$  – диаметр патрубка для выхода воздуха, м;  $R_a$  – радиус аппарата, м;  $i\Delta z$  – расстояние от верхней крышки камеры до  $i$ -того диска распылителя;  $h_p$  – высота распылителя, м;  $\chi$  – угол наклона образующей конического днища к оси завихрителя, °.

Массовый расход воды в разработанном вихревом аппарате определяется по уравнению:

$$L_m = L_{m\max} \left( 1 + \frac{1}{L_{m\max}} \sum_{i=1}^n L_{mi} \right) \quad (3)$$

где  $n$  – количество дисков распылителя.

Следует отметить, что первый диск имеет индекс  $i = 0$ . На верхние диски жидкости подается больше с целью более равномерного заполнения каплями рабочей зоны вихревой камеры, т.е.  $L_{m\max} = L_{m0}$ . Расчет вихревой камеры с дисковым распылителем проводился для аппарата с радиусом  $R_a = 0,5$  м, диаметром выходного патрубка для газа  $D_n = 0,25$  м, высотой распылителя  $h_p = 0,2$  м, высотой лопаток завихрителя  $h = 0,3$  м, углом наклона образующей днища на оси завихрителя  $\chi = 20^\circ$ , общим количеством дисков распылителя  $n = 10$ .

Результаты расчетов показали, что такие конструктивные параметры аппарата, как высота распылителя и диаметр патрубка для выхода воздуха, практически не влияют на изменение распределения жидкости с дисков распылителя (рис. 1, 2).

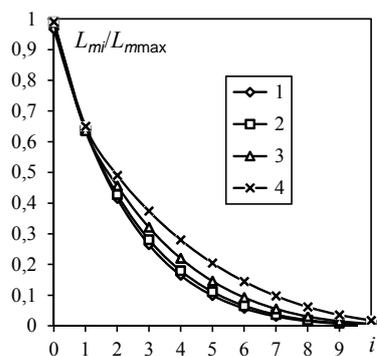


Рис. 1 – Распределение воды с дисков распылителя в зависимости от высоты распылителя, м: 1 – 0,05; 2 – 0,1; 3 – 0,2; 4 – 0,3

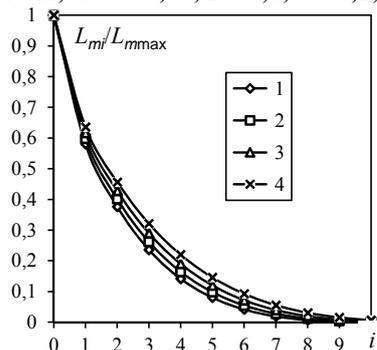


Рис. 2 – Распределение воды с дисков распылителя в зависимости от диаметра выходного патрубка для газа, м: 1 – 0,1; 2 – 0,15; 3 – 0,2; 4 – 0,25

На рисунке 3 видно, что при радиусе аппарата  $R_a \leq 0,3$  м зависимость имеет практически линейный характер.

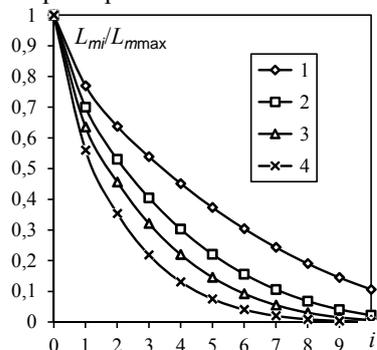


Рис. 3 – Распределение воды с дисков распылителя в зависимости от радиуса аппарата, м: 1 – 0,3; 2 – 0,4; 3 – 0,5; 4 – 0,7

Оказывают существенное влияние на распределение жидкости с дисков распылителя такие параметры, как радиус аппарата и угол наклона образующей днища к оси завихрителя, поскольку объем рабочей зоны аппарата, заполненный каплями равных диаметров, становится практически одинаковым по радиусу аппарата (рис. 3, 4). В вихревых камерах с малым радиусом и небольшим углом наклона образующей днища к оси завихрителя происходит более

равномерное заполнение рабочей зоны аппарата каплями воды, пространство между распылителем и лопастями уменьшается и заполняется мелкими каплями (рис. 3, 4).

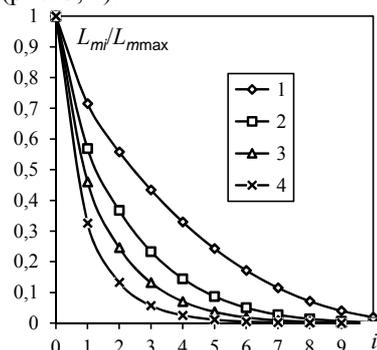


Рис. 4 – Распределение воды с дисков распылителя в зависимости от угла наклона образующей днища к оси завихрителя, °: 1 – 10; 2 – 30; 3 – 45; 4 – 60

Таким образом, разработанный аппарат с дисковым распылителем позволяет создавать капли требуемых диаметров, что позволит равномерно заполнить всю рабочую зону мелкодисперсными каплями и увеличить эффективность процесса охлаждения оборотной воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (гос. контракты на проведение НИР 02.740.11.0685, 02.740.11.0753) и гранта Президента РФ.

## Литература

1. И.Р. Калимуллин, Г.Х. Гумерова, А.Н. Николаев, *Вестник Казанского технологического университета*, 16, 2, 142-144 (2013)
2. *Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года*. Москва, 2009. 39 с.
3. В.И. Данилов-Данильян, *Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России*. ООО «Типография ЛЕВКО», Москва, 2009. 88 с.
4. А.Г. Лаптев, И.А. Ведьгаева, *Устройство и расчет промышленных градирен*. КГЭУ, Казань, 2004. 180 с.
5. О.С. Дмитриева, А.В. Дмитриев, А.Н. Николаев, *Вестник Казанского технологического университета*, 16, 3, 63-65 (2013)
6. Заявка на патент Российской Федерации 2012144822/20 (2012)
7. Заявка на патент Российской Федерации 2012154478/06 (2012)
8. О.С. Дмитриева, А.В. Дмитриев, *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 3, 13-16 (2013)