

Влияние неравномерности орошения на интенсивность процесса в испарительной градирне

Шарифуллин В. Н., доктор техн. наук

Казанский государственный энергетический университет

Бадриев А. И., инж.

Казанский федеральный университет

Шарифуллин А. В., доктор техн. наук

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Получено экспериментальное распределение плотности орошения по сечению градирни. Предложено учитывать неравномерность плотности орошения в градирне с помощью статистической функции распределения. Приведена формула связи этой функции с показателем интенсивности массопереноса в пространстве аппарата. Показано, что скорость массопереноса снижается с увеличением неравномерности распределения потока.

Ключевые слова: градирня, плотность орошения, массоперенос.

Испарительные градирни широко применяются в системах оборотного охлаждения тепловых электростанций (ТЭС), металлургических заводов и других предприятий. На ТЭС от эффективности работы градирни зависят как вакуум в турбинах, так и удельный расход пара на производство электроэнергии, что напрямую влияет на ее себестоимость. Проблемам проектирования и интенсификации процесса в градирнях посвящено немало работ (например, [1–3]), в которых рассматриваются вопросы разработки новых конструкций аппаратов и типов контактных устройств (оросителей), водно-химического режима и моделирования процесса. Однако несмотря на это, в некоторых случаях, особенно в летний период, градирни становятся “узким местом” производства, в связи с чем возникает вопрос о резервах повышения их охлаждающей способности.

Известно, что крупномасштабным аппаратам присущи неравномерности протекающих в них процессов. Одним из возможных факторов, оказывающих влияние на эффективность охлаждения, может быть неравномерность орошения в градирне. Как велика эта неравномерность в промышленных аппаратах и насколько она значима для процесса? Ответы на эти вопросы трудно найти в имеющейся литературе. Данная статья посвящена экспериментальному определению неравномерности орошения в действующей крупномасштабной градирне, а также разработке методики оценки влияния этого фактора на процесс в ней.

В аппаратах большого размера, например в башенных градирнях, сложно обеспечить

равномерность протекания процессов во всем объеме. Для башенных градирен с площадью орошения 1200–2600 м² свойственны неравномерности плотности орошения, что приводит к неравномерности протекания процессов тепло- и массопереноса в объеме аппарата, влияющей на тепловую мощность градирни. Неравномерность орошения в башенной градирне оценивали на примере промышленного аппарата БГ-2600, установленного на ТЭС. Площадь орошения градирни — 2600 м², по сечению аппарат разделен на 12 секций и оборудован полимерными оросителями типа “косой дождь”. Расход охлаждаемой воды на градирню составляет 13 000–20 000 м³/ч, перепад температуры — 9–13 °С.

Методика эксперимента была простой: в каждой секции нижнего сечения аппарата замеряли время наполнения емкости водой, по которому вычисляли плотность орошения. Для каждой точки проводили три-четыре параллельных опыта. Сначала точки замера находились на одной хорде каждой секции. Результаты эксперимента для конкретного общего расхода охлаждаемой воды представлены на рис. 1. Согласно полученным данным плотности орошения в разных секциях могут отличаться до 3 раз, средняя плотность орошения составила 2,87 м/ч, среднеквадратическое отклонение — 0,97 м/ч, т. е. 33 % среднего значения. Такой разброс должен отражаться на эффективности градирни. Несмотря на то, что исследования проводили на одном аппарате, можно с большой уверенностью говорить о подобной неравномерности и для других крупномасштабных градирен.

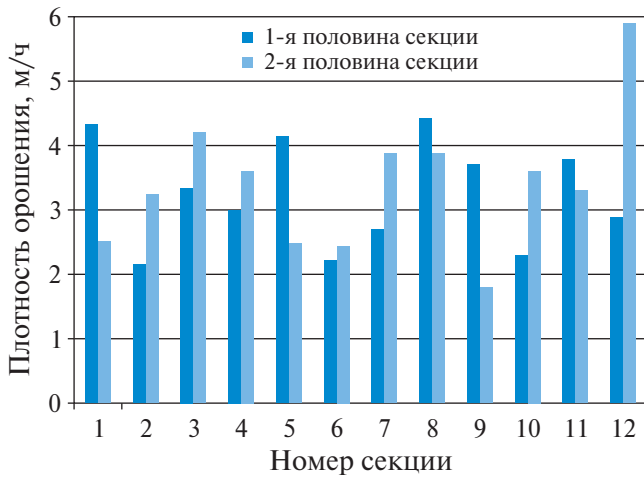


Рис. 1. Распределение плотности орошения по секциям градири БГ-2600

Наряду с распределением плотности орошения по окружности градири при одном радиусе горизонтального сечения было получено также и распределение орошения по радиусу каждой секции. На рис. 2 в качестве примера показано распределение орошения по радиусу в двух секциях. В соответствии с результатами эксперимента орошение по краям радиуса секции может отличаться от орошения в центре до 7 раз, при этом среднеквадратическое его отклонение может составить 2,47 м/ч.

Полученный таким образом статистический материал был объединен в одной гистограмме статистической плотности распределения, представленной на рис. 3. Согласно результатам средняя плотность орошения составила 3,4 м/ч, а среднеквадратическое отклонение — 1,2 м/ч (около 30 % среднего значения). Таким образом, эксперимент показал большой разброс плотностей орошения по сечению аппарата.

По выборочной плотности распределения в качестве теоретического закона был выбран нормальный закон. Использование метода проверки статистических гипотез и критерия согласия Пирсона [4] подтвердило, что нормальный закон может быть применен для описания данного экспериментального распределения.

На следующем этапе работы анализировали влияние неравномерности плотности орошения на интенсивность процесса в градири. В напряженный летний период преобладающим процессом, протекающим в градири, является испарение, или массоперенос влаги в воздушную среду. Поэтому в качестве показателя интенсивности процесса в градири-

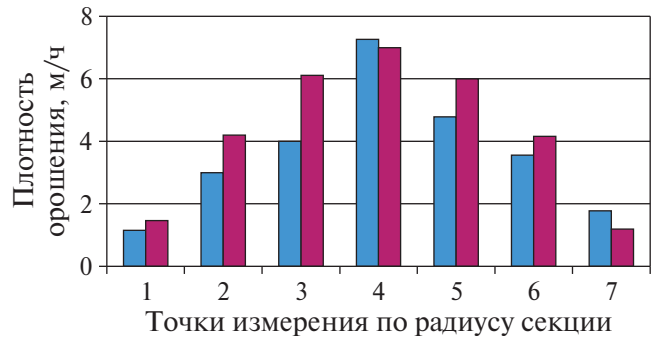


Рис. 2. Распределение орошения по радиусу в двух соседних секциях

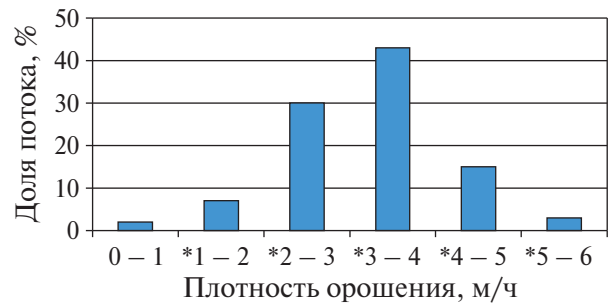


Рис. 3. Статистическая плотность распределение орошения

не принят коэффициент массопереноса. Для анализа данного процесса можно было бы использовать имеющиеся программы моделирования, например [3], но при этом необходимо разделить аппарат на секторы с одинаковой плотностью орошения, выполнить их расчет и суммирование результатов. Такой подход сложен и недостаточно нагляден. Поэтому разработана простая методика анализа, основанная на методах математической статистики [4].

Рассмотрим плотность орошения как непрерывную случайную величину, изменяющуюся в пределах от 0 до максимально возможного значения w . Тогда неравномерность распределения плотности орошения в градири не может быть учтена статистической функцией $f(u)$. По физическому смыслу $f(u)du$ означает долю сечения, плотность орошения в которой находится в пределах от u до $u + du$. Среднее значение распределения, т. е. среднюю плотность орошения по сечению аппарата U , можно определить по формуле [4]

$$U = \int_0^w u f(u) du. \quad (1)$$

Интенсивность процесса массопереноса в аппарате характеризуется коэффициентом мас-

сопереноса, который в свою очередь является произведением удельной поверхности контакта фаз и поверхностного коэффициента массоотдачи в газовой фазе. Согласно теории массопередачи эти параметры зависят от расхода жидкости. На основании этого коэффициент массопереноса h при неизменности других факторов можно выразить в форме степенной зависимости от плотности орошения [1 – 3]:

$$h = B u^n, \quad (2)$$

где B — постоянная величина; n — эмпирический показатель степени.

Средний коэффициент массопереноса для всего аппарата H с учетом неравномерности распределения плотности орошения рассчитывается по формуле

$$H = \int B u^n f(u) du. \quad (3)$$

На практике же зависимость для коэффициента массопереноса всего аппарата выражается относительно средней плотности орошения U . Вид этой зависимости остается такой же, что и для фиксированного значения плотности орошения. Постоянная величина B для той же среды также сохраняет свое значение, следовательно, все различия должны выражаться через эмпирический показатель степени m :

$$H = B u^m. \quad (4)$$

Показатель степени m по сути является мерой эффективности массоотдачи в аппарате. Объединяя формулы (1) – (4) и решая полученное выражение относительно показателя степени, получили:

$$m = \ln \left[\int u^n f(u) du \right] / \ln \left[\int u f(u) du \right]. \quad (5)$$

Формула (5) служит доказательством того, что интенсивность массоотдачи в градирне зависит от распределения плотности орошения по сечению аппарата. Эта формула позволяет проанализировать связь того или иного закона распределения с интенсивностью массоотдачи в аппарате. Проведено ис-

следование влияния различных распределений на значение показателя m . В частности, при нормальном законе распределения плотностей орошения

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{(u-U)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (6)$$

и показателе степени при плотности орошения $n = 0,8$ получено, что при одной и той же средней плотности орошения, например $U = 1,5$ м/ч, показатель интенсивности массоотдачи m зависит от дисперсии неравномерного распределения σ^2 следующим образом: при $\sigma = 1,2$ м/ч $m = 0,38$; при $\sigma = 1$ м/ч $m = 0,57$; при $\sigma = 0,5$ м/ч $m = 0,775$; при $\sigma \rightarrow 0$ (дельта-функция распределения) $m = n = 0,8$. Таким образом, увеличение дисперсии распределения значительно снижает интенсивность массопереноса.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что неравномерность распределения плотности орошения оказывает существенное влияние на интенсивность массопереноса в аппарате, при этом с увеличением дисперсии распределения скорость процесса уменьшается. Устранение неравномерности орошения является резервом повышения эффективности аппарата. Знание закона неравномерности распределения плотности орошения необходимо также для более точного расчета аппарата.

Список литературы

1. Давлетшин Ф. М., Сагдеев А. А., Гильфанов К. Х. Экспериментальная установка для исследования характеристик оросителей промышленных градирен. — Химия и химическая технология, т. 49, 2006, вып. 12.
2. Sarker M. Enhancement of cooling capacity in a hybrid closed tower. — Term. Eng., 2009, 29, № 16.
3. Williamson N., Armfeld S., Behman M. Numerical simulation of flow in a natural draft wet cooling tower. — Term. Eng., 2008, 28, № 2 – 3.
4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособ. — М.: Высшая школа, 2005.

vilen44@mail.ru