

УДК 621.175.57

Э.Г.БРАТУТА, д-р техн. наук, Р.Г.АКМЕН, канд. техн. наук,
С.В.БОРОВОК

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА КАПЛЕОТДЕЛИТЕЛЕЙ КОНТАКТНЫХ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Определены поля распределения среднемассовых диаметров капель, их скоростей и локальных расходов жидкости во входном сечении каплеотделителя контактного теплообменного аппарата.

Смешивающие теплообменные аппараты получили широкое распространение в самых разных технологиях. Примером аппаратов такого типа могут послужить градирни, камеры орошения центральных кондиционеров, контактные конденсаторы парогазовых установок, скрубберы и т.д. Одним из недостатков аппаратов такого типа является, как известно, унос капельной влаги.

К примеру, для градирни, количество влаги, уносимое в окружающую среду, составляет около 3% воды оборотного цикла. Уносимая влага содержит соли кальция и железа, которые оседают на поверхности грунта близлежащих земель и разрушают плодородный слой. Для восстановления потерь воды оборотного цикла на привод насосного оборудования требуется дополнительное количество энергии, что приводит к увеличению эксплуатационных затрат.

Очевидно, что количество уносимой в атмосферу влаги зависит от эффективности работы каплеотделителей. Конструкция установленных на градирнях каплеуловителей не обеспечивает достижение расчетных параметров среды на выходе, что сказывается на работе побудителей движения воздуха – вентиляторах градирен.

Не менее актуальным вопросом является доувлажнение потока воздуха на конечных ступенях сепаратора, что нежелательно для систем кондиционирования воздуха, так как это приводит к дополнительным расходам теплоты на калорифер второго подогрева, а следовательно, к увеличению эксплуатационных затрат.

Кроме этого улавливание капельной влаги также необходимо при мокрой очистке газов в скрубберах. Здесь вопрос улавливания капельной среды еще более актуален, так как капли, уносимые в окружающую среду, могут содержать химически агрессивные вещества.

Все вышесказанное определяет необходимость рассмотрения вопросов, касающихся расчетов и проектирования сепарационных устройств оптимальной конструкции, которые смогли бы уменьшить ко-

личество уносимой влаги.

В настоящий момент расчет сепарационных устройств выполняется по эмпирическим зависимостям, и реальные особенности работы при расчете практически не учитываются. Также не учитывается дисперсный состав капельной влаги и неравномерное распределение локальных расходов жидкости во входном сечении сепаратора.

Очевидно, что характер распределения локальных расходов, скоростей и дисперсный состав жидкой фазы в существенной мере определяются типом распыливающих устройств, режимом их работы и геометрией расположения форсунок в контактном аппарате [1-3]. Поэтому в качестве одного из вариантов контактных теплообменников была выбрана камера орошения центрального кондиционера.

В качестве объекта исследования была выбрана камера орошения кондиционера (размеры камеры $D \times B \times Ш = 1800 \times 1300 \times 770$ см).

Впервые был использован новый подход при формировании исходных данных для проектирования сепараторов, который учитывает наличие капель жидкости в потоке и их влияние на структуру потока. Была составлена математическая модель, которая смогла бы в полной мере отразить влияние наиболее существенных факторов на распределение расходов, скоростей и среднemasсовых диаметров на входе в сепарационное устройство.

Было принято допущение, что на каплю действуют только силы аэродинамического сопротивления и сила тяжести. Анализ соотношения сил показал, что составляющие других сил (силы соударения между каплями, подъемная сила) можно не учитывать ввиду малого их влияния.

В основу математической модели для определения траектории было положено дифференциальное уравнение движения капли в проекциях на оси координат, которое имеет вид:

$$m_k \frac{d\vec{W}}{d\tau} = \pm m_k \vec{g} - C_D \Psi(D) \rho_e f_k \frac{|U| \vec{U}}{2}, \quad (1)$$

где m_k – масса капли; C_D – коэффициент аэродинамического сопротивления; $\Psi(D)$ – функция, которая учитывает деформацию капли; f_k – площадь миделевого сечения капли; $U = W_k - W_e$ – относительная скорость капли.

Коэффициент аэродинамического сопротивления определяется как

$$C_D = 24/Re + 4,4/\sqrt{Re} + 0,32, \quad (2)$$

где Re – критерий Рейнольдса.

Для расчета коэффициента деформации капли были использованы рекомендации работы [4], согласно которой

$$\psi(D) = \exp(0,03We^{1,5}), \quad (3)$$

где критерий Вебера: $We = \frac{\rho_{\theta} D_{\kappa} (W_{\theta} - W_{\kappa})^2}{\sigma}$.

Скорость воздуха определяется из уравнения неразрывности.

Начальное распределение капельной среды по диаметрам задавалось с помощью однопараметрической функции распределения капель по размерам, полученной с помощью счетно-импульсного метода измерения размеров капель [5].

$$v(D) = \frac{2}{3\pi} \alpha^4 D^3 K_1(\alpha D), \quad (4)$$

где α – параметр распределения, полученный экспериментально; D – диаметр капли; K_1 – функция Бесселя первого рода второго порядка от мнимого аргумента.

Достоверность использования этой функции была проверена многочисленными экспериментами [6].

Для численного интегрирования использовался метод Рунге-Кутты-Мерсона. Методика расчета заключается в следующем. Рассчитывалась траектория движения капли до ее контакта с ограждением камеры или попадания в выходное сечение камеры. Выходное сечение камеры орошения (входное сечение каплеотделителя) разбивалось равномерно на 5 частей по вертикали и 10 частей по горизонтали. Далее определялось количество влаги, проходящее через каждую из пятидесяти ячеек, размер каждой из которых составляет 260×77 см, а также скорости газокapельного потока и среднемассовый диаметр капель.

Были проведены несколько расчетов, в ходе которых использовали разные распределения капель по размерам, характерные для форсунок типа У1 и УЦ (рис.1,2 и табл.1-6).

Таблица 1 – Распределение среднемассовых диаметров капель на входе в сепаратор D_{κ} , мм (тип форсунок У1)

| D_{κ} | высота | Ширина | | | | | | | | | |
|--------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0,408 | 0,314 | 0,640 | 0,377 | 0,213 | 0,615 | 0,347 | 0,574 | 0,287 | 0,366 |
| | 0,396 | 0,251 | 0,749 | 0,304 | 0,199 | 0,684 | 0,286 | 0,682 | 0,260 | 0,330 | |
| | 0,237 | 0,262 | 0,522 | 0,214 | 0,166 | 0,501 | 0,224 | 0,454 | 0,196 | 0,298 | |
| | 0,145 | 0,262 | 0,523 | 0,101 | 0,159 | 0,499 | 0,178 | 0,462 | 0,190 | 0,185 | |
| | 0,172 | 0,000 | 0,550 | 0,078 | 0,180 | 0,528 | 0,149 | 0,535 | 0,144 | 0,180 | |

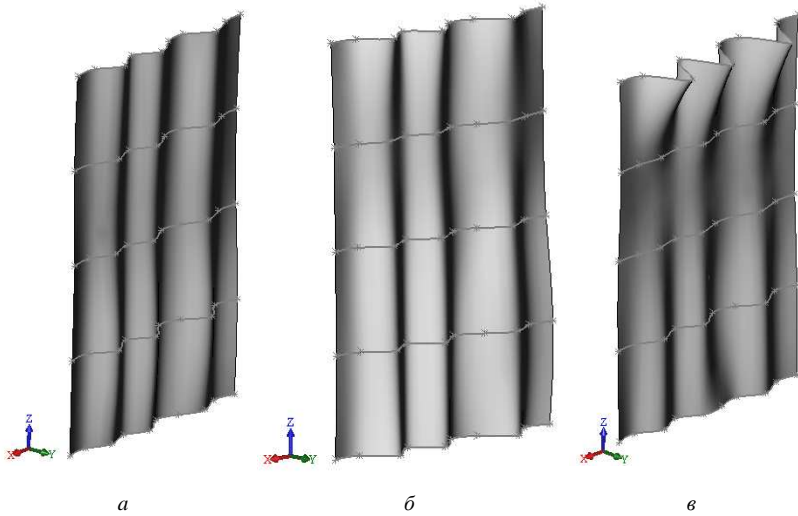


Рис.1 – Распределение на входе в сепаратор (тип форсунки У1):
a – среднemasовых диаметров капель; *б* – локальных расходов капельной влаги;
в – скоростей капель потока.

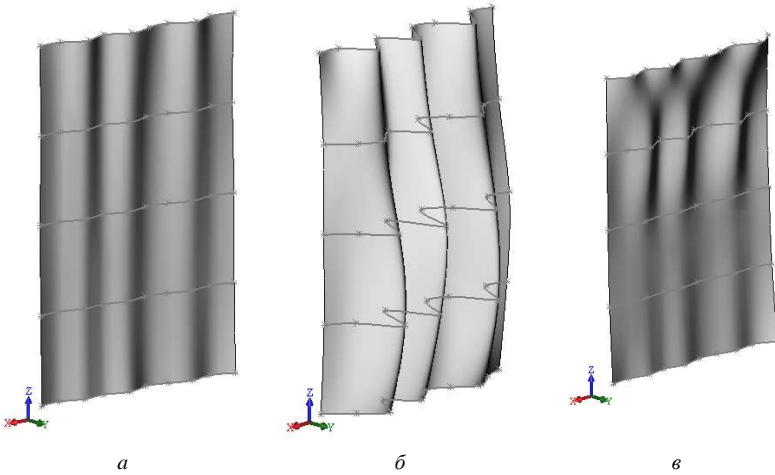


Рис.2 – Распределение на входе в сепаратор (тип форсунки УЦ):
a – среднemasовых диаметров капель; *б* – локальных расходов капельной влаги;
в – скоростей капель потока.

Таблица 2 – Распределение локальных расходов капельной влаги на вход сепаратора G, кг/с (тип форсунок У1)

| G | Высота | Ширина | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 0,0026 | 0,0017 | 0,0085 | 0,0019 | 0,0010 | 0,0073 | 0,0021 | 0,0081 | 0,0016 | 0,0016 |
| | | 0,0038 | 0,0036 | 0,0080 | 0,0044 | 0,0017 | 0,0071 | 0,0019 | 0,0069 | 0,0023 | 0,0020 |
| | | 0,0013 | 0,0017 | 0,0060 | 0,0018 | 0,0015 | 0,0058 | 0,0016 | 0,0058 | 0,0012 | 0,0016 |
| | | 0,0003 | 0,0024 | 0,0045 | 0,0019 | 0,0006 | 0,0042 | 0,0016 | 0,0042 | 0,0016 | 0,0012 |
| | | 0,0002 | 0,0000 | 0,0060 | 0,0004 | 0,0001 | 0,0064 | 0,0003 | 0,0061 | 0,0004 | 0,0001 |

Таблица 3 – Распределение скоростей капель на входе в сепаратор W, м/с (тип форсунок У1)

| W | Высота | Ширина | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2,85 | 2,81 | 3,17 | 2,83 | 3,02 | 3,07 | 2,75 | 3,08 | 2,74 | 2,89 |
| | | 2,76 | 2,64 | 3,06 | 2,67 | 2,57 | 2,99 | 2,65 | 2,99 | 2,70 | 2,73 |
| | | 2,57 | 2,58 | 2,78 | 2,56 | 2,55 | 2,76 | 2,57 | 2,72 | 2,65 | 2,65 |
| | | 2,49 | 2,48 | 2,79 | 2,51 | 2,52 | 2,77 | 2,52 | 2,64 | 2,58 | 2,65 |
| | | 2,49 | 0,00 | 3,76 | 2,50 | 2,49 | 3,72 | 2,49 | 3,72 | 2,62 | 2,49 |

Таблица 4 – Распределение среднemasовых диаметров капель на входе в сепаратор D_к, мм (тип форсунок УЦ)

| D _к | Высота | Ширина | | | | | | | | | |
|----------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0,500 | 0,286 | 0,493 | 0,343 | 0,274 | 0,553 | 0,376 | 0,491 | 0,300 | 0,459 |
| | | 0,381 | 0,258 | 0,402 | 0,270 | 0,212 | 0,400 | 0,265 | 0,401 | 0,228 | 0,367 |
| | | 0,322 | 0,225 | 0,400 | 0,229 | 0,185 | 0,396 | 0,230 | 0,399 | 0,210 | 0,276 |
| | | 0,191 | 0,191 | 0,396 | 0,159 | 0,151 | 0,396 | 0,162 | 0,396 | 0,180 | 0,255 |
| | | 0,184 | 0,099 | 0,420 | 0,096 | 0,205 | 0,420 | 0,121 | 0,420 | 0,140 | 0,150 |

Таблица 5 – Распределение локальных расходов капельной влаги на вход сепаратора G, кг/с (тип форсунок УЦ)

| G | Высота | Ширина | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 0,0071 | 0,0100 | 0,0148 | 0,0102 | 0,0078 | 0,0138 | 0,0064 | 0,0162 | 0,0105 | 0,0041 |
| | | 0,0096 | 0,0088 | 0,0208 | 0,0089 | 0,0080 | 0,0202 | 0,0066 | 0,0213 | 0,0099 | 0,0049 |
| | | 0,0100 | 0,0088 | 0,0194 | 0,0100 | 0,0054 | 0,0220 | 0,0066 | 0,0185 | 0,0105 | 0,0042 |
| | | 0,0054 | 0,0067 | 0,0134 | 0,0084 | 0,0037 | 0,0156 | 0,0068 | 0,0123 | 0,0098 | 0,0035 |
| | | 0,0024 | 0,0012 | 0,0102 | 0,0022 | 0,0007 | 0,0108 | 0,0017 | 0,0095 | 0,0016 | 0,0013 |

Таблица 6 – Распределение скоростей капель на входе в сепаратор W, м/с
(тип форсунок УЦ)

| W | Высота | Ширина | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 3,01 | 2,65 | 2,77 | 2,63 | 2,59 | 2,77 | 2,64 | 2,77 | 2,61 | 2,72 |
| | 2,76 | 2,60 | 2,68 | 2,56 | 2,54 | 2,67 | 2,59 | 2,67 | 2,64 | 2,59 | |
| | 2,66 | 2,53 | 2,65 | 2,51 | 2,51 | 2,65 | 2,52 | 2,65 | 2,53 | 2,55 | |
| | 2,58 | 2,52 | 2,97 | 2,50 | 2,50 | 2,97 | 2,56 | 2,97 | 2,65 | 2,54 | |
| | 2,69 | 3,11 | 2,76 | 2,92 | 3,06 | 2,79 | 3,11 | 2,73 | 2,98 | 2,54 | |

Полученные результаты свидетельствуют о существенной неравномерности распределения характеристик газокapelьного потока по входному сечению сепаратора.

На основании полученных результатов предоставляется возможность определить начальные условия движения капельной влаги на сепаратор, необходимые для осуществления второго этапа решения задачи, связанной с установлением эффективности сепаратора соответствующей геометрии.

1. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 328 с.

2. Головкин Л.Г. Распределение капель по размерам при распыливании жидкости центробежными форсунками // Инженерно-физический журнал. – 1964. – №11. – С. 55–61.

3. Бородин В.А., Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А. Распыливание жидкостей. – М.: Машиностроение, 1967. – 263 с.

4. Раушенбах Б.В., Белый С.А., Беспалый И.В. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.

5. Братута Э.Г. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях. – Харьков: Вища шк., 1987. – 144 с.

6. Братута Э.Г., Переселков А.Р. Обобщенная функция распределения объема капель по размерам // Изв. вузов. Энергетика. – 1978. – №3. – С.86-90.

Получено 23.03.2007

УДК 658.24

А.А.АЛЕКСАХИН, канд. техн. наук, И.Л.ДЕРКАЧ, Б.В.МИРОШНИЧЕНКО
Харьковская национальная академия городского хозяйства

РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПО ДЛИНЕ ОБРАТНОГО ТРУБОПРОВОДА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Получено решение дифференциального уравнения, описывающего тепловой режим в обратном трубопроводе тепловых сетей при линейном изменении расхода теплоносителя для двух случаев задания изменения по длине температуры теплоносителя на входе в трубопровод из ответвлений к зданиям. Выполнено сравнение результатов расчетов.

Поскольку микрорайонные тепловые сети характеризуются боль-