

Боровок С.В., Братута Э.Г., Кругляков О.В.

К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАСТИНЧАТЫХ КАПЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ ТЕПЛООБМЕННИКОВ КОНТАКТНОГО ТИПА

В настоящее время все более пристальное внимание уделяется энергосбережению и снижению техногенного влияния на окружающую среду. Кроме того, особое внимание уделяется охране водного бассейна. Стоимость энергоносителей, а также потребляемой чистой воды для нужд производства интенсивно растет. Одной из проблем на предприятиях энергетического сектора являются оборотные циклы охлаждения воды. Испарение, а также унос капельной влаги за пределы градирен приводит к необходимости пополнения оборотного цикла свежей водой, количество которой составляет десятки, а то и сотни кубических метров в час, что приносит дополнительные расходы энергии на собственные нужды предприятия. Кроме того, унос капельной влаги в зимний период времени приводит к обледенению линий электропередач, а также к повышению концентрации солей в грунтах близлежащих районов, что негативно сказывается на экологии.

Повысить эффективность работающих и вновь проектируемых контактных аппаратов возможно с помощью применения эффективных каплеуловителей, которые с одной стороны позволяют снизить унос капельной влаги и уменьшить энергозатраты на единицу выпускаемой предприятием продукции и, с другой стороны, снизить негативное влияние на окружающую среду.

Существующие на настоящий момент методы определения эффективности пластинчатых каплеуловителей, устанавливаемых после контактных теплообменных аппаратов, в частности градирен, заключаются в измерении расхода капельной влаги на входе в каплеуловитель и после него. Все они основаны на использовании зондов различной конструкции. Наиболее широкое распространение получила методика определения эффективности пластинчатых каплеуловителей разработанная в научно-исследовательском институте ВНИИ ВОДГЕО, где был предложен и изготовлен прибор для проведения эксперимента. Суть метода заключалась в том, что капли воды из воздушного потока осаждаются на электропроводную бумагу, изменяющую электрическое сопротивление пропорционально количеству осевшей на нее влаги. Таким образом, по изменению электрического сопротивления электропроводной бумаги можно определить общую массу осевших на ней капелек воды. Сопротивление бумаги может быть измерено любым омметром необходимой точности и диапазона.

Однако при использовании таких зондов происходит деформация газокapельного потока, в котором осуществляется измерение. Такой подход к определению расхода капельной влаги вносит погрешность в измерения, а также в результаты усреднения локальных замеров. При относительно небольшом расходе капельной среды, которая выходит за пределы каплеуловителя, эта погрешность в некоторых случаях может оказаться недопустимой.

Авторами данной работы предложена методика определения эффективности работы пластинчатых каплеуловителей, которая позволяет отказаться от применения зондов и избежать деформирования структуры газокapельного потока, исключить процедуру усреднения и значительно сократить время проведения эксперимента для определения эффективности каплеуловителей.

В основу методики положен весовой метод. Рассмотрим схему установки (рис. 1), последовательность проведения эксперимента и оборудование, которое было использовано при проведении опытов.

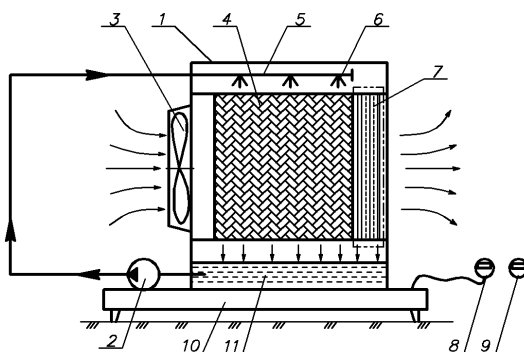


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

Экспериментальный стенд состоит из следующих элементов: 1 – градирня; 2 – циркуляционный насос; 3 – вентилятор; 4 – насадка градирни; 5 – подводящий к форсункам коллектор; 6 – форсунки; 7 – каплеуловитель; 8 – электронное табло весов; 9 – электронный секундомер; 10 – весы; 11 – водосборный бак градирни.

В эксперименте была использована передвижная малогабаритная вентиляционная градирня производства ЗАО "БРОТЕП-ЭКО" (Украина, г. Бровары) типа ГМВ-10П. Чертеж градирни представлен на рис. 2.

Градирни такого типа предназначены для охлаждения воды в системах оборотного водоснабжения компрессорных станций, холодильных установок, установок кондиционирования воздуха, другого теплообменного оборудования, в котором тепло необходимо отводить при помощи охлаждающей воды.

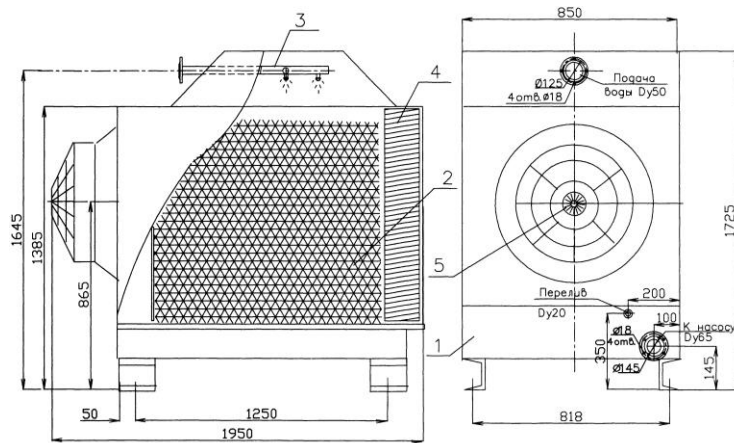


Рисунок 2 – Градирня ГМВ – 10П

1 – водосборный бак, 2 – ороситель, 3 – водораспределительная система, 4 – каплеуловитель, 5 – вентилятор

Выбор градирни ГМВ-10П в качестве контактного аппарата для проведения эксперимента не случаен. Как правило, контактные аппараты имеют значительные массогабаритные характеристики, и взвесить их на весах с высокой точностью достаточно сложно. Отличительной особенностью градирни ГМВ-10П являются малые массогабаритные характеристики, что обеспечивает ее мобильность и пригодность для проведения эксперимента.

В градирне установлен полимерный ороситель из поливинилхлорида, который имеет высокую удельную поверхность (до $300 \text{ м}^2/\text{м}^3$), обеспечивает интенсивное охлаждение воды при низком аэродинамическом сопротивлении.

Использовались платформенные весы КОДА-П модификации ПТ-4 харьковской фирмы ООО «КОДА» для статического взвешивания.

Таблица 1 – Характеристика градирни ГМВ-10П

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Гидравлическая нагрузка (расход воды), $\text{м}^3/\text{ч}$ – минимальная/ номинальная/максимальная	5/8/10
2	Давление воды на входе в градирню, бар	0,2–0,6
3	Тип и количество разбрызгивающих сопел	СТ-20x12 – 6 штук
4	Вентилятор осевой В 06–300	N 6,3
5	Мощность электродвигателя, кВт	0,75
6	Масса без воды / с водой, кг	320/720

Конструкция весов предусматривает эксплуатацию в местах с наличием вибраций от работающих механизмов и рекомендована для размещения на промышленных объектах.

Время стабилизации при измерении массы составляет не более 4 с. Максимальный вес взвешивания составляет 1000 кг, что не превышает массы экспериментальной установки. Цена поверочного деления – 200 г. Габарит платформы весов 2000×2000 мм, что является достаточным для размещения на ней всей экспериментальной установки.

В качестве экспериментального образца каплеуловителя был выбран каплеуловитель ВП-160 фирмы ЗАО "БРОТЕП-ЭКО" (Украина, г. Бровары) представленный на рис. 3.



Рисунок 3 – Каплеуловитель ВП-160

Жалюзийный каплеуловитель ВП-160 имеет простую разборную конструкцию из набора пластин, устанавливаемых на равном шаге друг от друга, составляющем в испытанном варианте 40 мм.

Проведение эксперимента включало определение гидравлического сопротивления каплеуловителя и эффективности его сепарирующей способности.

Перед пуском установки поддон градирни (водосборный бак) 11 заполняется заранее известным объемом воды. При запуске установки вода из поддона градирни 11 циркуляционным насосом 2 по коллектору 5 подается в градирню. Из коллектора 5 вода распределяется по форсункам и равномерно распыляется на поверхность оросителя 4. Стекая по гофрированным листам оросителя 4 в виде плёнки, вода охлаждается за счет потока воздуха нагнетаемого вентилятором 3. Далее вода стекает в поддон градирни 11, подается насосом 2 в градирню и цикл повторяется.

Воздух, нагнетаемый в градирню вентилятором 3, проходит через ороситель, охлаждает воду и подхватывает часть воды в виде капель жидкости. После чего воздух с капельной влагой проходит каплеуловитель 7. Основная масса капель содержащихся в воздушном потоке осажается на стенках каплеуловителя и стекает в поддон градирни 11, а очищенный воздух уходит в атмосферу.

Скорость воздушного потока w на входе в каплеуловитель варьировалась в пределах от 1,5 до 3,5 м/с с интервалом 0,5 м/с. Изменение скорости производилось с помощью специальной схемы управления электроприводом вентилятора. Все измерения велись при стабилизированном режиме работы градирни спустя 30–40 минут после момента ее пуска.

Усредненная скорость воздуха w перед каплеотделителем определялась с помощью трубки Пито с диаметром полусферической головки наконечника 10 мм при соблюдении всех требований [1] по геометрическим пропорциям этого зонда.

Скорость воздуха определялась по известной формуле

$$w = k \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_c)}, \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха; p_n – полное давление в лобовой точке зонда; p_c – статическое давление; k – поправочный коэффициент, который находился по результатам тарировки зонда в специальной аэродинамической трубе с лемнискатным входом.

При эквивалентном диаметре D , корпуса градирни перед каплеуловителем, равном 0,812 м, и диаметре d_n головки трубки Пито 0,01 м погрешность в измерении скорости потока, обусловленная конечным размером зонда при $d_n/D_s = 0,0123$, составляла, как следует из [1], менее 0,3 %. Максимальная погрешность за счет неосевого положения трубки не превышала 0,25 % в диапазоне возможной несоосности вплоть до ± 16 градусов.

Для измерения гидравлического сопротивления Δp каплеотделителя по периметру корпуса градирни в сечениях перед и за каплеотделителем, в боковых, верхней и нижней стенках были выполнены отверстия для отбора статических давлений, которые передавались к соответствующим двум коллекторам. От коллекторов физически усредненное статическое давление воспринималось электронным дифференциальным микроманометром, обеспечивающим отсчет с абсолютной погрешностью не более 5 Па. В качестве микроманометра использовался интеллектуальный датчик давления «Метран-100-ДД», предназначенный для измерения и преобразования перепада давлений в унифицированный аналоговый цифровой сигнал на базе интерфейса RS485 [2] с погрешностью измерений $\pm 1\%$ в диапазоне измерений в пределах 0–0,63 кПа.

Результаты измерения гидравлического сопротивления Δp при различных скоростях w воздушного потока перед каплеуловителем представлены на рис. 4.

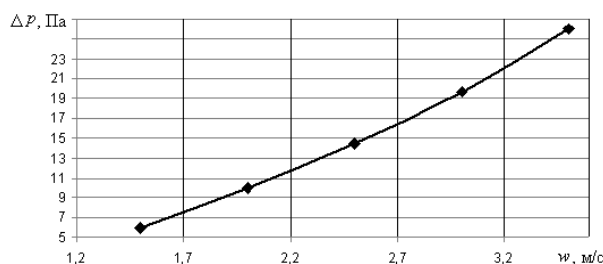


Рисунок 4 – Гідрравлическое сопротивление каплеуловителя ВП-160

Опыты проводились при температуре наружного воздуха 22–23 °С, барометрическом давлении 754 мм рт.ст. и относительной влажности воздуха 0,92.

Для обобщения опытных данных в качестве искомой величины использовался коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый по данным эксперимента из известного уравнения

$$\xi = \frac{2\Delta p}{\rho w^2}. \quad (2)$$

При указанном уровне параметров воздушной среды и диапазоне изменения ее скоростей критерий Рейнольдса Re изменялся в опытах от 7500 до 17800. В качестве определяющего размера в этом критерии был назначен эквивалентный диаметр, соответствующий прямоугольному сечению канала сепаратора, в котором шаг между пластинами составлял 0,04 м, а высота – 0,818 м.

Обобщение опытных данных привело к расчетной формуле вида

$$\xi = 0,56Re^{-0,28}. \quad (3)$$

Для проверки степени универсальности зависимости (3) опыты, аналогичные описанным, были проведены для того же типа пластинчатого сепаратора, но при температурах воздуха в диапазоне от 14 до 28 °С относительной влажности от 0,62 до 0,96 и барометрическом давлении от 735 до 764 мм рт.ст. Максимальное отклонение величины ξ от рассчитанной по формуле (1) не превышало $\pm 4\%$.

Эффективность сепаратора E определялась по общепринятой в СНиП методике:

$$E = 1 - \frac{M_y}{M_{гн}}, \quad (4)$$

где M_y – расход унесенной капельной среды за сепаратором, кг/ч; $M_{гн}$ – гидравлическая нагрузка на сепаратор (расход капель на входе в сепаратор), кг/ч.

С целью исключения влияния испарения капель на величину их расхода градири работала в замкнутом на саму себя водяном контуре, когда температура воды на входе и выходе отличалась не более чем на 1 °С за счет ее нагрева в насосе. Таким образом, температура капель на выходе из форсунок практически совпадала с температурой мокрого термометра, соответствующей параметрам наружного воздуха.

В общей постановке эксперимента переменными в опыте были плотность орошения g , $m^3/(m^2 \cdot ч)$, и скорость воздушного потока на входе в сепаратор.

Как уже отмечалось, в соответствии с предложенной авторами методикой с помощью электронных весов при заполненном объеме водосборного бака ($V = 0,35 \text{ м}^3$) определялась убыль массы градири во времени в двух позициях: при работе ее с сепаратором и в режиме, когда он снимался. Очевидно, что в первой позиции определялся расход M_y унесенной жидкости за сепаратор, а во второй позиции – расход $M_{гн}$ соответствующей гидравлической нагрузки на сепаратор, что было достаточно для вычисления эффективности по соотношению (4).

Общий расход циркуляционной воды M_o определялся с помощью электронного расходомера «Взлет ЭР-У», установленного на линии рециркуляции воды по замкнутому контуру, что при известной площади поперечного сечения градири F позволяло определить плотность орошения $g = M_o/F$. Относительная погрешность измерений составляла $\pm 0,15\%$.

Опыты выполнялись таким образом, что при фиксированной скорости воздушного потока w измерения убыли массы (в двух указанных позициях) проводились при четырех различных плотностях орошения.

На рис. 5 показаны результаты исследования сепарационной способности сепаратора.

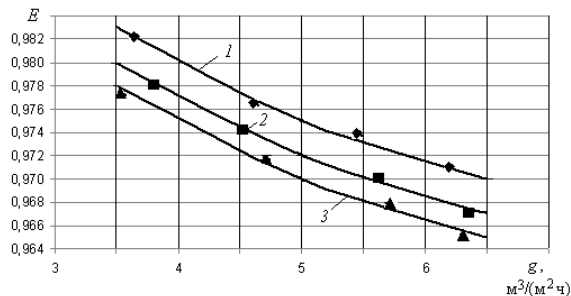


Рисунок 5 – Зависимость эффективности сепаратора E от плотности орошения при различной скорости воздушного потока
1 – w = 1,5 м/с; 2 – w = 2,5 м/с; 3 – w = 3,5 м/с

Обработка опытных данных, представленных на рис. 5, позволила получить расчетные соотношения вида

$$E = (1,0094 - 5 \cdot 10^{-3} w + 5 \cdot 10^{-4} w^2) g^{-0,01} . \quad (5)$$

Выводы

1. Разработан, создан и экспериментально отработан на основе новой методики стенд для комплексного изучения работы каплеотделителей контактных теплообменных аппаратов.
2. Оценка погрешностей в изменении гидравлического сопротивления и эффективности сепаратора показала, что возможные погрешности лежат ниже уровня, регламентированного соответствующими документами санитарных норм и правил.
3. Установлены обобщенные эмпирические зависимости для расчета гидравлического сопротивления и эффективности сепарационной способности каплеотделителя в функции режимно-геометрических характеристик его работы.

Литература

1. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
2. Датчики давления. Тематический каталог №1. Выпуск 2. – Челябинск: Промышленная группы «Метран», 2009. – 268 с.

УДК.621.175.57

Боровок С.В., Братута Е.Г., Круглякова О.В.

ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛАСТИНЧАСТИХ КРАПЛЕВЛОВЛЮВАЧІВ ТЕПЛОБМІНИКІВ КОНТАКТНОГО ТИПУ

Приводиться опис стенда й нової методики дослідження краплевідділювача пластинчастого типу контактної теплообмінного апарата, а також узагальнені експериментальні дані у вигляді залежності гідравлічного опору й коефіцієнта ефективності сепарації у функції режимно-геометричних характеристик цього процесу.

Borovok S.V., Bratuta E.G., Kruglyakova O.V.

TO EXPERIMENTAL TO DETERMINATION OF EFFICIENCY LAMELLAR DROPCATCHER OF HEAT EXCHANGERS OF CONTACT TYPE

The description of the test desk and new procedure of research of a lamellar type separator of contact heat and mass exchanger, as well as the generalized experimental data in the form of dependence of hydraulic resistance and effectiveness ratio of separation in function of regime-geometrical characteristics of this process is resulted.