

Райко В. Ф., канд. техн. наук, проф.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ВЫБОР КОНТАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ СТОКОВ В ПРЯМОМ КОНТАКТЕ С ТОПОЧНЫМИ ГАЗАМИ

mzeit@mail.ru

Исследовано влияние скорости газа в полном сечении аппарата и плотности орошения на гидравлическое сопротивление и кинетику теплообмена в процессе концентрирования раствора хлорида натрия в прямом контакте с воздухом на контактных элементах пригодных для работы со сточными жидкостями. Получены уравнения для расчета потери давления и коэффициента передачи энthalпии для каждого из исследованных типов контактных элементов. Выполнено их сравнение, показавшее, что контактный элемент, состоящий из конуса и расположенной под ним воронки, является наиболее подходящим для упаривания сточных жидкостей в прямом контакте с газом.

Ключевые слова: контактный элемент, теплоутилизация, гидравлическое сопротивление, кинетика теплообмена, сточная жидкость, концентрирование.

В связи с всевозрастающей стоимостью органического топлива в мире увеличивается интерес к утилизации низкопотенциальной теплоты отходящих дымовых газов тепло- и парогенерирующих установок [1]. Обычно эту теплоту используют для нагрева питательной воды, причем экономически эффективным оказывается проведение нагрева лишь в аппаратах, где газ непосредственно контактирует с водой – так называемых контактных экономайзерах. Питательная вода, как потребитель вторичной теплоты, является удачным выбором для тепловых электростанций и паровых котельных. Что же касается химических предприятий, где источниками дымовых газов являются не только топки паровых котлов, потребляющих воду для генерации пара, но и различные аппараты, использующие теплоту сжигания органического топлива в технологических целях, то здесь интерес представляет использование низкопотенциальной теплоты дымовых газов для концентрирования (упаривания) различных жидкостей, в частности, сточных.

Контактные экономайзеры, имеющие, как правило, конструкцию аналогичную насадочным скрубберам, непригодны для упаривания сточных жидкостей в прямом контакте с топочными газами, так как содержащиеся в концентрируемой среде взвеси и образующиеся в процессе осадки будут забивать насадку. Выбор же контактных элементов способных длительное время работать в условиях образования отложений представляет определенные трудности в связи с ограниченным выбором таких устройств и недостаточным объемом информации об их тепло- массообменных и гидродинамических характеристиках.

Статья посвящена сравнительному исследованию нескольких типов контактных элементов пригодных для работы со сточными жидкостями. Подбирая для сравнения такие устрой-

ства, основывались на опыте содового производства, где для работы со стоком, так называемой «дистиллерной жидкостью» (ДЖ) используют провальные тарелки с крупной перфорацией [2] (далее ПТКП). Эти тарелки, однако, имеют относительно высокое гидравлическое сопротивление, что может служить препятствием для применения в утилизаторе теплоты сбросных топочных газов. Перспективными представляются каскадные полочные и тарельчатые аппараты. Они имеют относительно низкое гидравлическое сопротивление и при этом обеспечивают хорошие тепло- и массообменные характеристики, как при конденсации паров [3], так и при охлаждении и концентрировании жидкостей [4], однако неустойчиво работают с суспензиями. Интерес представляет конструкция каскадного аппарата, сочетающая в себе достоинства оборудования этого типа с возможностью работать с суспензией, образующей плотные отложения. Контактным элементом в этой конструкции является система из конической воронки и расположенного над ней тела, образованного из двух конусов, соединенных основаниями [5] (далее для краткости будем называть эту деталь конусным телом, а контактный элемент с этой деталью – КЭКТ). Испытанная в работе с ДЖ и показавшая хорошие результаты эта конструкция, тем не менее, не лишена недостатков. В частности, оказалось, что конусное тело сложно жестко установить, а полость, внутри него забивается отложениями, которые невозможно удалить.

Естественным представляется, пожертвовав обтекаемостью, упростить описанную выше конструкцию за счет удаления одного (нижнего) из двух конусов, образующих конусное тело. Далее такой упрощенный контактный элемент будем называть контактным элементом с односторонним конусом (КЭОК).

Что касается тепло- массообменных и гидродинамических характеристик перечисленных выше контактных устройств, то лишь ПТКП можно считать в значительной степени изученной (см., например, работы [6, 8]). Следует однако отметить, что общей проблемой приведенных выше исследований является их относительно низкая точность. Ошибки расчетов по полученным авторами этих работ уравнениям не меньше 15 %. Кроме того, все известные исследования проводились на системе вода – воздух, отличающейся по физико-химическим свойствам от сточных жидкостей, в частности, ДЖ. Низкая точность может быть объяснена с одной стороны известным фактом неустойчивости режимов на провальных тарелках, а с другой – методическими проблемами, возникающими при определении коэффициентов массо- и теплопередачи в рассматриваемом процессе.

Особенность газожидкостного взаимодействия состоит в том, что тепло- и массообмен находятся в теснейшей взаимозависимости и, за исключением особых случаев, не могут быть изучены независимо. Указанные проблемы могут быть преодолены, если процессы переноса тепла и массы при водоиспарительном охлаждении рассматривать как единый процесс переноса энтальпии. При этом движущая сила процесса также вычисляется в единицах энтальпии. Считают [9], что этот подход был предложен Меркелем и Хиршем [10] и усовершенствован Миклеем [11]. Он широко используется при проектировании градирен, устройств кондициониро-

вания воздуха и контактных утилизаторов теплоты дымовых газов. В работе [12] он адаптирован для расчета процессов контактного теплообмена жидкости и газа. В соответствии с предложенным авторами работы [12] подходом, изменение энтальпии газа, контактирующего с жидкостью, как за счет испарения в него воды, так и за счет теплопереноса, обусловленного разностью температур, пропорционально разности энтальпий газа равновесного с жидкостью и фактической. В математической форме это можно записать следующим образом:

$$G \frac{dH_{\Gamma}}{dS} = k_H (H_z - H^*) \quad (1)$$

где G – массовый расход газа, кг/с; H – энтальпия, кДж/кг; k_H – коэффициент передачи энтальпии, кг/м²·с; S – поверхность контакта фаз, м²; индекс z – в газе; * – газ в равновесии с жидкостью.

Описанный выше подход, который использован и в этом исследовании, позволяет существенно упростить расчет аппарата для проведения процесса испарительного концентрирования сточных жидкостей, однако его практическому применению препятствует отсутствие в литературе информации, которая позволяла бы рассчитывать коэффициент передачи энтальпии на провальных тарелках и контактных элементах с конусными телами.

На рис. 1 представлены эскизы контактных элементов, которые были отобраны для сравнительного исследования.

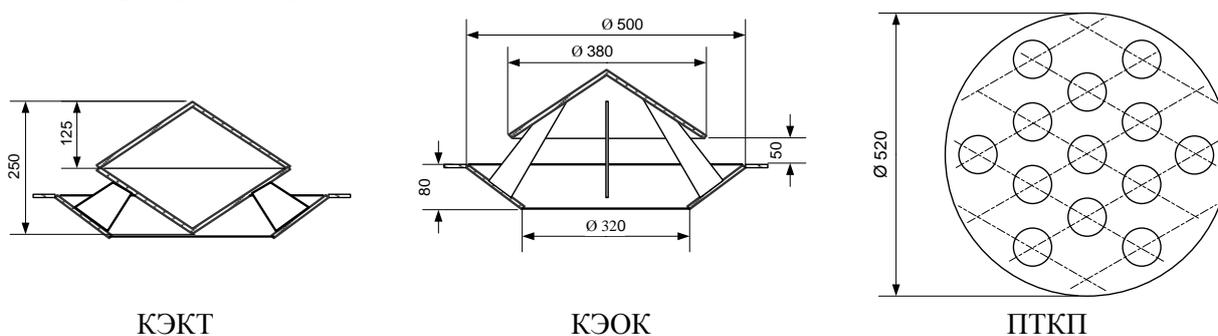


Рис. 1. Исследованные контактные элементы

Соответственные размеры КЭКТ и КЭОК были одинаковыми, поэтому показаны только для одного из них. ПТКП в этом исследовании использовалась, как образец для сравнения. Конструктивные особенности испытанных ПТКП приведены в табл. 1. Размеры остальных контактных элементов выбраны таким образом, чтобы доля свободного сечения (отношение площади сечения для прохода газа к площади поперечного сечения опытного аппарата) не была меньше 40 %, что примерно соответствует

среднему значению этого показателя для испытанных ПТКП (см. ПТКП № 2 в табл. 1).

Исследовательский стенд, типичный для такого рода работ, включал, собственно, экспериментальный аппарат, комплект вспомогательного оборудования, обеспечивающего его работу, и измерительные приборы. Экспериментальный аппарат состоял из царги-основания с вмонтированными трубопроводами для подачи воздуха и отвода жидкости, установленных на нее трех изготовленных из органического стекла

царг диаметром и высотой 0,5 м, и крышки, снабженной трубопроводом для отвода воздуха и устройством распределения поступающей в

аппарат жидкости. Во фланцевые разъемы между царгами монтировались исследуемые контактные элементы.

Таблица 1

Конструктивные размеры ПТКП

№ тарелки	Диаметр отверстий, d , мм	Число отверстий	Доля свободного сечения, ψ	Шаг разбивки отверстий, δ , мм
1	65	31	0,52	80
2	65	25	0,42	80
3	65	19	0,32	105
4	100	13	0,52	105
5	100	7	0,28	170
6	50	55	0,55	60
7	50	31	0,31	80

Работа проводилась в интервале скоростей газа, отнесенных к полному сечению опытного аппарата, от 0,2 до 5 м/с. Далее скорость газа в полном сечении аппарата будем обозначать буквой w . Что касается плотности орошения, расхода жидкости отнесенного к полному сечению аппарата (эту величину далее будем обозначать l), то в опытах ее изменяли в интервале от $0,2 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$. В качестве модельной жидкости использовался 15 % раствор хлорида натрия. Такой выбор обусловлен тем, что по физико-химическим свойствам этот раствор близок к сточной жидкости содового производства, но, в отличие от нее, не образует отложений.

Гидродинамические характеристики контактных элементов исследовались, главным образом, на КЭКТ и КЭОК. Их свойства сравнивались с ПТКП № 2 (см. табл. 1), имеющей такую же долю свободного сечения, как и контактные элементы с конусными телами. Опыты проводили при температурах на входе: раствора – 45 °С и воздуха – 19...23 °С.

Как показали опыты, визуально режимы течения жидкости на КЭОК и КЭКТ мало менялись с изменением плотности орошения, что лишь подтверждает то, что гидродинамические режимы, наблюдаемые на орошаемых контактных элементах, определяются, в основном, скоростью газа – источником энергии, обеспечивающим создание и развитие межфазной поверхности. Следует отметить, что также как и на ПТКП, на КЭКТ и КЭОК при всех наблюдавшихся режимах пенный слой не возникал. То есть сплошной фазой при всех скоростях газа и плотностях орошения оставался воздух, а дисперсной фазой – жидкость.

Учитывая изложенное выше, опыты по определению гидравлического сопротивления орошаемых контактных элементов проводили при двух значениях плотности орошения:

$0,8 \cdot \text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ (начало полного смачивания верхнего конуса КЭКТ и КЭОК) и $4,5 \cdot \text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

Смену гидродинамических режимов при изменении скорости газа можно наблюдать по изменению наклона графика зависимости гидравлического сопротивления орошаемой тарелки от скорости газа, вычерченного в логарифмических координатах. Такие графики для КЭКТ и КЭОК приведены на рис. 2. Для сравнения там же приведены графики сопротивления неорошаемых контактных устройств (линия 3).

Из графиков видно, что для обоих контактных элементов в исследованном диапазоне плотностей орошения общий характер изменения гидравлического сопротивления с ростом скорости газа одинаков.

На графиках можно выделить 4 участка. Первый, при скоростях воздуха до 2 – 2,5 м/с, характеризуется ростом сопротивления по закону близкому к квадратичному. При этих скоростях струи жидкости стекают с краев конусных элементов, взаимодействуя с газом сначала все больше отклоняются, а затем начинают дробиться на все более мелкие капли, которые начинают уноситься потоком воздуха.

Второй участок, в интервале скоростей газа от 2 до 3 м/с, характеризуется резким нарастанием сопротивления. Это обусловлено наблюдаемым визуально захватом и уносом струй жидкости, стекающей по периферии конуса и из отверстия воронки. В результате увеличивается количество жидкости, удерживаемой контактным элементом, и, соответственно, его сопротивление. Характерно, что этот режим на обоих исследованных контактных элементах возникает при одинаковых скоростях газа, что объясняется равенством соответствующих сечений. В то же время наклон кривых на втором участке у КЭОК несколько меньше, чем у КЭКТ. По-видимому, это является следствием наличия у КЭОК двух зон сепарации и меньшим, вследствие этого, количеством удерживаемой жидкости.

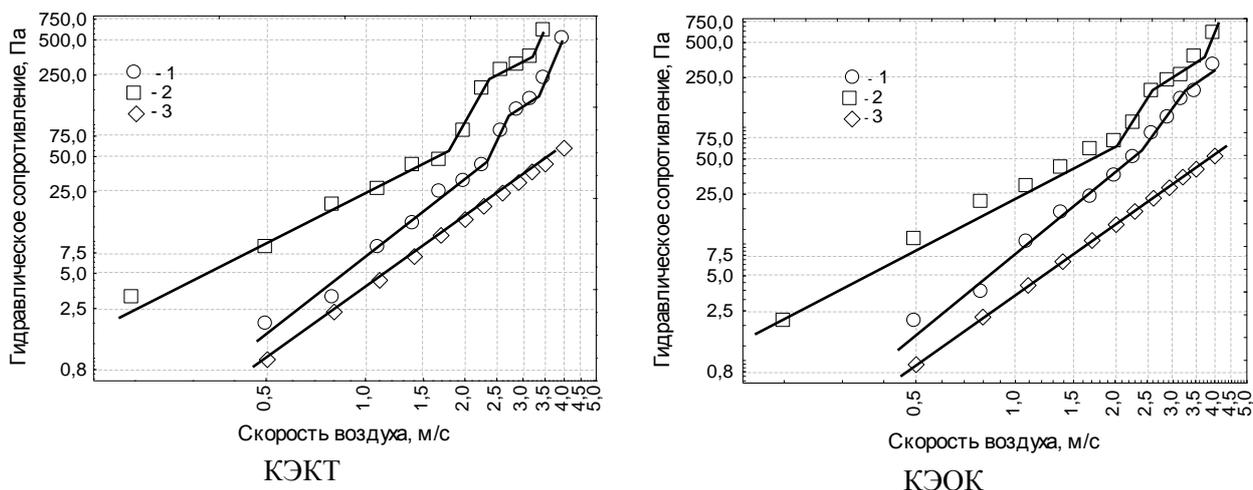


Рис. 2. Гидравлическое сопротивление контактных элементов при плотности орошения: 1 – 0,8·дм³/м²·с; 2 – 4,5·дм³/м²·с; 3 – без орошения

Третий участок, при скоростях от 2,5 до 3,5 м/с у КЭКТ и от 2,5 до 4 м/с у КЭОК характеризуется замедлением нарастания сопротивления, по-видимому, вследствие баланса количества уносимой и сепарируемой жидкости. Наконец, четвертый участок, при котором сопротивление опять резко нарастает, обусловлен «захлебыванием» контактного элемента.

Что касается ПТКП, то из-за большого разброса экспериментальных точек нам не удалось выявить каких-либо особых участков на кривой изменения гидравлического сопротивления орошаемой тарелки с ростом скорости газа. В целом, полученные результаты хорошо согласуются с данными работы [6]. Сопоставляя их с результатами исследования гидравлического сопротивления орошаемых КЭКТ и КЭОК можно сказать, что эти контактные элементы обладают в 1,5 – 1,9 раза большим сопротивлением, чем ПТКП, причем различие между контактными элементами уменьшается с увеличением

плотности орошения и с уменьшением скорости газа.

Несмотря на наличие изломов в зависимости гидравлического сопротивления (Δp_{op}) КЭОК и КЭКТ от скорости газа и плотности орошения, результаты опытов удовлетворительно описываются относительно простым степенным уравнением:

$$\Delta p_{op} = a_1 (w \cdot \rho_2)^{b_w} (l \cdot \rho_{ж})^{b_l}, \quad (2)$$

где ρ_2 и $\rho_{ж}$ – плотности воздуха и орошающей жидкости, соответственно, кг/м³.

Значения коэффициентов этого уравнения a_1 , b_w и b_l получены в результате совместной обработки измерений, выполненных в опытах с водой и раствором хлорида натрия. Для определения коэффициентов использовался метод нелинейного оценивания. Его результаты, включая показатели, характеризующие точность уравнения, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты и характеристики точности уравнения (2).

Тип тарелки	Коэффициенты			Стандартная ошибка, Па	Коэффициент детерминации, %
	a_1	b_w	b_l		
КЭКТ	0,245	2,70	0,50	18	97
КЭОК	0,546	2,62	0,38	10	98
ПТКП	0,105	2,45	0,55	23	95

Уравнение (2) с коэффициентами из табл. 2 не учитывает влияние диаметра отверстий и доли свободного сечения ПТКП, так как получено только для ПТКП №2 (см. табл.1). Обобщение данных по гидравлическому сопротивлению всех тарелок приведенных в табл.1 позволило получить следующее уравнение.

$$\Delta p_{op} = 0,538 w^{2,42} l^{0,53} \Psi^{-3,75} d^{0,47} \quad (3)$$

Остаточная среднеквадратическая ошибка расчета по уравнению (3) составляет 9,6 % в исследованной области изменения факторов.

Таким образом, сравнение гидродинамических характеристик контактных элементов, пригодных для работы с жидкостями, вызывающими образование отложений, показало следующее. Существенных различий между контактными элементами с конусным телом (КЭКТ) и одиночным конусом (КЭОК), как по характеру возникающей на них газожидкостной системы, так и по гидравлическому сопротивлению нет. При этом первый из них имеет более простую конструкцию и меньшую металлоемкость. Обе

конструкции имеют гидравлическое сопротивление в 1,6-1,9 раза большее, чем одна ПТКП, но, поскольку и КЭОК, и КЭКТ эквивалентны двум ПТКП, можно говорить, что они оказывают меньшее сопротивление проходу газа при одинаковой доле свободного сечения. Кроме того, гидродинамические режимы КЭОК и КЭКТ отличаются от ПТКП большей стабильностью и воспроизводимостью.

В качестве параметра, которым можно было бы характеризовать **теплообменные свойства сравниваемых контактных элементов, удобно** использовать коэффициент передачи энтальпии k_H , определяемый из уравнения (1). Однако в случае исследования контактных элементов с конусными телами возникают определенные трудности с его определением. Дело в том, что каждый из рассматриваемых контакт-

ных элементов содержит, по крайней мере, 2 ступени контакта, и характеризовать его одним коэффициентом нельзя. В каждом из них имеется по две явно выраженные зоны обновления поверхности контакта. Это сужения между корпусом аппарата и нижним основанием одиночного конуса или конусного элемента и нижнее отверстие воронки под ними. Иными словами, один контактный элемент (КЭОК или КЭКТ) эквивалентен двум ПТКП. Поэтому для целей анализа было принято считать каждый контактный элемент блоком из двух условных тарелок, который характеризуется средним для двух зон контакта кинетическим коэффициентом. Для его расчета по результатам эксперимента использовалась разработанная ранее методика и компьютерная программа для ее реализации [13].

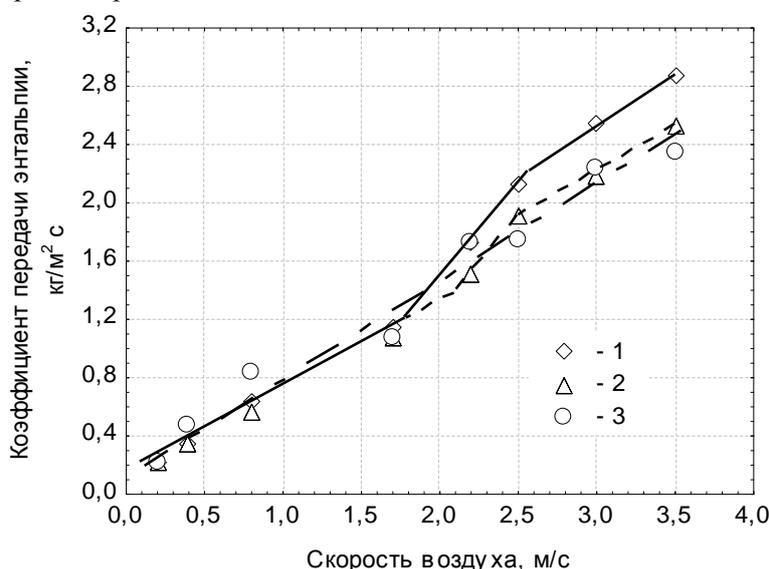


Рис. 3. Зависимость коэффициента передачи энтальпии от скорости газа для: 1 – КЭОК; 2 – КЭКТ; 3 – ПТКП

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента передачи энтальпии от скорости воздуха для КЭОК, КЭКТ и ПТКП № 2 при плотности орошения 1 дм³/м²·с и температуре исходного раствора 70 °С.

Как видно из графиков закономерности изменения коэффициента передачи энтальпии с увеличением скорости газа для КЭОК и КЭКТ качественно совпадают с таковыми для гидравлического сопротивления (см. рис. 2). В диапазоне скоростей газа 0,2-1,7 м/с коэффициенты передачи энтальпии для всех исследованных контактных элементов практически совпадают. Следует отметить несколько более высокие значения k_H в этом диапазоне скоростей воздуха для ПТКП. Это может быть объяснено большим периметром отверстий для прохода газа в сравнении с КЭОК и КЭКТ, а, следовательно, и большей областью интенсивного взаимодействия потоков воздуха и газа.

С увеличением скорости газа в интервале 2-2,5 м/с в процессе накопления жидкости на КЭОК и КЭКТ, вызванного уносом жидкости и образованием слоев из брызг и струй, наклон графиков изменения k_H с ростом скорости воздуха заметно увеличивается. Что касается ПТКП, то вследствие плохой воспроизводимости результатов опытов, характерной для этих тарелок, каких-либо изменений скорости нарастания коэффициента передачи энтальпии в интервале скоростей воздуха 2-2,5 м/с идентифицировано не было.

Увеличение скорости воздуха выше 2,5 м/с приводит к замедлению роста величины коэффициента передачи энтальпии. В этой области наклон графика зависимости k_H от w такой же, как и в интервале 0,2-1,7 м/с.

Характеризуя взаимное положение графиков зависимостей k_H от w можно отметить, что, как уже указывалось, в интервале 0,7-1,2 м/с

различия между исследованными контактными элементами лежат в пределах точности опытов. При дальнейшем же увеличении скорости воздуха КЭОК и КЭКТ показывают более высокие показатели, чем ПТКП, причем, если между КЭКТ и ПТКП различие весьма незначительное, то в интервале скоростей воздуха 2,5-3 м/с k_H для КЭОК превышает эту величину для ПТКП более, чем на 20 %. Таким образом, из трех рассмотренных контактных элементов наилучшие показатели по коэффициенту передачи энтальпии оказались у КЭОК.

Следует отметить, что, хотя в отличие от ПТКП зависимости k_H от w для КЭОК и КЭКТ явно отражают влияние смены гидродинамических режимов, однако влияние это не столь существенно и при математической обработке зависимостей k_H от w им можно пренебречь. Это позволяет не только упростить математическую обработку саму по себе, но и в дальнейшем построение математической модели процесса, так как исключает необходимость выбора расчетного уравнения на каждом цикле расчета.

Поскольку тепло- массообменные характеристики ПТКП достаточно полно изучены и представлены в литературе [6, 14], математическая обработка результатов опытов по исследованию зависимости коэффициента передачи энтальпии от скорости воздуха и плотности орошения была проведена только для КЭОК и КЭКТ. Получены следующие уравнения для КЭОК

$$k_H = 0,931w^{0,86}l^{0,402}, \quad (4)$$

и КЭКТ

$$k_H = 0,793w^{0,90}l^{0,41}. \quad (5)$$

Коэффициент корреляции между опытом и расчетом для уравнений (4) и (5) составляет 97,2 и 98,5 %, соответственно, а стандартная ошибка расчета (СКО) – 12 и 10 %, соответственно.

Сравнивая полученные результаты с данными по зависимости коэффициента передачи энтальпии от w и l для ПТКП, полученными в работе [14] в виде уравнения $k_H = 0,678 w^{0,89} l^{0,69}$, можно заметить, что влияние скорости газа на k_H имеет тот же порядок, что и в уравнениях (4) и (5) (показатели степени при w весьма близки). В то же время влияние плотности орошения на k_H у ПТКП существенно большее, чем в наших опытах (показатели степени при l для ПТКП 0,69, а для КЭОК и КЭКТ 0,40 и 0,41, соответственно). Это можно объяснить тем, что благодаря наличию зон сепарации в КЭОК и КЭКТ возникает внутренняя циркуляция жидкости, обеспечивающая большее, чем на ПТКП накопление жидкости. Причем эта накопленная жидкость, в отличие от ПТКП, удерживается на тарелках стабильно. На ПТКП

слои брызг и струй при одинаковых режимах могут самопроизвольно возникать и исчезать. Перечисленные обстоятельства в совокупности нивелируют в КЭОК и КЭКТ влияние плотности орошения на k_H в сравнении с ПТКП.

Хотя в уравнении, характеризующем зависимость k_H от w и l на ПТКП, коэффициент пропорциональности заметно меньше, чем у КЭОК и КЭКТ, и можно констатировать, что коэффициент передачи энтальпии для этой тарелки меньше, однако, вследствие большего влияния плотности орошения, это различие с ростом плотности орошения уменьшается. Расчет показывает, что уже при $l = 3 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ k_H для ПТКП оказывается равным этому показателю для КЭКТ, а при больших плотностях орошения превышает его, но, в исследованном диапазоне, остается меньше, чем у КЭОК.

В заключение напомним, что, как было отмечено выше, контактные элементы с конусными телами рассматриваются нами, как блок из двух условных тарелок, и приведенные выше кинетические коэффициенты характеризуют каждую из них в отдельности, а не блок в целом. Таким образом, приведенное выше сопоставление КЭОК, КЭКТ и ПТКП является корректным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Madzivhandila V., Majozi T., Zhelev T. Process integration as an optimization tool in clean coal technology: A focus on IGCC // Chemical Engineering Transactions. 2009. № 18. С. 941-946.
2. Ткач Г.А., Шапоров В.П., Титов В.М. Производство соды по малоотходной технологии. Харьков: Изд. ХГПУ, 1998. 429 с.
3. Егоров Н.Н. Охлаждение газа в скрубберах. М.: Росхимиздат, 1954. 142 с.
4. Цейтлин М.А., Гареев А.Т. Исследование гидродинамических и массообменных характеристик сегментных контактных элементов. / Людина та навколишнє середовище: проблеми безперервної екологічної освіти в вузах: збірка наук. праць науково-методичної конференції. Одеса: Изд. ОГАХ, 1996. С. 95.
5. АС СССР № 288877, кл. В 0 1 D 3/26, 1969 Шахова А.Ф., Кушнир Г.Б., Ткач Г.А. Контактное устройство для тепло-массообменного аппарата // 30.08.87. Бюл. № 32
6. Лукьяненко Т.В. Исследование процесса испарительного охлаждения воды на крупно-дарчатых тарелках /Интенсификация технологических процессов и аппаратов содового и смежных производств: Труды, т. 60 // НИОХИМ, Харьков: Изд. НИОХИМ, 1985. С. 9-13.
7. Набутовская Л.Л. Исследование тепловых и гидродинамических процессов в пенных

аппаратах с провальными тарелками: Автореф. дис. канд. техн. наук. Л., 1975, 26 с.

8. Тасев Ж., Генчев Х., Стефанов Ж. Определяне коэффициента на масопренасяне в газова фаза на провална тарелка с голямо свободно сечение/ Годишник на Висшия хим.-техн. институт. Бургас, 1984. Т. 19. Кн.1. С. 79-84.

9. Sherwood T. K., Pigford R. L., Wilke C. R. Mass transfer. New York: McGraw-Hill, 1975. 677 p.

10. Hirsch M. The hygroscopic properties of leather according to the investigation of Wilson, Daub and Kern. // Die Trockentechnik. 1927/. V. 22. P. 403-407.

11. Mickley H.S. Design of forced draft air conditioning equipment // Chem Engng. Prog. 1949. V 45. P. 739-749

12. Цейтлин М.А. Цейтлин Л.М., Гареев А.Т. Математическое моделирование процесса контактного охлаждения газа, содержащего пар охлаждающей жидкости и неконденсирующиеся компоненты. / Вестник ХГПУ// Харьковский государственный политехнический университет, Харьков: ХГПУ, 1997. Т.2 , № 8. С.46-52.

13. Цейтлин Л.М., Райко В.Ф., Эстефан П. Х. Компьютерное моделирование водоиспарительного охлаждения растворов./ Приложение к журналу «Холодильная техника и технологии» – Одесса: ОДАХ, 2006. С. 222-226.

14. Райко В.Ф., Эстефане П.Х., Цейтлин М.А. Исследование тепло и массообмена при водоиспарительном концентрировании рассола / Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: Технологічний центр, 2007. № 5/4(29). С. 40-44