

Chimičeskaja promyšlennost'
(1969) 3, 229/231

Muchutdinov, R.Ch., Gumerov, M.Z.:

UNTERSUCHUNG DER HYDRODYNAMISCHEN VERHÄLTNISSE IN EINEM ABSORBER MIT
INJEKTOREINRICHTUNG

Für Wärme- und Stoffaustausch-Prozesse gibt es eine Reihe von Absorberausführungen auf der Basis eines Wasser-Luft-Strahlapparats mit einem Flüssigkeitsstrahl mit Kreisquerschnitt. Diese Apparate finden jedoch keine Verbreitung wegen des äußerst niedrigen Volumen-koeffizienten der Injektion (der Verbrauch an Injektionsflüssigkeit ist groß bei einer kleinen angesaugten Gasmenge) und wegen der ungenügenden Kontaktintensität des Gases und der Flüssigkeit darin ¹.

Von diesen Mängeln ist der von uns entwickelte Injektor mit Ringdüse frei ².

Wir untersuchten den Betrieb eines Schaum-Strahl-Absorbers mit einer Kontakteinrichtung in der Form eines Injektors mit Ringdüse. Parallel dazu prüften wir ein Kontaktgerät mit einer Düse mit Kreisquerschnitt. Die Versuche wurden mit dem System Wasser - Luft durchgeführt. Eine schematische Darstellung der Versuchsanlage zeigt Zeichnung 1 .

Im Einlaufgehäuse 1 des Absorbers ist die Düse 2 untergebracht. Der Innenraum des Stützens, der einen Ringkanal bildet, ist mit dem Einlaufgehäuse, über dem die Arbeitskammer 3 angeordnet ist, verbunden. An der Zwischenwand 4, die beide Kammern trennt, ist koaxial mit der Düse eine Mischkammer 5 mit Konfusor-, Zylinder- und Diffusorteilen befestigt. Der hydraulische Verschluss 6 gewährleistet, daß der Flüssigkeitsspiegel einen bestimmten höheren Stand als die Diffusorkante der Mischkammer einnimmt. Der obere Teil der Arbeitskammer ist zur bequemeren Beobachtung aus einem Glasrohr 7 hergestellt,

1 Sokolov, E.Ja., Zinger, N.M. - Strujnye apparaty (Strahlgebläse), Gosenergoizdat, 1960, str. 152-165

2 Muchutdinov, R.Ch., Gumerov, M.Z. - Urheberzeugnis 177846, 1965, Bjull. izobr., No 2 (1966)

das mit Zugankern zwischen Deckel und Flansch befestigt ist.

Das Leitungswasser tritt durch einen Rotamesser in die Düse ein. Die Luft wird aus dem Raum über Gaszähler in den Apparat angesaugt und in das Einlaufgehäuse geleitet.

Aus dem Diffusorteil der Mischkammer gelangt das Gas - Flüssigkeit - Gemisch in die Arbeitskammer. Infolge des Vorhandenseins des hydraulischen Verschlusses reißt der Gas - Flüssigkeit - Strahl die in der Arbeitskammer vorhandene Flüssigkeit mit sich fort und erzeugt eine intensive Zirkulationsbewegung.

Beim Betrieb des Apparats mit Preßluft tritt letztere vom Gebläse oder aus dem gesamten Hauptluftstrom in die Rotamesser und dann in die Einlaufkammer des Absorbers ein. Der Unterdruck oder der Luftdruck beim Eintritt in die Einlaufkammer wird mit einem Differential-Wassermanometer gemessen. Das verbrauchte Wasser wird aus der Arbeitskammer durch den hydraulischen Verschluss entfernt und in die Kanalisation geleitet, während die Luft in den Raum abgelassen wird.

Die wesentlichen geometrischen Abmessungen des Apparats sind: der Innendurchmesser des Glasrohres der Arbeitskammer $D = 155$ mm, ihre Höhe $H = 1500$ mm, der Innendurchmesser der Mischkammer $d_k = 30,5$ mm, ihre Höhe $L = 120$ mm, der Durchmesser der Düse $d_s = 8,6$ mm, die Breite des Ringkanals $b = 1,05$ mm, der Innendurchmesser des Stützens, der den Ringkanal der Düse bildet, $d_p = 5$ mm, die Entfernung von der Austrittskante der Düse bis zum Konfusor-Eintrittsteil der Mischkammer $l = 30$ mm .

Untersucht wurde der Einfluß der Durchflußmenge V_r und des Wasserdrucks p_r , des Unterdrucks p_g in der Einlaufkammer, des Gegendrucks p_g nach dem Diffusor der Mischkammer auf die Kenndaten der Kontakteinrichtungen beider Varianten (Zeichnung 2). Der Gegendruck p_g summiert sich aus den Drücken p_p des Gas - Flüssigkeit - Gemischs (des Schaums) mit der Höhe H_s - von der Diffusorkante aus gemessen - und der Luft p_v in der Arbeitskammer. Den Druck p_p bestimmte man nach dem Flüssigkeitsspiegel in dem Glasrohr 8, das mit der Arbeitskammer verbunden ist, p_v - nach dem Manometer 9.

Die Wassertemperatur schwankte zwischen 3,5 und 4 °C, die Luft-

temperatur - zwischen 17 und 18 °C .

In Zeichnung 3 ist die Abhängigkeit der injizierten Luftmenge vom Wasserverbrauch gezeigt. Wie wir sehen gewährleistet das Kontaktgerät mit Ringdüse beim gleichen Wasserverbrauch einen bedeutend größeren Luftdurchsatz als das Gerät mit einer Düse mit kreisförmigem Querschnitt. Es muß ebenfalls bemerkt werden, daß es etwas früher zum Saugbetrieb übergeht und eher den schaumförmigen Betriebszustand <Schaum-Kontakt-Betrieb> herstellt.

Die Abhängigkeit des Unterdrucks in der Einlaufkammer vom Masse-durchsatz an angesaugtem Gas für die zwei Varianten des Kontaktgeräts wird durch Zeichnung 4 veranschaulicht. Bei dem gleichen Luftverbrauch ist der Unterdruck im Falle des Kontaktgeräts mit Ringdüse größer.

In Zeichnung 5 ist die Abhängigkeit einer verallgemeinerten Kennlinie eines Schaum-Strahl-Absorbers $\frac{\Delta p_s}{\Delta p_r}$ vom Injektionskoeffizienten $u_o = V_g/V_r$ ($\Delta p_s = p_s - p_g$, $\Delta p_r = p_r - p_g$) dargestellt. Die bei verschiedenem Wasserverbrauch gewonnenen Versuchspunkte lassen sich hinreichend gut auf einer für jede Variante des Kontaktgeräts gemeinsamen Kurve unterbringen. Dabei sind die Kennziffern des Ringstrahls um vieles besser als die Kennzahlen des Strahls mit kreisförmigem Querschnitt.

Ein wichtiger Vorteil des Schaum-Strahl-Absorbers mit einem Kontaktgerät, das eine Ringdüse besitzt, ist die Möglichkeit eines stabilen Betriebs bei erheblichen Gasdrücken <Staus seitens des Gases>. In den von uns durchgeführten Versuchen arbeitete der Apparat stabil bei Drücken von 6 bis 300 mm WS in der Einlaufkammer, der Injektionskoeffizient erreichte dabei 26 .

Aus Zeichnung 6 ist ersichtlich, daß die Abhängigkeit $\frac{\Delta p_s}{\Delta p_r} = f(u_o)$

für einen Absorber mit Ringdüse, der unter Saug- und Druckverhältnissen in der Einlaufkammer bei konstantem Wasserverbrauch arbeitet, durch eine Kurve beschrieben wird. Der ausgezogene Kurvenabschnitt entspricht dieser Abhängigkeit bei negativem Druck in der Einlaufkammer, der punktierte Abschnitt wurde bei positivem Druck gewonnen.

Wie schon erwähnt wurde, ist der intensive Schaum-Strahl-Kontaktbetrieb des Gases und der Flüssigkeit hinter dem Mischraum in erster Linie bedingt durch die Überhöhung des Flüssigkeitsspiegels gegenüber der Diffusorkante. Bei einem bestimmten Grenzwert h_0 wird die Stabilität des Schaum-Strahl-Betriebs gestört, und beim Fehlen der Überflutung der Mischkammer wird in der Arbeitskammer ein Sprühnebelbetrieb (Strahl-Tropf-Kontakt-Betrieb) der Phasen beobachtet.

Die Abhängigkeit der durch das Verhältnis H_s/h_0 ausgedrückten Höhe des Zweiphasen-Spiegels vom Injektionskoeffizienten bei konstanten Werten von V_r und h_0 ist in Zeichnung 7 dargestellt. Die Versuchspunkte für beide Varianten des Kontaktgeräts liegen auf einer gemeinsamen Kurve.

Die Ergebnisse der von uns durchgeführten Untersuchung beweisen die wesentlichen Vorteile eines Kontaktgeräts mit Ringdüse. Der Ringstrahl hat eine größere Ausflußgeschwindigkeit aus der Düse als der Strahl mit kreisförmigem Querschnitt, seine Breite ist geringer und zerfällt schneller und in kleinere Strahlen und Tropfen. Der sich bildende zweiseitige Ringfächer aus Strahlen und Tropfen füllt schon in einer gewissen Entfernung von der Düse den ganzen Querschnitt über dem Durchmesser des auseinandergefallenen Ringstrahls und fördert das Ansaugen und den Transport einer größeren Luftmenge (infolge des Luftzugs im (durch den) Innenkanal der Düse) als beim Ausströmen eines Strahls mit kreisförmigem Querschnitt. Gegenwärtig wird ein industrieller Schaum-Strahl-Versuchsabsorber mit Kontaktgeräten auf der Basis eines Injektors mit Ringdüse entwickelt.

Ein derartiger Absorber kann zur sanitären Reinigung von Gasen sowie zur Durchführung einer ganzen Reihe von Stoffaustausch-Prozessen bei Schaum-Strahl-Betrieb benutzt werden (Erhitzung und Abkühlung von Gasen und Flüssigkeiten, Verdichten von Flüssigkeiten, Trocknen und Anfeuchten von Gasen usw.) . -

Erläuterungen der Zeichnungen

Zeichnung 1

Schematische Darstellung der Versuchsanlage:

- 1 - Einlaufkammer, 2 - Düse, 3 - Arbeitskammer,
- 4 - Zwischenwand, 5 - Mischkammer,
- 6 - hydraulischer Verschluß, 7 - Außenrohr der Arbeitskammer,
- 8 - Glasrohr, 9 - Manometer

Zeichnung 2

Schematische Darstellung der Kontakteinrichtungen mit einer Düse mit kreisförmigem Querschnitt (a) und ringförmigem Querschnitt (b) .

Zeichnung 3

Abhängigkeit der angesaugten Gasmenge von dem Verbrauch an Betriebsflüssigkeit für die Kontaktgeräte mit einer Düse mit kreisförmigem (Kurve 1) und ringförmigem (Kurve 2) Querschnitt.

Zeichnung 4

Die Abhängigkeit des Unterdrucks in der Einlaufkammer vom Massedurchsatz des angesaugten Gases für die Kontaktgeräte mit einer Düse mit kreisförmigem (Kurve 1) und ringförmigem (Kurve 2) Querschnitt

Zeichnung 5

Abhängigkeit der Kennlinie $\Delta p_s / \Delta p_r$ vom Injektionskoeffizienten für die Kontaktgeräte mit einer Düse mit kreisförmigem (Kurve 1) und ringförmigem (Kurve 2) Querschnitt bei verschiedenem Verbrauch von Betriebsflüssigkeit:

Zeichnung 6

Abhängigkeit der Kennlinie $\Delta p_s / \Delta p_r$ vom Injektionskoeffizienten bei $V_r = 2,34 \text{ m}^3/\text{h}$

Zeichnung 7

Abhängigkeit der Kennlinie H_s/h_o vom Injektionskoeffizienten bei $V_r = 2,34 \text{ m}^3/\text{h}$ und $h_o = 160 \text{ mm}$ für die Kontaktgeräte mit einer Düse mit kreisförmigem (\square) und ringförmigem (\circ) Querschnitt

Anmerkung des Übersetzers

Bei den Termini in $\langle \rangle$ handelt es sich um die wörtliche Übersetzung.

Stuttgart, den 12.11.1969

i.A.

Monika Wagenknecht

(Monika Wagenknecht)
Dipl.-Übersetzerin

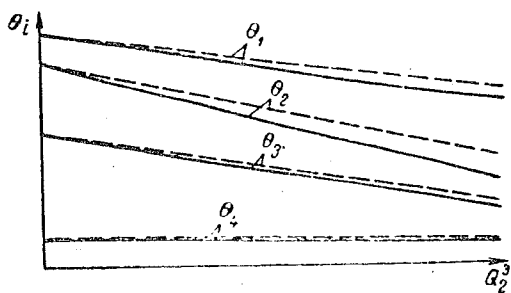


Рис. 2. Зависимость температуры вторичных паров, отходящих из i -го корпуса, от величины теплоотбора при постоянных (сплошные кривые) и переменных (пунктирные кривые) коэффициентах теплопередачи в корпусах.

В условиях эксплуатации выпарного аппарата понижение температуры отбираемого экстра-пара, как известно, допустимо в весьма ограниченных пределах. Это ограничивает и величину дополнительного теплоотбора

$$(Q_m^3)_{\max} = \frac{(\theta_l - \theta_l')_{\text{доп}} F_c}{\frac{n-m}{n} \sum_{i=1}^l \frac{1}{b_i K_i} - \sum_{m+1}^l \frac{1}{b_i K_i}} \quad (6)$$

где $(\theta_l - \theta_l')_{\text{доп}}$ — предельно допустимое понижение температуры экстра-пара, отбираемого из l -го корпуса.

В случае нескольких теплоотборов проверка должна производиться не только по месту дополнительного отбора ($l = m$), где понижение температуры экстра-пара наибольшее, но и по всем другим корпусам, в которых допустимое понижение температуры пара может быть существенно меньше.

Если ни один из отборов исключить или уменьшить нельзя, из всех полученных значений $(Q_m^3)_{\max}$ следует выбрать, очевидно, наименьшее. В противном случае произойдет самопроизвольное сокращение отбора в месте, где условие (6) не удовлетворяется. Физически невозможен дополнительный теплоотбор из m -го корпуса, превышающий величину

$$(Q_m^3)_{\max} = \frac{(\theta_m - \theta_m')_{\text{доп}} F_c}{\frac{n-m}{n} \sum_{i=1}^m \frac{1}{b_i K_i}}$$

Отказ от какого-либо производившегося ранее теплоотбора или сокращение отбора вызывает повышение температурного режима в аппарате и температуры всего экстра-пара. Рассчитывается это повышение по тем же уравнениям (5а)–(5г), но с обратным знаком.

При проведении уточненных расчетов максимально допустимого дополнительного теплоотбора с учетом изменения коэффициентов теплопередачи по корпусам уравнение (6) принимает вид

$$(Q_m^3)_{\max} = \frac{(\theta_l - \theta_l')_{\text{доп}} F_c - \sum_{i=1}^l \frac{Q_i'}{b_i K_i} \left(\frac{K_i}{K_i'} - 1 \right)}{\frac{n-m}{n} \sum_{i=1}^l \frac{1}{b_i K_i} - \sum_{m+1}^l \frac{1}{b_i K_i}} \quad (6a)$$

Поскольку изменение коэффициентов теплопередачи, связанное с введением дополнительного теплоотбора, невелико, необходимость использовать уравнение вида (6a) вместо (6) возникает относительно редко.

УДК 66.071.7.023 : 532.5

Исследование гидродинамики абсорбера с инжекционным контактирующим устройством

Р. Х. МУХУТДИНОВ, М. З. ГУМЕРОВ

Для процессов тепло-массообмена предложен ряд конструкций абсорберов на основе водо-воздушного струйного инжектора со сплошной струей жидкости. Однако эти аппараты не находят распространения из-за весьма низкого объемного коэффициента инжекции (велик расход инжектирующей жидкости при малом количестве засасываемого газа) и недостаточной степени контакта газа и жидкости в ней¹.

От этих недостатков свободен разработанный нами инжектор с соплом кольцевого сечения².

¹ Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер, Струйные аппараты, Госэнергоиздат, 1960, стр. 152–165.

² Р. Х. Мухутдинов, М. З. Гумеров, авторское свидетельство 177846, 1965; Бюлл. изобр., № 2 (1966).

Нами исследована работа пенно-струйного абсорбера с одним элементом контактирующего устройства на основе инжектора с соплом кольцевого сечения. Параллельно испытывали контактирующее устройство с соплом сплошного сечения. Опыты проводили на системе вода — воздух. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

В приемной камере 1 абсорбера установлено сопло 2. Внутренняя полость патрубка, образующего кольцевой канал, сообщена с приемной камерой, над которой расположена рабочая камера 3. На перегородке 4, разделяющей обе камеры, соосно с соплом закреплена камера смещения 5 с конфузурной, цилиндрической и диффузорной частями. Гидрозатвор 6 обеспечивает определенное превышение уров-

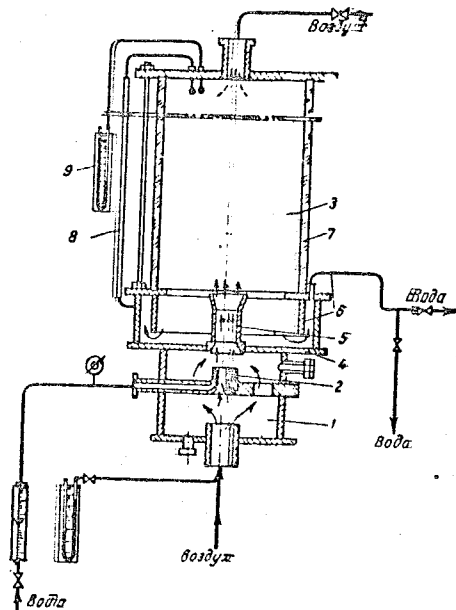


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — приемная камера; 2 — сопло; 3 — рабочая камера; 4 — перегородка; 5 — камера смешения; 6 — гидрозатвор; 7 — труба рабочей камеры; 8 — стеклянная трубка; 9 — манометр.

ния жидкости над кромкой диффузора камеры смешения. Верхняя часть рабочей камеры для удобства наблюдения выполнена из стеклянной трубы 7, которая стяжными шпильками закрепляется между крышкой и фланцем.

Водопроводная вода поступает в сопло через ротаметр. Воздух засасывается в аппарат из помещения через газовые счетчики и направляется в приемную камеру.

Из диффузорной части камеры смешения газожидкостная эмульсия попадает в рабочую камеру. Благодаря наличию гидрозатвора газожидкостная струя увлекает находящуюся в рабочей камере жидкость и создает интенсивное циркуляционное движение.

При работе аппарата с подпором со стороны воздуха последний от вентилятора или из общей воздушной магистрали поступает в ротаметры и далее в приемную камеру абсорбера. Разрежение или давление воздуха на входе в приемную камеру измеряется дифференциальным водяным манометром. Отработанная вода из рабочей камеры удаляется через гидрозатвор в канализацию, а воздух выпускается в помещение.

Основные геометрические размеры аппарата: внутренний диаметр стеклянной трубы рабочей камеры $D = 155$ мм, ее высота $H = 1500$ мм, внутренний диаметр камеры смешения $d_k = 30,5$ мм, ее высота $L = 120$ мм, диаметр сопла $d_c = 8,6$ мм, ширина кольцевого канала $b = 1,05$ мм, внутренний диаметр патрубка, образующего кольцевой канал сопла, $d_m = 5$ мм, расстояние от выходной кромки сопла до диффузорного входного участка камеры смешения $l = 30$ мм.

Исследовалось влияние на характеристики контактирующих устройств обоих вариантов (рис. 2) рас-

хода V_p и давления p_p воды, разрежения p_r в приемной камере, противодавления p_c за диффузором камеры смешения. Противодавление p_c складывается из давлений p_n газожидкостной эмульсии (пены) высотой H_c , отсчитываемой от кромки диффузора, и воздуха $p_{ав}$ в рабочей камере. Давление p_n определяли по уровню жидкости в стеклянной трубке 8, соединенной с рабочей камерой, $p_{ав}$ — по манометру 9.

Температура воды колебалась от 3,5 до 4 °С, воздуха — от 17 до 18 °С.

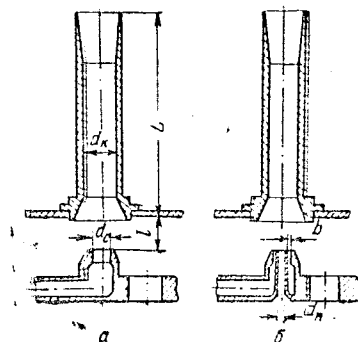


Рис. 2. Схемы контактирующих устройств с соплом сплошного (а) и кольцевого (б) сечения.

На рис. 3 показана зависимость расхода инжектируемого воздуха от расхода воды. Как мы видим, при одном и том же расходе воды контактирующее устройство с соплом кольцевого сечения обеспечивает значительно большую производительность по воздуху, чем устройство с соплом сплошного сечения. Следует отметить также, что оно несколько раньше выходит на режим подсосывания и раньше создает пенный режим контактирования.

Зависимость разрежения в приемной камере от весового расхода отсасываемого газа для двух вариантов контактирующего устройства иллюстрируется рис. 4. При одинаковом расходе воздуха разрежение больше в случае контактирующего устройства с соплом кольцевого сечения.

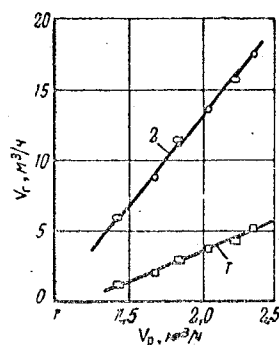


Рис. 3. Зависимость расхода подсосываемого газа от расхода рабочей жидкости для контактирующих устройств с соплом сплошного (кривая 1) и кольцевого (кривая 2) сечения.

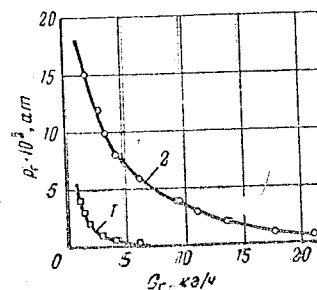


Рис. 4. Зависимость разрежения в приемной камере от весового расхода отсасываемого газа для контактирующих устройств с соплом сплошного (кривая 1) и кольцевого (кривая 2) сечения.

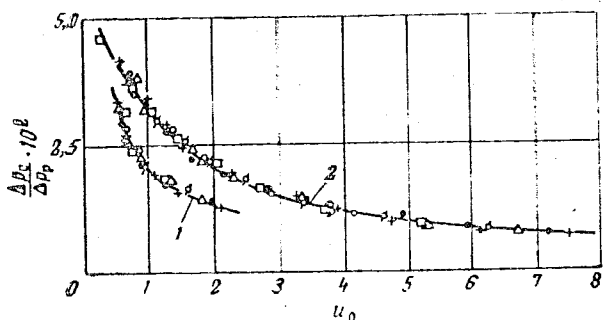


Рис. 5. Зависимость характеристики $\Delta\rho_c/\Delta\rho_p$ от коэффициента инжекции для контактирующих устройств с соплом сплошного (кривая 1) и кольцевого (кривая 2) сечения при различных расходах рабочей жидкости:

○ — $V_p = 1,44 \text{ м}^3/\text{ч}$; □ — $V_p = 1,68 \text{ м}^3/\text{ч}$; ∅ — $V_p = 1,84 \text{ м}^3/\text{ч}$;
 △ — $V_p = 2,04 \text{ м}^3/\text{ч}$; ● — $V_p = 2,22 \text{ м}^3/\text{ч}$; + — $V_p = 2,34 \text{ м}^3/\text{ч}$.

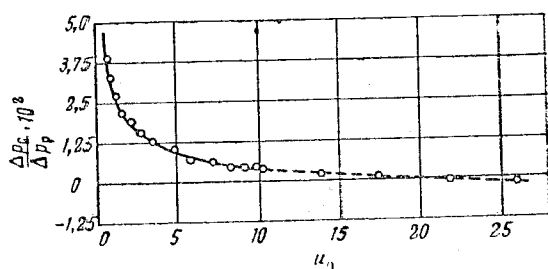


Рис. 6. Зависимость характеристики $\Delta\rho_c/\Delta\rho_p$ от коэффициента инжекции при $V_p = 2,34 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На рис. 5 представлена зависимость обобщающей характеристики пенно-струйного абсорбера $\Delta\rho_c/\Delta\rho_p$ от коэффициента инжекции $u_0 = V_r/V_p$ ($\Delta\rho_c = \rho_c - \rho_r$, $\Delta\rho_p = \rho_p - \rho_r$). Экспериментальные точки, полученные при различных расходах воды, достаточно хорошо укладываются на общую для каждого варианта контактирующего устройства кривую. При этом показатели кольцевой струи намного лучше показателей сплошной струи.

Важное преимущество пенно-струйного абсорбера с контактирующим устройством, имеющим кольцевое сопло, — возможность устойчивой работы при значительных подпорах со стороны газа. В проведенных нами опытах аппарат устойчиво работал при подпорах в приемной камере от 6 до 300 мм всд. ст., коэффициент инжекции при этом достигал 26.

Из рис. 6 видно, что зависимость $\frac{\Delta\rho_c}{\Delta\rho_p} = f(u_0)$ для абсорбера с соплом кольцевого сечения, работающего в условиях подсоса и в условиях подпора в приемной камере при постоянном расходе воды, описывается одной кривой. Сплошной участок кривой соответствует этой зависимости при отрицательном давлении

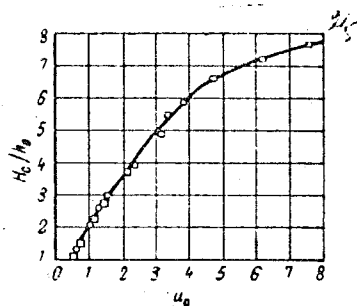


Рис. 7. Зависимость характеристики H_c/h_0 от коэффициента инжекции при $V_p = 2,34 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $h_0 = 160 \text{ мм}$ для контактирующих устройств с соплом сплошного (□) и кольцевого (○) сечения.

в приемной камере, пунктирный участок получен при положительном давлении.

Как уже отмечалось, интенсивный пенно-струйный режим контактирования газа и жидкости за камерой смещения обусловлен, кроме всего прочего, превышением уровня жидкости над кромкой диффузора. При уровне ниже некоторого предельного значения h_0 устойчивость пенно-струйного режима нарушается, а при отсутствии затопления камеры смещения в рабочей камере наблюдается струйно-капельный режим контактирования фаз.

Зависимость высоты двухфазного слоя, выраженной отношением H_c/h_0 , от коэффициента инжекции при постоянных значениях V_p и h_0 представлена на рис. 7. Опытные точки для обоих вариантов контактирующего устройства укладываются на общую кривую.

Результаты проведенного нами исследования свидетельствуют о существенных преимуществах контактирующего устройства с соплом кольцевого сечения. Кольцевая струя имеет большую скорость истечения из сопла, чем сплошная струя; толщина ее меньше и разрушается она раньше и на более мелкие струи и капли. Образующийся двусторонний кольцевой веер из струй и капель на некотором расстоянии от сопла заполняет уже все сечение по диаметру распавшейся кольцевой струи и способствует захвату и транспортированию большого количества воздуха (благодаря подсосыванию воздуха по внутреннему каналу сопла), чем при истечении сплошной струи. В настоящее время ведется разработка опытно-промышленного пенно-струйного абсорбера с контактирующими устройствами на основе инжектора с соплом кольцевого сечения.

Такой абсорбер может быть использован для санитарной очистки газов, а также для осуществления ряда процессов массообмена в пенно-струйном режиме (нагревание и охлаждение газов и жидкостей, концентрирование жидкостей, сушка и увлажнение газов и др.).