

УДК 66.074.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА СТЕНКУ ЦЕНТРОБЕЖНОГО
СЕПАРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

В. А. МАРКОВ, Д. Г. КАЛИШУК

Для очистки газозвесей от твердых частиц и капельной жидкости в настоящее время используются различные устройства [1], среди которых широкое применение нашли сепарационные элементы, выполненные в виде коротких цилиндрических патрубков с отверстиями в верхней части и неподвижным завихрителем в нижней [2]. Эти устройства, как правило, используются для отделения капельной жидкости от газовой фазы в тепло- и массообменных аппаратах. При мокрой очистке вентвыбросов (например, вентвыбросов гранбашен производства минеральных удобрений) успешно эксплуатируется осевой вентилятор-сепаратор [3], основным достоинством которого является возможность проведения очистки непосредственно в его корпусе без установки дополнительных сепарирующих элементов, предусмотрев лишь для отвода жидкости конический диффузор с отверстиями и отбойным колпачком на выходе газовой смеси из колеса вентилятора.

Степень разделения фаз при использовании указанных конструкций во многом зависит от эффективной работы узла отвода жидкой фазы, выполненного в виде отверстий различной формы, расположенных на расстоянии от завихрителя потока, достаточном для формирования жидкой пленки. Патрубок с отверстиями может иметь цилиндрическую или коническую форму.

Количество вытекающей из отверстий жидкости и, следовательно, геометрические размеры отверстий, можно определить при известных разности давлений по обе стороны стенки патрубка (диффузора) и коэффициенте расхода жидкости [4]. К труднонаходимой величине при расчете разности давлений относится давление, оказываемое на внутреннюю стенку патрубка. Это давление является результатом воздействия закрученного газо-

вого потока P_r и вращающейся пленки жидкости $P_{пл}$, т. е.

$$P = P_r + P_{пл} \quad (1)$$

Значения слагаемых P_r и $P_{пл}$ с некоторым приближением можно определить, воспользовавшись теоремой Эйлера для сплошных сред [5]. Для этого выделим элементарный объем толщиной $dr/\cos\alpha$ и сторонами dr и dz (рис. 1) в пленке жидкости конического патрубка с углом конусности, равным 2α ; ось патрубка расположена вертикально. При этом отрезки окружности заменим прямыми, образующими между собой угол β .

В общем случае теорему Эйлера можно записать в виде

$$\bar{F}_{об} + \bar{F}_n + M_1 \bar{\omega}_1 + M_2 \bar{\omega}_2 = 0 \quad (2)$$

где $\bar{F}_{об}$, \bar{F}_n — результирующие векторы объемных и поверхностных сил, действующих на выделенный объем; $M_1 \bar{\omega}_1$, $M_2 \bar{\omega}_2$ — секундные количества движения жидкости в сечениях 1 и 2 (см. рис. 1); M_1 ,

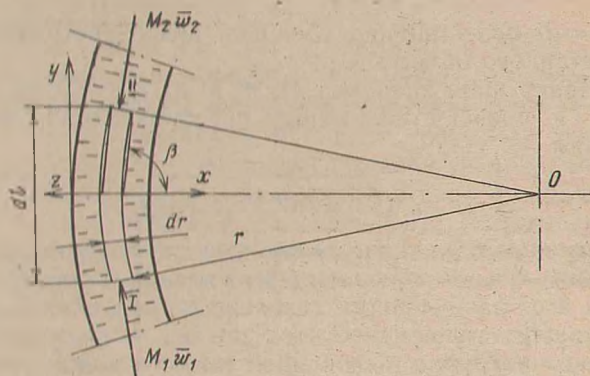


Рис. 1. Схема к расчету давления.

цию аргона в них, что дает возможность снизить затраты на утилизацию ПГ. При этом отпадает необходимость в тонкой очистке возвращаемой водородной фракции от инерттов.

В целом теоретические исследования показали, а промышленные испытания ресурсосберегающей бициклической схемы производства аммиака подтвердили возможность повышения эксергетического к. п. д. схем синтеза аммиака за счет присоединения части продувочных газов к углеводородному сырью, направляемому на получение аммиака. Использование БСПА позволяет также

уменьшить затраты на утилизацию продувочных газов.

Библиографический список

1. Справочник азотчика: Справоч. изд. Т. 1. М.; Химия, 1986.
2. Лейтес И. Л., Сосна М. Х., Семенов В. П. Теория и практика химической энерготехнологии. М.: Химия, 1988.
3. Дытнерский Ю. И., Брыков В. П., Каграманов Г. Г. Мембранное разделение газов. М.: Химия, 1991.
4. А. с. 981219 СССР // Открытия. Изобретения. 1982. № 46.

M_2 — массы жидкости, протекающей в сечениях 1 и 2 со скоростями \bar{w}_1 и \bar{w}_2 .

В проекциях на оси координат уравнение (2) имеет вид:

$$\begin{aligned} F_{обx} + F_{nx} + M_{1x}\bar{w}_{1x} + M_{2x}\bar{w}_{2x} &= 0 \\ F_{обy} + F_{ny} + M_{1y}\bar{w}_{1y} + M_{2y}\bar{w}_{2y} &= 0 \\ F_{обz} + F_{nz} + M_{1z}\bar{w}_{1z} + M_{2z}\bar{w}_{2z} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Будем считать, что объемной силой является сила тяжести, а поверхностной — сила добавочной динамической реакции стенки патрубка; силы трения компенсируются силами касательных напряжений; давление на стенку обусловлено тангенциальной составляющей ω_τ вектора полной скорости $\bar{\omega}$; движение пленки установившееся; в сечениях 1 и 2 тангенциальная скорость одинакова; радиус r выделенного объема по оси z не изменяется. С учетом принятых условий при $M_1 = M_2 = M$ уравнения (3) примут вид:

$$\begin{aligned} F_{nx} &= 2M\omega_\tau \cos \beta + mg \sin \alpha \\ F_{ny} &= 0 \\ F_{nz} &= mg \cos \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

где $M = \rho\omega_\tau dr dz / \cos \alpha$; $m = \rho r dr dz / \cos \alpha$ — масса выделенного объема; ρ — плотность среды; ось z направлена по образующей боковой поверхности конуса.

Давление, оказываемое на стенку патрубка, определим из выражения

$$dP = \frac{|\bar{F}_n|}{dS} \quad (5)$$

где $|\bar{F}_n|$ — абсолютное значение результирующей силы \bar{F}_n

$$|\bar{F}_n| = \sqrt{F_{nx}^2 + F_{ny}^2 + F_{nz}^2} \quad (6)$$

или с учетом уравнений (4)

$$|\bar{F}_n| = \sqrt{4M^2\omega_\tau^2 \cos^2 \beta + (mg)^2 + 4M\omega_\tau \cos \beta \sin \alpha mg} \quad (7)$$

$dS = dl \cdot dz$ — площадь боковой поверхности элементарного объема.

Подставляя значения M , m и dS в выражение (5) и проведя несложные преобразования, получим

$$dP = \rho \sqrt{\frac{\omega_\tau^4}{r^2} + \frac{2\omega_\tau^2 g \sin \alpha}{r} + g^2} dr \quad (8)$$

Данное выражение применимо для расчета давления как от вращающейся пленки жидкости, так и от закрученного газового потока. Для восходящего газожидкостного потока в цилиндрическом патрубке, когда силой тяжести можно пренебречь, выражение (8) преобразуется к виду:

$$dP = \frac{\rho\omega_\tau^2}{r} dr \quad (9)$$

Неизвестной величиной в выражении (9) является скорость ω_τ , которая зависит от конструктивных и режимных параметров и имеет неравномерное распределение по сечению патрубка для пленки жидкости и газового потока. Для изучения влияния указанных параметров на ω_τ и количественной оценки слагаемых уравнения (1) при атмосферном давлении были проведены эксперименты на системах вода — воздух и раствор глицерина — воздух. При этом был исследован цилиндрический патрубок с внутренним диаметром 57 мм. Угол наклона лопастей завихрителя по отношению к го-

Данные, полученные в результате эксперимента и расчета

Экспериментальные данные							Расчетные данные	
ω_τ , м/с	q , м ³ /(м·ч)	$\rho_{ж}$, кг/м ³	$\mu_{ж}$, мПа·с	δ , 10 ⁻³ м	γ , град	P , Па	$P_{па}$, Па	$P_{г}$, Па
20	1,0	1000	1,2	0,29	34,0	510	20,5	610
24	1,0	1000	1,2	0,23	35,3	657	24,0	785
28	1,0	1000	1,2	0,17	37,3	893	27,6	987
20	4,0	1000	1,2	0,41	54,4	667	53,3	610
24	4,0	1000	1,2	0,37	54,2	736	61,2	785
28	4,0	1000	1,2	0,28	53,4	922	6,8	987
20	0	1100	3,3	0,66	40,1	568	6,5	610
24	1,0	1100	3,3	0,54	45,9	676	5,3	785
28	1,0	1100	3,3	0,46	46,2	893	6,2	987
20	4,0	1100	3,3	0,93	52,9	726	30,3	610
24	4,0	1100	3,3	0,77	52,0	843	39,4	785
28	4,0	1100	3,3	0,69	52,9	1060	40,5	987

Примечание. ω_τ — среднерасходная скорость газа; q — плотность орошения; $\rho_{ж}$, $\mu_{ж}$ — плотность и вязкость жидкости соответственно.

ризонтальной плоскости составлял 35°, а число лопастей — 6.

Было изучено влияние режимных параметров и вязкости жидкой фазы на среднюю толщину пленки и направление ее движения по стенке патрубка. Среднюю толщину пленки определяли методом локальной электропроводности [6], а направление ее движения — методом трассирования [7]. Кроме того, были измерены давление, обусловленное воздействием газожидкостного потока, и скорости газового потока по сечению патрубка без орошения. Точка замера находилась на расстоянии 2,5 d (d — внутренний диаметр патрубка) от завихрителя. Плотность орошения изменялась в пределах 1,0—4,0 м³/(м·ч), а среднерасходная скорость газа ω_τ в патрубке — 15—30 м/с.

В таблице и на рис. 2 представлены некоторые результаты эксперимента.

Установлено, что направление движения пленки жидкости отличается от угла наклона лопастей завихрителя и зависит от нагрузок по фазам и вязкости жидкости. Средняя толщина пленки незначительна и для исследуемого диапазона скоростей

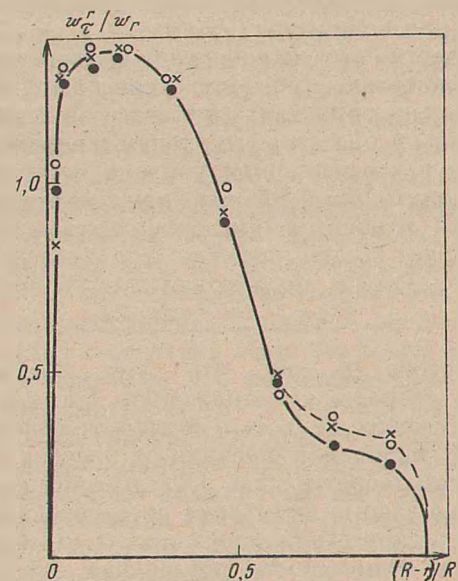


Рис. 2. Распределение тангенциальной скорости по сечению патрубка, полученное при скорости газа 20, 24 и 28 м/с (●, × и ○ соответственно).

газа и расходов жидкости не превышала 1,2 мм.

Давление, оказываемое пленкой жидкости, было рассчитано по выражению (9), т. е. без учета сил тяжести, причем скорость $\bar{\omega}_r$ принимали осредненной

$$\bar{\omega}_r = \bar{\omega}_r^{os} = \bar{\omega}_{oc}^{os} \operatorname{tg} \gamma = V \operatorname{tg} \gamma / \pi d \delta \quad (10)$$

где $\bar{\omega}_{oc}^{os}$ — осредненная осевая скорость пленки жидкости; γ — угол между вектором результирующей скорости и горизонтальной плоскостью; V — расход жидкости; δ — средняя толщина пленки жидкости.

Для газовой фазы была учтена неравномерность скоростей по сечению патрубка, а кривая, построенная по экспериментальным значениям, при интегрировании была аппроксимирована прямолинейными участками:

$$\bar{\omega}_r = \begin{cases} c_1 r + a_1, & 0 < r \leq r_1 \\ c_2 r + a_2, & r_1 < r \leq r_2 \\ c_n r + a_n, & r_{n-1} < r \leq R \end{cases}$$

где $c_1, c_2, \dots, c_n, a_1, a_2, \dots, a_n$ — коэффициенты, определяемые по экспериментальным данным (см. рис. 1); ось абсцисс разбивали на шесть частей ($n=6$).

Результаты расчета показывают, что давление, оказываемое пленкой жидкости на стенку, не превышает $\sim 10\%$ от суммарного давления; давление от газожидкостного потока сопоставимо с расчетными давлениями от воздействия газового потока без подачи жидкости, оставаясь при этом несколько ниже. Очевидно, последнее объясняется

тем, что для закрутки и транспортирования пленки жидкости затрачивается энергия газового потока, и происходит перераспределение профиля скоростей.

Проведенные исследования показывают, что в расчетах по определению количества вытекающей жидкости из отверстий с достаточной точностью за движущую силу можно принять разность между давлением, обусловленным газовым закрученным потоком на внутреннюю стенку патрубка, и внешним давлением.

Полученные результаты могут быть использованы в расчетах сепарационных элементов с закрученными газожидкостными потоками, в которых отток жидкости осуществляется с помощью отверстий.

Библиографический список

1. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль / Пер. с англ. Под ред. А. Ф. Туболкина. Л.: Химия, 1989.
2. Левданский Э. И., Плехов И. М., Ершов А. И. Центробежные сепараторы. М.: НИИТЭХим, 1983. № 2. С. 54.
3. Заявка 4634743.
4. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971.
5. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. М.: Наука, 1967.
6. Сергеев И. В., Сергеев А. Д., Николаев Н. А. // Машины и аппараты химической технологии. 1977. Вып. 5. С. 9.
7. Paper J. A., Pinczewski W. V., Fell C. J. D. // Chem. Eng. Res. and Des. 1984. № 2. P. 111.

УДК 622.767/.771:532.51

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА

В. Г. СИСТЕР, В. В. ДИЛЬМАН, Ю. Д. ОВЧИННИКОВ,
Ю. Г. ТРУБАЧЕВ, Э. В. СЕНЬКИНА

В различных отраслях промышленности для разделения газожидкостных систем широко применяются центробежные сепараторы. Они отличаются простотой конструкции, обладают большой пропускной способностью, малой металлоемкостью, несложны в эксплуатации и высокоэффективны.

Однако при определенных технологических режимах эффективность работы центробежных сепараторов значительно снижается, и в первую очередь вследствие изменения гидродинамики течения отсепарированной пленки жидкости.

В данной статье приведены результаты сравнительных испытаний разработанной нами конструкции центробежного сепаратора [1] с тангенциальным вводом газожидкостного потока и ранее предложенной модели [2].

На рис. 1 представлена схема центробежного сепаратора, состоящего из корпуса 6, конического вытеснителя 5 с цилиндрическим устройством для сбора жидкости 7 и дренажной трубкой 9, а также разделительной тарелки 10 с завихрителем 2. Аппарат снабжен патрубками ввода газожидкостной смеси 3, вывода газа 4 и жидкости 1.

Сепаратор работает следующим образом. Газожидкостный поток поступает в аппарат по патрубку 3 и приобретает вращательное движение; под

действием центробежных сил жидкость отбрасывается к стенкам корпуса. Затем поток опускается вниз вдоль стенок и проходит кольцевой зазор между корпусом 6 и вытеснителем 5, попадая в свободный объем между вытеснителем 5 и разделительной тарелкой 10. Часть газа поднимается с поверхности разделительной тарелки 10, а другая часть поступает в кольцевой зазор под разделительную тарелку вместе с жидкостью и через завихритель 2 и вытеснитель 5 выходит из сепаратора. Жидкость стекает по стенкам в кубовую часть, откуда отводится через патрубок 1.

С помощью разделительной тарелки 10 нисходящий вращающийся газовый поток отделяется от отсепарированной жидкости. Это позволяет предотвратить унос жидкости газом из сепаратора.

Размещение завихрителя 2 в центральной части разделительной тарелки 10 обусловлено следующим. В центральной зоне аппарата в области восходящего потока газа вследствие изменения статического давления вдоль радиуса сепаратора под действием центробежных сил создается область пониженного давления [3]. В этой области тангенциальные скорости газа невелики и, следовательно, мала и центробежная сила. Таким образом, частицы жидкости, попавшие в нее, бес-