

G. РАЯЛО, Рутх ЛУХАКООДЕР, Мооника ФЛОРЕН

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ПУЗЫРЬКОМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕЖФАЗНОЙ МАССОПЕРЕДАЧИ В СИСТЕМЕ ГАЗ—ЖИДКОСТЬ

G. RAJALO, Ruth LUHAKOODER, Moonika FLOREN. SILINDRILISE MULLIGA APARAADI KASU-TAMISEST FAASIDEVAHELISE MASSIÜLEKANDE UURIMISEL SÜSTEEMIS GAAS—VEDELIK

G. RAJALO, Ruth LUHAKOODER, Moonika FLOREN. THE USE OF CYLINDRICAL BUBBLE APPARATUS FOR MASS-TRANSFER STUDY IN GAS—LIQUID SYSTEM

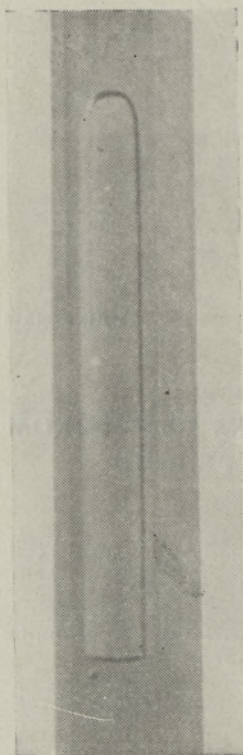
(Представил И. Клесмент)

Основными параметрами физико-химических систем, определяющими скорость межфазной массопередачи, являются коэффициенты равновесия и молекулярной диффузии переходящего компонента, а при появлении в системе химической реакции — еще и константа ее скорости. Эти параметры можно определить экспериментально, используя для этой цели аппарат с известной поверхностью межфазного контакта и определенным временем экспозиции поверхностных элементов жидкости. В случае быстрой химической реакции применяют аппараты с ламинарной струей или специальную ячейку с мешалкой [1]. При медленной химической реакции или чисто физической абсорбции более перспективным представляется изучение массопередачи из отдельных газовых пузырьков; как это было принято уже при установлении общеизвестной пенетрационной теории Хигби.

Геометрический вид отдельного газового пузырька, поднимающегося в жидкости, обычно остается неопределенным. Его лишь с довольно грубым приближением можно считать шарообразным. Поэтому для изучения массопередачи очень заманчива возможность применения аппарата с цилиндрическим пузырьком, поднимающимся по вертикальной трубе, заполненной жидкостью [2]. Однако хотя в этом случае имеем дело с неподвижной жидкостью (в общем смысле), профиль скорости течения жидкости в пленке между пузырьком и стенкой трубы сложен. Результаты теоретического анализа гидродинамики движения жидкостной пленки, проведенного в [3], позволяют вычислить скорость движения поверхностных элементов жидкости и сделать дальнейшие обобщения для определения основных физико-химических параметров межфазного массообмена на основе экспериментальных данных.

Диффузия переходящего компонента A в жидкости определяется уравнением Фика, интегрирование которого в пределах от нуля до времени экспозиции t_0 , при отсутствии химической реакции и квазистационарности общего состояния системы в течение промежутка времени t_0 , ведет к уравнению [4]:

Рис. 1. Вид пузырька в трубке.



$$N_A = 2C_{AP} \sqrt{\frac{D_A}{\pi t_a}}, \quad (1)$$

где N_A — удельный поток переходящего вещества на единицу поверхности контакта, C_{AP} и D_A — соответственно равновесная концентрация и коэффициент диффузии переходящего компонента в жидкости.

Далее рассмотрим геометрический вид пузырька газа (рис. 1). Боковая поверхность пузырька, диаметром 1 см и высотой выше 4 см, практически вполне цилиндрическая, верхний конец сферический, нижний — плоский. Толщина жидкостной пленки вдоль оси пузырька практически постоянна. При оценке протяженности движения поверхностного элемента жидкости следует учесть, что движение не заканчивается у нижнего края цилиндра, а продолжается еще за счет вихрей по нижней конечной поверхности пузырька. Иногда образуются еще дополнительные микропузырьки. Поэтому нам представляется правильным принять среднюю протяженность движения поверхностного элемента равной $l+d$, где l — высота и d — диаметр пузырька. Среднее время экспозиции поверхностного элемента выражается отношением:

$$t_a = \frac{l+d}{u_0}, \quad (2)$$

где u_0 — линейная скорость движения поверхностного элемента жидкости вдоль пузырька. Значения d и u_0 зависят от вязкости и плотности жидкости и скорости подъема газового пузырька. По нашим экспериментальным данным и данным [2], последнюю можно считать постоянной по всему пути подъема. Расчет значений u_0 и d следует провести по методике в [3].

Из закона Генри и уравнений (1) и (2) для чистого абсорбируемого газа получим:

$$N_A = \frac{dn_A}{Fdt} = \frac{2p}{H} \sqrt{\frac{D_A u_0}{l+d}}, \quad (3)$$

где n_A — количество переходящего компонента в молях; p — давление газа, H — константа Генри, а поверхность контакта:

$$F = \pi d(l+d). \quad (4)$$

Из уравнения идеального газа в изобарных условиях получим:

$$dn_A = \frac{\pi d^2 p}{\Delta RT} dl, \quad (5)$$

где R — газовая постоянная, T — температура. Из уравнений (3)–(5) выведем формулу:

$$\frac{dl}{\sqrt{l+d}} = \frac{4RT}{H} \sqrt{D_A u_0} dt, \quad (6)$$

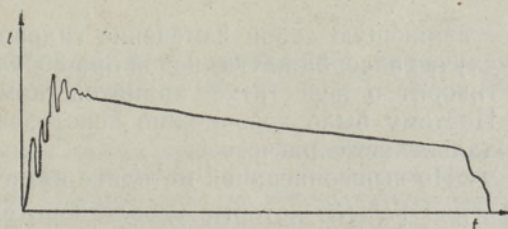
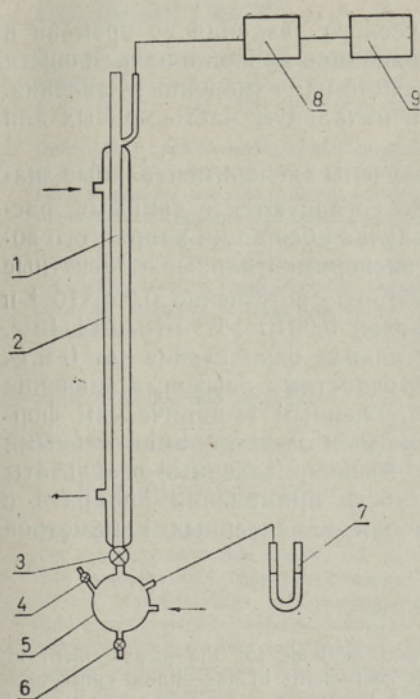


Рис. 3. Измерение гидростатического давления жидкости во времени.

Рис. 2. Схема аппарата. 1 — стеклянная труба (колонна); 2 — рубашка для термостатирования; 3, 4, 6 — краны; 5 — сосуд; 7 — манометр; 8 — система измерения давления; 9 — самопишущий прибор.

интегрирование которой дает:

$$\sqrt{l_2+d} - \sqrt{l_1+d} = \frac{2RT}{Hd} \sqrt{D_A u_0} (t_2 - t_1); \quad (7)$$

где l_1 и l_2 — длины газового пузырька в соответствующих точках времени t_1 и t_2 .

Из уравнения (7) видно, что путем экспериментального определения скорости газового пузырька и высоты его в зависимости от времени можно установить характерное соотношение параметров массопередачи $\sqrt{D_A}/H$.

Однако отметим, что высоту пузырька l обычно не удастся измерить непосредственно, но лишь через гидростатическое давление на верхнем конце столба жидкости l_u . Последнее следует перевести на высоту пузырька уравнением:

$$l = \frac{K d_T^2 l_u}{\rho d^2} \left[\frac{p_0 - \rho g (L - u_n t)}{p_0} \right] - \frac{d}{3}, \quad (8)$$

где ρ — плотность жидкости, p_0 — атмосферное давление, g — ускорение свободного падения, d_T — внутренний диаметр трубы, L — высота столба жидкости в трубе, K — аппаратный коэффициент.

Принципиальная схема применяемого нами аппарата приведена на рис. 2. Основная его часть — термостатированная стеклянная труба, внутренний диаметр 1,025 см, высота 125 см. Газ из баллона поступает в сосуд, снабженный манометром и кранами для спуска накапливающейся жидкости и выпуска газа в атмосферу. Газ подается в колонну путем кратковременного открытия крана широкого диаметра. Для измерения гидростатического давления к верхнему концу трубы присоединен электрический ртутный манометр, сигнал от которого поступает на двухкоординатный самопишущий прибор «Endim 2200».

В качестве примера приводим измерительную кривую (рис. 3), пред-

ставляющую собой изменение гидравлического давления во времени в случае абсорбции CO_2 водой при 30°C . Колебания кривой в начале опыта говорят о недостатке принятой нами системы измерения давления. Поэтому было невозможно использовать начальную часть кривых для дальнейшего расчета.

По вышеописанной методике нами получены экспериментальные значения $\sqrt{D_A}/H$, которые удовлетворительно согласуются с данными, рассчитанными через D_A и H . Например, в случае абсорбции хлористого водорода первичным изопентенилхлоридом экспериментальные и расчетные значения $\sqrt{D_A}/H$ (см·атм·с^{-0,5}) составляют соответственно $0,026 \cdot 10^{-4}$ и $0,027 \cdot 10^{-4}$, а в случае абсорбции CO_2 водой $0,0016 \cdot 10^{-4}$ и $0,0014 \cdot 10^{-4}$. При этом следует учесть, что экспериментальные определения как l_1 и l_2 , так и коэффициента Генри связаны с неточностями опытов, а значения D_A рассчитаны по общеизвестным приближенным эмпирическим формулам. Поэтому расхождения между расчетными и экспериментальными данными следует считать естественными. Вышеприведенные результаты указывают на принципиальную возможность применения аппарата с цилиндрическим пузырьком для определения характерных параметров массопередачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sridharan, K., Sharma, M. M. New systems and methods for the measurement of effective interfacial area and mass transfer coefficients in gas—liquid contactors. — Chem. Eng. Sci., 1976, 31, N 9, 767—774.
2. Pasiuk-Bronikowska, W. Slug absorber for laboratory use. — Bull. Acad. Polon. Sci., 1972, 20, N 2, 175—181.
3. Street, J. R., Tek, M. R. Dynamics of bullet shaped bubbles encountered in vertical gas—liquid slug flow. AIChE Journal, 1965, 11, N 4, 644—650.
4. Данквертс П. В. Газо-жидкостные реакции. М., 1973.

Институт химии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
10/XI 1982

УДК 665.7.032.57

Важнейшие опытные промышленные и демонстрационные установки для переработки горючих сланцев. Эпик И. — Изв. АН ЭстССР. Химия, 1983, т. 32, № 2, с. 81—97 (рез. эст., англ.)

Описаны схемы и приведены основные и сопоставимые между собой технические показатели 12 разных опытных промышленных или демонстрационных установок для термической переработки сланцев в СССР, США, Бразилии, ФРГ и КНР. Рассматривается целесообразность выделения кускового сланца из общей добычи шахт или разрезов для переработки его в более дешевых (менее капиталоемких) установках. Табл. 4. Рис. 14. Библ. 16 назв.

УДК 553.983(474.2).002.61

Термическое разложение кукурсита в присутствии тяжелой воды. Нечаев И., Уров К. — Изв. АН ЭстССР. Химия, 1983, т. 32, № 2, с. 98—102 (рез. эст., англ.)

Термолизом концентрата кукурсита под давлением в присутствии тяжелой воды и последующим определением содержания дейтерия в полученной смоле и ее групповых компонентах установлено, что вода участвует в процессе термической деструкции керогена в качестве химического агента. Около 45% водорода образующейся сланцевой смолы берет начало от водорода воды, который включается в состав продуктов деструкции преимущественно по месту расщепления химических связей в исходном керогене. Показано, что неароматические углеводороды и фенолы смолы являются наименее превращенными продуктами термического разложения кукурсита. Табл. 2. Рис. 1. Библ. 8 назв.