

УДК 66:02 (075)

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-66-69

*А. Б. Голованчиков¹, П. П. Залипаев¹, О. А. Залипаева^{1, 2}, С. Г. Поступаева¹***ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГЕНРИ
В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКЕ
ПО МАССЕ ПОГЛОЩЕННЫХ ПАРОВ**¹Волгоградский государственный технический университет²Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ

E-mail: pahp@vstu.ru, zalipaevpavel@mail.ru, zalipaevaolga@yandex.ru, posvetlana@mail.ru

Рассматривается процесс абсорбции паров этанола водой в автоматизированной экспериментальной установке. Приводится порядок определения коэффициента Генри по массе уловленных паров поглощаемого компонента. Описывается уточненная методика нахождения равновесной зависимости процесса абсорбции. Даются рекомендации по применению предлагаемой методики для технологических расчетов абсорбционных колонн.

Ключевые слова: абсорбционная установка, насадочная колонна, коэффициент Генри, равновесная зависимость, технологический расчет

*A. B. Golovanchikov¹, P. P. Zalipaev¹, O. A. Zalipaeva^{1, 2}, S. G. Postupaeva¹***DETERMINATION OF THE HENRY COEFFICIENT
IN AN AUTOMATED INSTALLATION BY THE MASS
OF ABSORBED VAPOURS**¹Volgograd State Technical University (VSTU)²Volzhsky Polytechnic Institute (branch) VSTU

The process of absorption of ethanol vapors by water in an automated experimental setup is considered. The procedure for determining the Henry coefficient by the mass of captured vapors of the absorbed component is given. A refined method for finding the equilibrium dependence of the absorption process is described. Recommendations are given for the application of the proposed method for process calculations of absorption columns.

Keywords: absorption unit, packed column, Henry coefficient, equilibrium dependence, process calculation

Абсорбция широко применяется в химической, пищевой и смежных отраслях промышленности. В химической технологии процесс абсорбции применяется для разделения газовых смесей, очистки газов, выделения паров из паро-газовых смесей. В пищевой промышленности углекислым газом насыщают безалкогольные напитки, пиво и некоторые сорта вин. В спиртовом и винодельческом производствах из газов, выделяемых при брожении, улавливают спиртовые пары путем поглощения их водой.

При взаимодействии газовой смеси с жидкостью, поглощающей один из газов этой смеси, образуется система, состоящая из двух фаз – жидкой и газообразной, и трех компонентов – абсорбента, поглощаемого и инертного веществ [1–3]. В процессе абсорбции поглощаемое вещество в результате диффузии переходит из газовой фазы в жидкую, одновременно существует и обратный процесс. Если количество вещества, переходящее в единицу времени из газовой фазы в жидкую, превышает его количество,

переходящее в обратном направлении, то результатом процесса является односторонний процесс переноса вещества из газовой фазы в жидкую. Вследствие чего концентрация поглощаемого вещества в жидкой фазе возрастает, а в газовой фазе убывает. При продолжительном контактировании фаз между ними устанавливается состояние динамического равновесия. Тогда количества веществ, переходящих в обоих направлениях, становятся равными. Односторонний переход поглощаемого вещества прекращается, его концентрации в фазах остаются постоянными (равновесными) [1–3].

Основным законом состояния равновесия в системах газ-жидкость является закон Генри, в котором парциальное давление поглощаемого газа пропорционально его мольной концентрации x в растворе

$$p^* = E \cdot x, \quad (1)$$

где p^* – парциальное давление поглощаемого газа в газовой смеси над раствором в условиях равновесия, Па; E – коэффициент Генри, Па.

Значение коэффициента Генри зависит от природы поглощаемого газа и абсорбента, а также от температуры процесса абсорбции и не зависит от общего давления в системе [1–4].

По закону Дальтона, парциальное давление поглощаемого вещества в газовой смеси определяется

$$p = P \cdot y, \quad (2)$$

где P – общее давление газовой смеси, Па; y – мольная концентрации поглощаемого вещества в газовой смеси.

Для системы газ-жидкость, находящейся в равновесии, закон Дальтона можно записать в виде

$$p^* = P \cdot y^*. \quad (3)$$

Подставив значение парциального давления в уравнение (1), получим следующую форму записи закона Генри

$$y^* = m \cdot x, \quad (4)$$

где $m = E/P$ – коэффициент распределения или константа фазового равновесия, значение которого зависит от природы поглощаемого вещества и абсорбента, от температуры и давления в системе.

Целью работы является нахождение коэффициента Генри по массе уловленных компонентов поглощаемого вещества в автоматизированной абсорбционной установке.

Экспериментальная автоматизированная установка позволяет проводить процесс абсорбции в лабораторных условиях (рис. 1). Абсорбер представляет собой наполненную насадкой цилиндрическую вертикальную емкость. Расход воды, подаваемый в абсорбер в качестве абсорбента, регулируется запорным устройством и измеряется датчиком расхода (*Meter CB-15X*). Через распылитель насадка в абсорбере орошается водой. Уровень воды в аппарате может регулироваться гидрозатвором, расположенном на линии слива воды, и поддерживается стабильным.

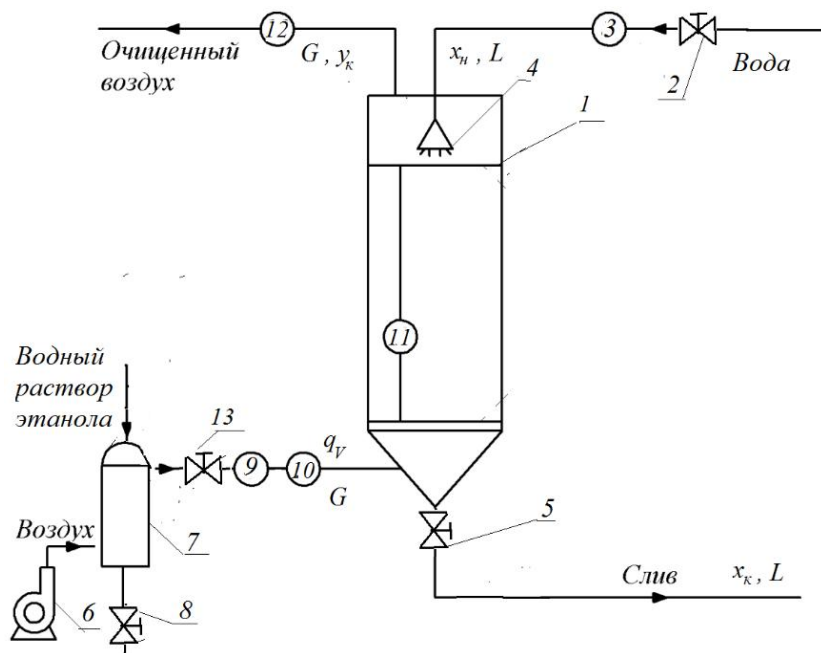


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
1 – абсорбер; 2, 8, 5, 13 – регулирующие органы; 3 – датчик расхода воды; 4 – распылитель;
6 – компрессор; 7 – ресивер; 9, 12 – концентраторы; 10 – датчик расхода насыщенного этанолом воздуха; 11 – датчик температуры

Абсорбируемый воздух, нагнетаемый компрессором, подается в ресивер, наполненный водным раствором этанола и также снабженным гидрозатвором для поддержания постоянного объема жидкости. Из ресивера обогащенный этанолом воздух подается в нижнюю часть абсорбера, при этом начальная концентрация этанола в воздухе на входе в аппарат

замеряется концентратором. Расход обогащенного воздуха измеряется расходомером (*Honeywell AWM5104*). Для того чтобы определенной концентрации одной фазы соответствовала строго определенная концентрация другой фазы, необходимо давление и температуру процесса абсорбции принять постоянными [4]. Температура в абсорбере контролируется дат-

чиком температуры (*Dallas Semiconductor DS18B20*). На выходе из аппарата концентрация этанола в очищенном воздухе измеряется аналоговым концентратометром в режиме реального времени. Показания с датчиков поступают на микроконтроллер (*Freeduino 2009*), где при помощи аналого-цифрового преобразователя преобразуются в унифицированные сигналы. После оцифровки данные с микроконтроллера передаются на компьютер, где обрабатываются при помощи специально разработанного графического интерфейса.

Для определения экспериментальной равновесной зависимости используют методику, связанную с динамическим равновесием рабочей концентрации этанола в воздухе и с равновесной концентрацией уловленной массы в абсорбенте. Для этого наполняют ресервер водным раствором этанола и подают в него воздух, который, барботируя через слой жидкости, насыщается парами этанола и подается в нижнюю часть абсорбера. На линии подачи в абсорбер газовой смеси снимают показания датчиков расхода и концентрации этанола. При проведении процесса абсорбции контролируют постоянство температуры и давления в аппарате. Через заданные интервалы времени снимают и фиксируют показания концентрации этанола в воздухе на выходе из абсорбера. Иссле-

дование проводят до момента, когда устанавливается динамическое равновесие, то есть, когда концентрации этанола в воздухе на выходе из колонны остаются постоянными и равными его концентрации на входе. Затем повторяют серию экспериментов, каждый раз увеличивая концентрацию этанола в воздухе при входе в абсорбер. Переводят полученные значения массовых долей этанола в воздухе на входе и выходе абсорбера в относительные мольные концентрации Y_n и Y_k .

По результатам опыта строят ряд кинетических кривых изменения мольных концентраций этанола в воздухе на выходе из колонны от времени при различных мольных концентрациях на входе (рис. 2).

Количество поглощенных паров этанола за время τ_k будет определяться по формуле

$$m = q_v \int_0^{\tau} (y^* - y_k) d\tau, \quad (5)$$

где $y^* = y(x^*)$, q – расход газовой смеси, измеряемый расходомером на линии подачи в абсорбер, кг/с.

Тогда равновесная концентрация в абсорбенте определяется отношением

$$X^* = m/M, \quad (6)$$

где M – молярная масса абсорбента, кг/моль.

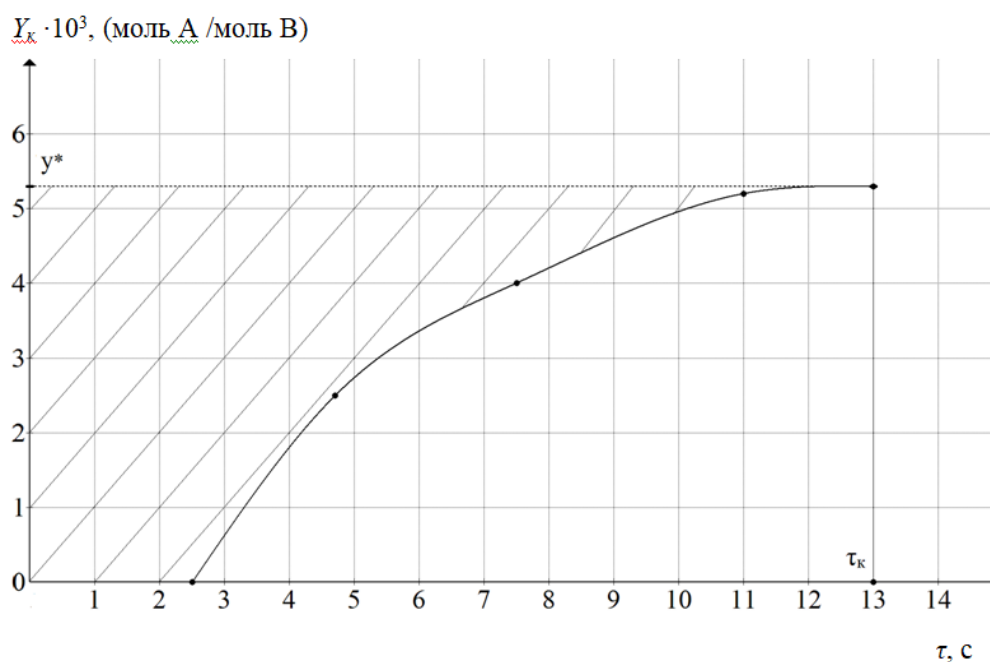


Рис. 2. Кинетическая кривая зависимости концентрации этанола в воздухе от времени на выходе из абсорбера (заштрихованная площадь прямоугольной трапеции соответствует массе уловленных паров этанола)

Таким образом, получаем одну точку динамического равновесия на графике зависимости. Затем, варьируя начальную концентрацию (массовую долю) этанола в воздухе до пяти значений и зная молярную массу M абсорбента в колонне, получаем ряд кинетических кривых, аналогичных представленным на рис. 2 и пересчитанных в дискретные точки динамического равновесия.

Обработывая методом наименьших квадратов полученные значения по динамическому равновесию, получаем численное значение коэффициента распределения m , который определяется как тангенс угла наклона полученной равновесной прямой. Используя показания датчика температуры, датчика расхода жидкого поглотителя и взвешивая массу слитого насыщенного раствора абсорбента, находим по формуле Клайперона–Менделеева давление в системе.

Вычисляем коэффициент Генри для поглощения этанола водой через полученный коэффициент распределения m и найденное давление

$$E = m \cdot P. \quad (7)$$

Представленная методика позволяет экспериментально определять уточненное значение коэффициента Генри и находить равновесную

зависимость для контактируемых фаз при различных условиях проведения процесса абсорбции в массообменных аппаратах, в независимости от их конструктивных особенностей и технологических параметров [5]. Полученные экспериментальным путем равновесные зависимости и значения константы Генри, могут быть использованы при технологических расчетах абсорбционных колонн, в которых не всегда целесообразно использовать справочные данные.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет и проектирование массообменных аппаратов : учеб. пособие / под. ред. А. Н. Острикова. – СПб. : Лань, 2015. – 352 с.
2. Cussler E. L. Diffusion: mass transfer in fluid systems. – Cambridge university press, 2009.
3. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для студ. вузов // К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под. ред. П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М. : Альянс, 2013. – 576 с.
4. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. для студ. вузов / А. Г. Касаткин [и др.]. – М. : Альянс, 2008. – 784 с.
5. Calculations of the Amplitude of Vibrations in Resonant and Near-Resonant Processes of a Vibrating Centrifugal Separator / Golovanchikov, A.B., Zalipaeva, O.A., Merentsov, N.A., Raeva, Y.N. // Optics and Spectroscopy. – 2023. – Vol. 131, Issue 12 (December). – P. 1185–1189.