

# РАВНОВЕСИЕ, ДВИЖУЩАЯ СИЛА И КИНЕТИКА ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ

**Бойтемиров Отабек Эшмуродович**

старший преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело и технология переработки нефти и газа», Каршинский государственный технический университет.

**Норбоева Малика Нормуминовна**

студентка кафедры «Нефтегазовое дело и технология переработки нефти и газа», Каршинский государственный технический университет.

## **Аннотация**

В статье рассмотрены основные закономерности процессов абсорбции, включая равновесие, движущую силу и кинетику массопередачи. Проанализированы механизмы переноса вещества между фазами, определены понятия массоотдачи и массопередачи, а также рассмотрены коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Показано влияние условий фазового равновесия на интенсивность массообменных процессов и приведены основные расчетные зависимости, используемые при проектировании абсорбционных колонн.

**Ключевые слова:** абсорбция, массопередача, массоотдача, фазовое равновесие, движущая сила процесса, кинетика абсорбции, коэффициент массопередачи, коэффициент массоотдачи, абсорбционные колонны, массоперенос.

## **EQUILIBRIUM, DRIVING FORCE AND KINETICS OF THE ABSORPTION PROCESS**

**Boytemirov Otabek Eshmurodovich**

Senior Lecturer, Department of Oil and Gas Engineering and Oil and Gas Processing Technology, Karshi State Technical University

**Norboeva Malika Normuminovna**

Student, Department of Oil and Gas Engineering and Oil and Gas Processing Technology, Karshi State Technical University

## **Abstract**

This article discusses the fundamental principles of absorption processes, including equilibrium, driving force, and mass transfer kinetics. The mechanisms of substance transfer between phases are analyzed, and the concepts of mass transfer and mass transfer coefficients are described. The influence of phase equilibrium conditions on the intensity of mass exchange processes is demonstrated, and the main calculation relationships used in the design of absorption columns are presented.

**Keywords:** absorption, mass transfer, mass transfer coefficient, phase equilibrium, driving force, absorption kinetics, mass exchange, mass transfer rate, absorption columns, mass transport.

Процессы абсорбции широко применяются в химической, нефтегазовой и нефтехимической промышленности для разделения газовых смесей, очистки газов и извлечения ценных компонентов. Теоретические основы массообменных процессов подробно рассмотрены в работах Касаткина [1], Павлова и соавторов [2], а также Рамма [3], где приведены основные закономерности равновесия, массоотдачи и массопередачи в системе газ–жидкость.

Согласно Касаткину [1], движущей силой процессов массопереноса является отклонение системы от состояния фазового равновесия. Скорость переноса вещества определяется разностью концентраций компонента в контактирующих фазах и зависит от гидродинамических условий процесса.

В работе Павлова, Романкова и Носкова [2] показано, что эффективность абсорбционных процессов определяется величиной межфазной поверхности контакта, коэффициентами массоотдачи и режимом движения фаз. Авторы отмечают, что увеличение поверхности контакта способствует интенсификации массопередачи.

Рамм [3] подробно исследовал процессы абсорбции газов и разработал методы расчета промышленных абсорберов. Им установлено, что выбор конструкции аппарата оказывает существенное влияние на эффективность процесса и величину коэффициента массопередачи.

Исследования Кафарова [4] посвящены методам интенсификации процессов химической технологии. Автор показывает, что увеличение турбулентности потоков приводит к уменьшению диффузионного сопротивления и росту скорости массопереноса.

В работах Плановского и Рамма [5] рассмотрены современные конструкции массообменных аппаратов и методы их расчета. Отмечено, что для повышения эффективности абсорбции необходимо учитывать гидродинамические характеристики системы и особенности распределения фаз.

Айнштейн [6] и Лыков [7] внесли значительный вклад в развитие теории переноса массы и энергии. Их исследования позволили установить взаимосвязь между процессами теплообмена и массопереноса, что имеет важное значение при расчёте абсорбционных колонн.

В работе Sherwood и Pigford [8] представлены фундаментальные положения массопередачи и приведены математические модели для описания процессов абсорбции и десорбции. Авторы показали, что коэффициенты массопередачи зависят от физических свойств фаз и условий их взаимодействия.

Treybal [9] подробно рассмотрел инженерные методы расчета процессов массопередачи. Им предложены практические зависимости для определения коэффициентов массоотдачи и расчета высоты массообменных аппаратов.

Согласно Geankoplis [10], абсорбция относится к наиболее распространенным процессам разделения в химической технологии. Автор подчеркивает важность правильного определения движущей силы процесса и коэффициентов массопередачи для повышения эффективности промышленных установок.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что эффективность процессов абсорбции определяется условиями фазового равновесия, величиной движущей силы массопереноса и кинетическими характеристиками системы. Совершенствование методов расчета и конструкций абсорбционных аппаратов остается актуальной задачей современной химической технологии.

*Массопередачей* называют переход вещества из одной фазы в другую в направлении достижения равновесия.

При взаимодействии двух фаз, согласно второму закону термодинамики, их состояние изменяется в направлении достижения равновесия, характеризующегося равенством температур и давлений фаз, а также химических потенциалов каждого компонента в сосуществующих фазах. Движущей силой процесса переноса любого компонента из одной фазы в другую является разность химических потенциалов этого компонента во взаимодействующих фазах. Перемещение компонента происходит в направлении уменьшения его химического потенциала. Поскольку химические потенциалы компонентов неидеальных смесей являются сложными функциями состава, при анализе процессов массопередачи обычно рассматривают изменение не химических потенциалов, а концентраций компонентов. Это объясняется тем, что концентрации компонентов поддаются непосредственному определению и чаще всего рассматриваются как параметры состояния двух- и многокомпонентных систем.

В массообмене участвуют в большинстве случаев три вещества: распределяющее вещество ( $G$ ), составляющее первую фазу; распределяющее вещество ( $L$ ), составляющее вторую фазу; распределяемое вещество ( $M$ ), которое переходит из одной фазы в другую.

Поскольку все рассматриваемые массообменные процессы обратимы, распределяемое вещество может переходить из фазы  $G$  в фазу  $L$ , и наоборот, в зависимости от концентрации этого вещества в распределяющих фазах.

В качестве движущей силы процесса массопереноса компонента  $i$  из объема фазы к границе раздела или в обратном направлении принимается разность концентраций этого компонента на границе раздела фаз и в объеме рассматриваемой фазы. Так, если концентрация компонента  $i$  в отдающей фазе равна  $x_i$ , а в принимающей  $y_i$  и на границе раздела фаз концентрации

соответственно равны  $x_i^*$  и  $y_i^*$ , то движущая сила процесса переноса в отдающей фазе будет равна  $x_i - x_i^*$ , а в принимающей  $y_i^* - y_i$ . Согласно правилу линейности, поток вещества можно представить так:

$$G_i = \beta_x (x_i - x_i^*) = \beta_y (y_i^* - y_i),$$

где  $\beta_x$  и  $\beta_y$  - коэффициенты массоотдачи, характеризующие кинетику переноса соответственно в отдающей и принимающей фазах.

Как следует из этого уравнения, поток любого компонента в отдающей и принимающей фазах одинаков. Коэффициенты массоотдачи определяют перенос рассматриваемого вещества в одной из фаз через единицу поверхности поперечного сечения при движущей силе, равной единице.

Количество вещества, переносимое за время  $\tau$  через единицу поверхности контакта фаз  $F$ , определяется выражениями

$$M_i = g_i F \tau = K_x F (x_i - x_i^*) \tau = K_y F (y_i^* - y_i) \tau.$$

Сложность анализа процессов массопередачи, протекающих в колонных аппаратах, состоит в том, что в большинстве случаев точно не известны ни величина поверхности контакта фаз, ни значения  $x_i^*$  и  $y_i^*$ . Поэтому в качестве движущей силы процесса массопередачи принимают разность между концентрацией распределяемого компонента  $i$  в отдающей фазе  $x_i$ , и его концентрацией  $x_i^*$ , соответствующей состоянию равновесия в принимающей фазе, в которой концентрация компонента  $i$  равна  $y_i$ . Аналогично можно определить движущую силу процесса массопередачи через разность концентраций, отнесенную к принимающей фазе:  $y_i^* - y_i$ , где  $y_i^*$  - концентрация компонента  $i$  в принимающей фазе при достижении состояния равновесия ее с отдающей фазой состава  $x_i$ . В соответствии с этим количество вещества  $M_i$ , переходящее из одной фазы в другую через поверхность контакта фаз  $F$ , за время  $\tau$  составит

$$M_i = K_{ox} F (x_i - x_i^*) \tau = K_{oy} F (y_i^* - y_i) \tau,$$

где  $K_{ox}$  и  $K_{oy}$  - общие коэффициенты массопередачи, рассчитанные по разности концентраций распределяемого компонента соответственно для отдающей и принимающей фаз.

*Коэффициенты массоотдачи* характеризуют кинетику процесса переноса вещества в отдельной фазе и зависят от ее физических свойств и гидродинамического состояния.

*Коэффициенты массопередачи* характеризуют кинетику процесса распределения компонента из отдающей фазы в принимающую, т. е. во всей системе в целом. Величины, обратные коэффициентам массоотдачи, имеют смысл сопротивлений массопереносу в соответствующих фазах и называются фазовыми сопротивлениями массоотдачи. Относительный вклад фазовых сопротивлений в общее сопротивление зависит от условий фазового равновесия.

Если допустить, что на границе раздела фазы находятся в равновесии, то можно записать:

$$y_i^* = m x_i,$$

где  $m$  - константа равновесия, или распределения, компонента  $i$ .

Связь между коэффициентами массопередачи  $K_{ox}$ ,  $K_{oy}$  и массоотдачи  $\beta_x$  и  $\beta_y$  определяется соотношениями

$$\frac{1}{K_{ox}} = \frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{m\beta_y}; \quad \frac{1}{K_{oy}} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}.$$

Если  $m > 1$  (т. е. при равновесии  $y_i > x_i$ ), то основное сопротивление сосредоточено в фазе, состав которой обозначен буквой  $x$ , если же  $m < 1$ , то преобладает сопротивление фазы, состав которой обозначен буквой  $y$ . Когда фазовые сопротивления массоотдачи значительно различаются, коэффициент массопередачи примерно равен меньшему коэффициенту массоотдачи, т. е. общее сопротивление переносу вещества лимитируется той фазой, в которой коэффициент массоотдачи меньше.

Если коэффициент распределения  $m = const$ , то в координатах  $x - y$  графическое изображение уравнения равновесного распределения  $y_i^* = mx_i$  - это прямая линия, проходящая через начало координат, с тангенсом угла наклона равным  $m$ , если же  $m \neq const$ , то равновесное распределение представляет собой кривую линию (рис. 1).

Таким образом, при криволинейном равновесии коэффициенты равновесного распределения, а следовательно, и коэффициенты массопередачи изменяются по высоте колонны. В этом случае при расчете колонну обычно разделяют по высоте на участки, в пределах каждого из которых принимают, что  $m$  - величина постоянная и для всего аппарата используют среднее значение коэффициента массопередачи.

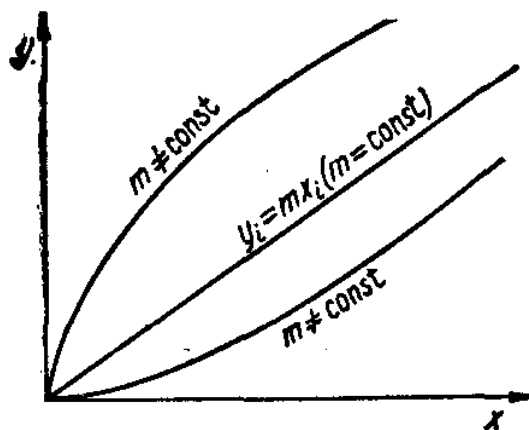


Рис. 1. Равновесная линия диаграммы  $y-x$ .

Чтобы определить массу вещества, переносимого из одной фазы в другую в колонном аппарате, необходимо удельный поток, рассчитываемый по уравнению, умножить на величину поверхности фазового контакта и длительность процесса. Однако определить величину поверхности контакта фаз в большинстве случаев очень трудно. Поэтому для расчетов используют так называемые *объемные коэффициенты массоотдачи и массопередачи*:

$$\beta_{Vx} = a\beta_x; \quad \beta_{Vy} = a\beta_y; \quad K_{Vox} = aK_{ox}; \quad K_{Voy} = aK_{oy},$$

где  $a$  - удельная поверхность контакта фаз, т. е. поверхность, отнесенная к единице рабочего объема колонны,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;  $V$  - рабочий объем колонны,  $\text{м}^3$ .

Тогда уравнения массопередачи можно записать следующим образом:

$$M_i = K_{\text{lox}} V (x - x^*) \tau = K_{\text{loy}} V (y^* - y) \tau.$$

### **Заключение**

Процесс абсорбции определяется условиями фазового равновесия, движущей силой массопереноса и кинетическими закономерностями массопередачи. Эффективность переноса вещества зависит от коэффициентов массоотдачи и массопередачи, а также от гидродинамических условий взаимодействия фаз. Полученные теоретические положения могут быть использованы при расчете и проектировании абсорбционных аппаратов.

### **Литература**

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987.
3. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976.
4. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1979.
5. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1968.
6. Эйнштейн В.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. – М.: Химия, 2000.
7. Лыков А.В. Теория теплопроводности и массопереноса. – М.: Энергия, 1967.
8. Sherwood T.K., Pigford R.L., Wilke C.R. Mass Transfer. – New York: McGraw-Hill, 1975.
9. Treybal R.E. Mass Transfer Operations. – New York: McGraw-Hill, 1980.
10. Geankoplis C.J. Transport Processes and Separation Process Principles. – New Jersey: Prentice Hall, 2003.