



СОВРЕМЕННОЕ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ  
УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ

## Оглавление

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ.....	3
ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА И ПОРЯДОК МОНТАЖА .....	5
ЛР1. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ .....	6
ЛИТЕРАТУРА .....	13

## **ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ**

До проведения лабораторных работ студенты обязательно должны пройти инструктаж по технике безопасности согласно инструкции, которая включает в себя следующие основные положения:

### *Общего назначения*

Все работы на установках должны проводиться только в присутствии и участии преподавателя или ответственного лица, прошедшего полной инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Место, где размещена установка, запрещается загромождать посторонними предметами.

Перед включением установки произвести тщательный осмотр оборудования и приборов для определения их пригодности к работе. Электрические шнуры, вилки, розетки и выключатели не должны иметь видимых повреждений. Включать установку при наличии неисправностей запрещается.

Во время выполнения задания студент не должен заниматься посторонними делами, не относящимися к выполнению данной работы.

Запрещается оставлять без наблюдения действующую установку.

Запрещается работать в лаборатории одному. Обязательно присутствие второго лица для оказания первой помощи в случае необходимости.

Студентам запрещается самостоятельно устранять неисправности лабораторных установок.

### *По электрической части.*

Ввиду наличия на установке высокого напряжения 220 В для питания электродвигателей, ТЭНов и контрольно - измерительных приборов запрещается:

- а) проникать за защитные ограждения присоединительных клемм;
- б) открывать распределительный щит и защитные кожухи установки;
- в) включать и отключать установку без разрешения преподавателя.

г) во избежание возможного поражения электрическим током, запрещается касаться при включенной установке одновременно питающих проводов измерительных приборов, оборудования и трубопроводов отопления, водопровода или заземляющего контура. При поражении электрическим током необходимо немедленно вызвать врача, а до его прибытия оказать пострадавшему первую медицинскую помощь.

д) установка должна быть немедленно отключена, если обнаружено повреждение заземления, защитного ограждения и при внезапном прекращении подачи энергии.

При появлении дыма из электронагревателя, другого оборудования или пускорегулирующей аппаратуры и при других аварийных ситуациях,

немедленно отключить установку аварийной кнопкой «Стоп» и сообщить преподавателю.

По окончании работы установка должна быть отключена в строгом соответствии с указаниями, приведенными в данном методическом пособии.

Перед уходом студенты обязаны привести в порядок свое рабочее место и поставить в известность преподавателя об окончании работы.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА И ПОРЯДОК МОНТАЖА

Схема лабораторной установки для изучения процесса абсорбции на рис.1.

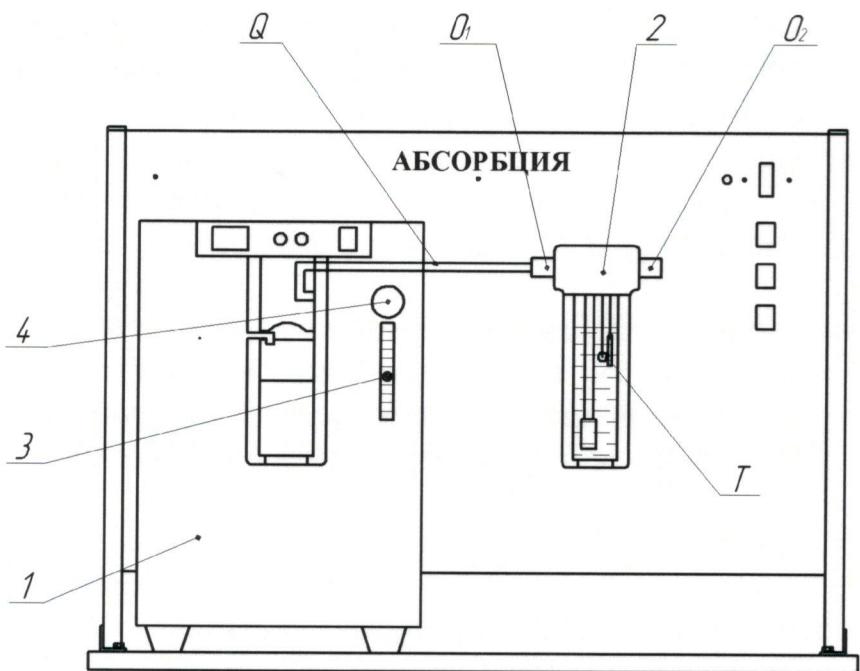


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки:

1 – концентратор кислорода, 2 – рабочая емкость, 3 – расходомер кислородной смеси, 4 – регулятор расхода кислородной смеси

Замеряемые параметры:

$O_1, O_2$  – датчики кислорода;

$Q$  – расход кислорода;

$T$  – температура внутри рабочей емкости.

Лабораторный стенд (оборудование) поставляется в собранном виде в транспортном варианте.

При распаковке необходимо аккуратно снимать упаковочную пленку, чтобы не повредить оборудование: соединительные шланги и элементы оборудования.

Для приведения стенд в рабочее состояние необходимо:

- подключить установку к электросети с напряжением 220В;
- залить воду в рабочую емкость, открутить нижнюю прозрачную часть и залить 2/3 объема очищенной воды.

## ЛР1. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ

**Цель работы:** изучение процесса абсорбции и экспериментальное определение коэффициента массопередачи и сравнение его значения с рассчитанным теоретически

### Задачи работы

1. Ознакомиться с процессом абсорбции.
2. Изучение процесса абсорбции и экспериментальное определение коэффициента массопередачи.
3. Определение предельной величины абсорбции при поглощении кислорода.
4. Работа с инструментами контроля состава газового потока на входе и выходе абсорбера.
5. Определение средней движущей силы абсорбции.
6. Определение рабочей линии процесса абсорбции.

### Основные сведения

Абсорбией называют процесс избирательного поглощения газа из смеси газов (или пара из парогазовой смеси) жидким поглотителем. В абсорбционных процессах участвуют две фазы – газовая и жидкая. При абсорбции происходит переход вещества из газовой фазы в жидкую. Обратный процесс называется десорбией. При этом происходит переход вещества из жидкой фазы в газовую. Все процессы массопередачи обратимы, т.е. в зависимости от условий, направление перехода распределяемого вещества может быть различным. Равновесие в процессах абсорбции определяет состояние, которое устанавливается при продолжительном соприкосновении фаз и зависит от состава одной из фаз, температуры, давления и термодинамических свойств компонента и поглотителя.

Для каждой конкретной системы газ-жидкость при определенной температуре и давлении существует строго определенная зависимость между равновесными концентрациями, т.е. каждому значению  $X$  соответствует строго определенное равновесное значение  $Y^*$  и эту связь можно представить в виде функции  $y^* = f(x)$ . Эта зависимость находится опытным путем. Для большего числа систем имеются данные в справочной литературе. Для разбавленных растворов хорошо растворимых газов равновесная зависимость  $y^* = f(x)$  хорошо описывается законом Генри, который имеет вид:

$$Y^* = m \cdot x,$$

где  $m$  – константа фазового равновесия, величина которой зависит от природы газа и жидкости и единиц, в которых выражены концентрации.

Ниже приведены значения коэффициентов абсорбции некоторых газов воде при различных температурах, характеризующие объемы газов

(приведенные к 0°C и 760 мм рт. ст.) поглощенные единицей объема жидкости при парциальном давлении 760 мм рт. ст. (табл. 1.1).

В табл.1.1 приведены данные по растворимости газов в воде в мл растворенного вещества на 100 г H<sub>2</sub>O при различных температурах и при их парциальном давлении, равном нормальному атмосферному давлению.

Таблица 1.1 – Значения коэффициентов абсорбции Бузена для разных газов при температурах от 0 до 25° С

№ п/п	Газ	Значения температуры, °С					
		0	5	10	15	20	25
1	Атмосферный азот (N <sub>2</sub> +1,185% Ar)	0,0235	0,0209	0,0186	0,0168	0,10154	0,0143
2	Окись азота	0,0738	0,0646	0,0571	0,0515	0,0471	0,0432
3	Аммиак*	87,5	77,1	67,9	59,7	52,5	46,2
4	Ацетилен	1,73	1,49	1,31	1,15	1,03	0,93
5	Водород	0,0215	0,0204	0,0195	0,0188	0,0182	0,0175
6	Кислород	0,0489	0,0429	0,0380	0,0341	0,0310	0,0283
7	Метан	0,0556	0,0480	0,0418	0,0369	0,0331	0,301
8	Сероводород	4,670	3,977	3,399	2,945	2,582	2,282
9	Двуокись углерода	1,713	1,424	1,194	1,019	0,878	0,759
10	Хлор	4,610	3,580	3,148	2,680	2,299	2,919

\* Для аммиака число граммов газа, поглощенных 100 г чистой воды при данной температуре и общем давлении, равном 760 мм рт. ст.

При расчете тарельчатого абсорбера расходы фаз по высоте аппарата принимают постоянными и выражают содержание поглощаемого газа в относительных мольных концентрациях. Обозначая G – расход инертного газа, кмоль/с; Y<sub>H</sub>, Y<sub>K</sub> - начальную и конечную концентрации инертного компонента в газовой смеси, кмоль/кмоль; через L – расход абсорбента, кмоль/с; его концентрации X<sub>H</sub> и X<sub>K</sub>, кмоль/кмоль уравнение материального баланса абсорбера можно записать как:

$$G(Y_H - Y_K) = L(X_K - X_H).$$

Выделим любое сечение в аппарате (рис. 1), например, 1-1, в котором имеются рабочие концентрации X и Y. Напишем материальный баланс для верхней части аппарата по распределляемому компоненту:

$$GY + LX_H = GY_K + LX.$$

Если исходный абсорбент не содержит распределяемый компонент ( $X_H = 0$ ), то  $Y = \frac{L}{G} X + Y_K$ .

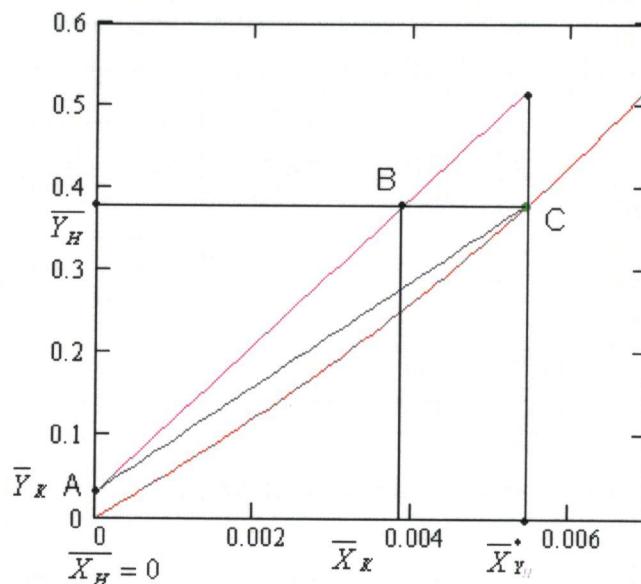


Рисунок 1.1 – График процесса абсорбции:

ОС – линия равновесия  $y^* = f(x)$ ; АВ – рабочая линия – прямая, проходящая через точки  $(Y_H, X_K)$  и  $(Y_K, X_H)$

Полученная зависимость называется уравнением рабочей линии. Это уравнение позволяет определить значение рабочей концентрации в любой точке аппарата. Так как  $G, L$  – величины постоянные для каждого конкретного случая, то это уравнение прямой линии и для ее построения необходимо всего две точки. Их можно взять вверху реактора В ( $X_H, Y_K$ ) и внизу колонны А ( $X_K, Y_H$ ).

*Разность между рабочей и равновесной концентрациями вещества в данной фазе называется движущей силой массопередачи  $\Delta Y = Y - Y^*$ . Она непрерывно меняется по высоте аппарата и в тех случаях, когда линия равновесия является прямой, движущая сила находится как средне логарифмическая величина движущих сил.*

$$\Delta Y_{cp} = \frac{\Delta Y_b - \Delta Y_m}{\ln \frac{\Delta Y_b}{\Delta Y_m}},$$

где  $\Delta Y_b$ ,  $\Delta Y_m$  – большая и меньшая разность рабочих и равновесных концентраций на концах аппарата.

Основное уравнение массопередачи для процесса абсорбции имеет вид

$$M = K_Y F \cdot \Delta Y_{cp},$$

где  $M$  – количество компонента, передаваемое через поверхность контакта фаз, кмоль/с;

$F$  – поверхность контакта фаз,  $m^2$ .

Так как поверхность контакта газа и жидкости зависит от скорости потока, физических свойств фаз, размеров и конструкции абсорбционного аппарата, то расчеты наиболее распространенных тарельчатых абсорбераов проводят по модифицированному уравнению массопередачи, в котором коэффициенты массопередачи относят к единице рабочей площади тарелки

$$M = K_{Yf} F \cdot \Delta Y_{cp},$$

где  $K_{Yf}$  – коэффициент массопередачи, отнесенный к единице площади тарелки, моль/м<sup>2</sup>;

$F$  – суммарная рабочая площадь тарелок в абсорбере, м<sup>2</sup>;

$$F = n \cdot f,$$

где  $f$  - рабочая площадь тарелки, м<sup>2</sup>;

$n$  - число тарелок в абсорбере.

### Описание и принцип работы лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 1) состоит из концентратора кислорода (1), рабочей емкости (2), датчиков кислорода ( $O_1$ ,  $O_2$ ).

В основе принципа работы концентратора кислорода лежит физическое разделение газов из смеси при комнатной температуре (рис. 1.2).

Комнатный воздух всасывается, сжимается и под давлением 4 атм проходит внутри концентратора через ряд фильтров и колонну с цеолитом, «молекулярное решето» алюминиевого силиката. Азот связывается с цеолитом, а кислород проходит сквозь него. При насыщении колонны азотом поток воздуха переключается на вторую. Первая вентилируется в атмосферу с удалением большей части азота. Оставшаяся часть азота вымывается небольшими дозами кислорода из второй колонны. Таким образом процесс регенерации колон происходит попеременно.

Таймер можно настроить следующим образом:

1. Пользователь может установить интервал времени от 1 до 99 минут.

2. Если время не установлено, таймер показывает «–», начинается подача кислорода и прибор работает без остановки.

3. Нажмите кнопку «+», время работы увеличится на 1 минуту, удерживайте кнопку более чем 2 секунды, время будет увеличиваться автоматически на необходимое количество минут. Также нажмите кнопку «–», время работы будет уменьшаться на 1 минуту, удерживайте кнопку более чем 2 секунды, время работы будет уменьшаться автоматически.

4. По истечении установленного времени аппарат выключится автоматически, время на дисплее будет показывать «00».

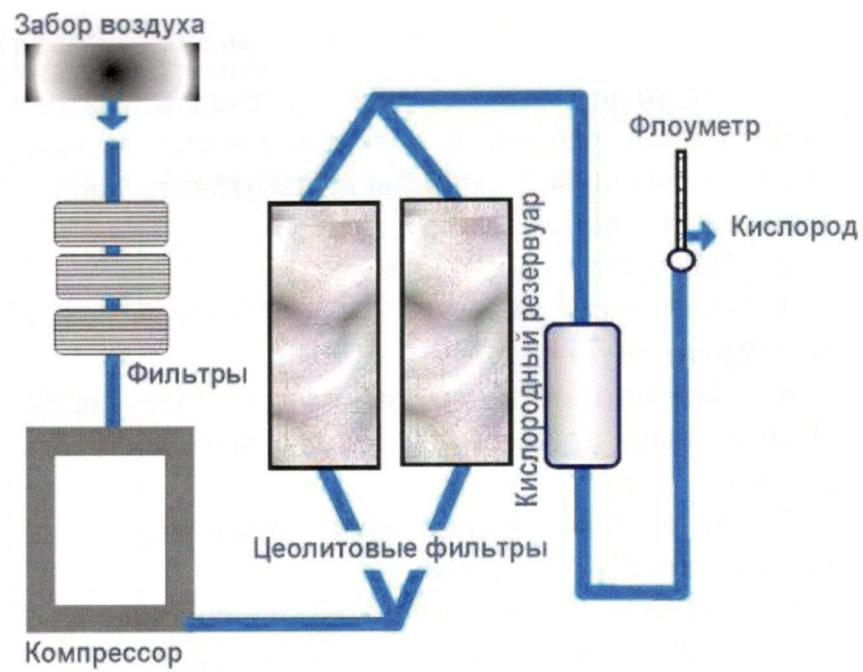


Рисунок 1.2 – Принцип работы концентратора кислорода

Концентратор кислорода содержит панель с дисплеем и таймером, регулятор расхода кислородной смеси (4) и расходомером (3).

Регулятор предназначен для установления подачи кислородной смеси, в которой количество кислорода зависит от расхода смеси (рис. 1.3).

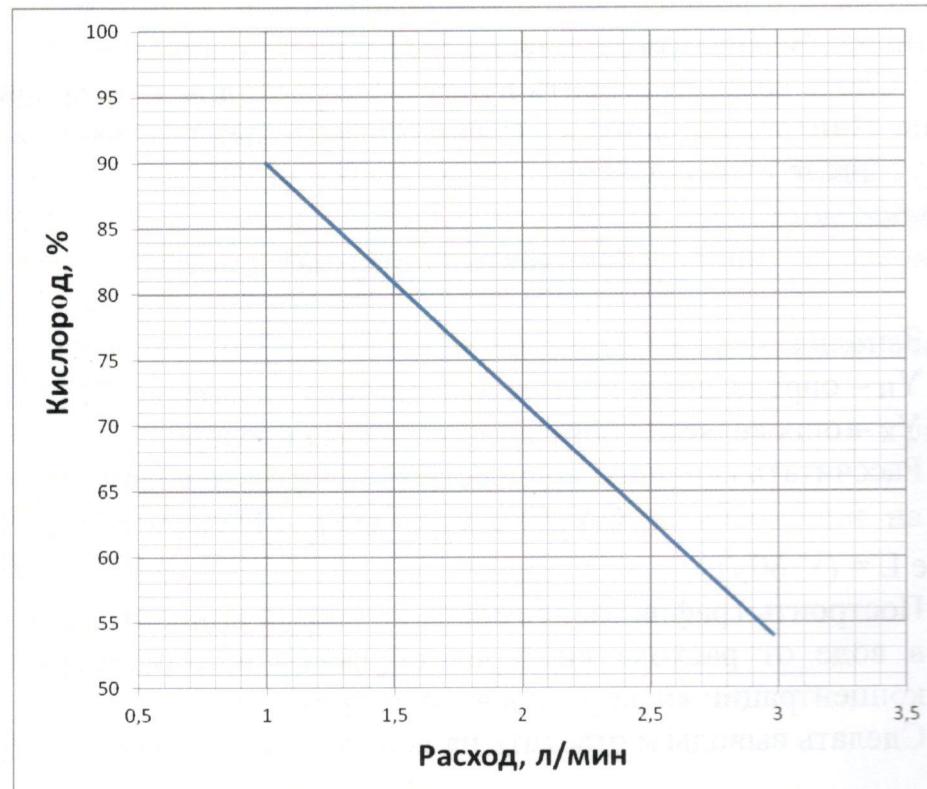


Рисунок 1.3 – Зависимость концентрации кислорода от расхода смеси

## **Порядок выполнения работы**

1. Изучить методические указания, заготовить форму отчета о проведенной работе, в которую внести название и цель работы, схему экспериментальной установки, заготовить табл. 2 для записи результатов измерений и вычислений.
2. Выкрутить рабочую емкость.
3. Наполнить рабочую емкость чистой водой на 2/3. **Не используйте водопроводную воду!**
4. Надежно закрутить рабочую емкость назад против часовой стрелки. Внимательно проверить и плотно зафиксировать все соединения рабочей емкости.
5. Включить лабораторную установку с помощью автоматического выключателя «Сеть 220В».
6. Включить компьютер и подсоединить USB шнур установки к компьютеру. Запустить программу «Абсорбция».
7. Включить кислородный концентратор кнопкой ВК1 на панели стенда и выключателем на самом приборе.
8. С помощью таймера установить время работы 10 минут и включить установку.
9. С помощью регулятора установить расход кислородной смеси **3 л/мин.**
10. Через каждую минуту снимать показания датчика содержания кислорода. Результаты внести в табл. 2.
11. После отключения открыть прозрачную дверцу на передней панели установки. Выкрутить рабочую емкость по часовой стрелке.
12. Слить воду. Повторить пункт 3-6 с расходом кислородной смеси **4 и 5 л/мин.** **Повторный запуск установки производить не менее чем через 5 минут после выключения.**

## **Обработка опытных данных**

1. Заполнить табл. 1.2.

$Y_H$  – определяется показанием датчика кислорода  $O_1$ , рис.1;

$Y_K$  – определяется показанием датчика кислорода  $O_2$ .

2. Рассчитать конечное количество кислорода в воде:

$$GY_H + LX_H = GY_K + LX_K,$$

где  $L = (V \cdot 60) / \tau$ .

3. Построить график зависимости конечной концентрации кислорода в воде от расхода кислородной смеси и зависимость конечной концентрации кислорода в воде от времени.

4. Сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

## **Форма отчетности**

1. Краткое описание работы установки.

2. Схема установки.
3. Результаты измерений и расчеты.
4. График зависимости конечной концентрации кислорода в воде.

Таблица 1.2 – Результаты измерений и вычислений

<b>№ п/п</b>	<b>G, м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>Y<sub>н</sub>,</b>	<b>V, м<sup>3</sup></b>	<b>t, °C</b>	<b>τ, мин</b>	<b>Y<sub>к</sub>,</b>	<b>X<sub>н</sub>,</b>	<b>L, м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>X<sub>к</sub>,</b>
1					0				
2					1				
3					2				
4					3				
5					4				
6					5				
7					6				
8					7				
9					8				
10					9				
11					10				

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение абсорбции.
2. В каких отраслях промышленности используется процесс абсорбции?
3. Укажите способы выражения состава фаз.
4. Запишите основные уравнения материального баланса процесса абсорбции, массоотдачи и массопередачи в изучаемом процессе.
5. Как проявляют себя в процессе абсорбции молекулярная и турбулентная диффузия?
6. Что является движущей силой процесса абсорбции и способы ее расчета?
7. Как определяется поверхность контакта фаз в различных абсорбционных установках?
8. Прокомментируйте изображение процесса абсорбции на фазовой диаграмме.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 3-е. В 2-х кн. / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 2002. –кн.1. - 400 с.: ил. -кн. 2. -368 с.: ил.
2. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. 9-е изд., пер. и доп. / К.Ф. Павлов, Н.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1981. - 560 с.
3. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов химической технологии: Учеб. пособие для вузов. / Под. ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова - 6-е изд., перераб. и доп. – Л: Химия, 1990. - 272 с.: ил.