

УДК 541.127:546.32-39

**КИНЕТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА
С РЕГЕНЕРАТИВНЫМ ПРОДУКТОМ НА МАТРИЦЕ РПК-П**

Д.С. Дворецкий, М.Ю. Плотников

*Кафедра «Технологическое оборудование и пищевые технологии»,
ГОУ ВПО «ТГТУ»; miketambov@gmail.com*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: диоксид углерода; кинетика; надпероксид калия; регенеративный продукт; степень превращения; уравнение сжимающейся сферы.

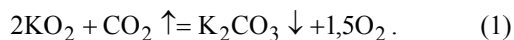
Аннотация: Исследована кинетика взаимодействия регенеративного продукта РПК-П на матрице с увлажненным диоксидом углерода. Определены константы скорости поглощения диоксида углерода и выделения кислорода в зависимости от условий проведения эксперимента.

Для поддержания состава воздушной смеси, пригодной для дыхания человека в замкнутом пространстве, используют системы химической регенерации воздуха. В качестве основного рабочего вещества в системах химической регенерации воздуха используют, как правило, регенеративный продукт на основе надпероксида калия.

Рассмотрим кинетику взаимодействия увлажненного диоксида углерода с регенеративным продуктом на матрице РПК-П в условиях максимально приближенных к использованию данного регенеративного продукта в коллективных средствах защиты.

Регенеративный продукт РПК-П [1, 2] представляет собой пластину (рис. 1), в которой кристаллический надпероксид калия закреплен на поверхности и в порах пористой матрицы из стекловолокна, таким образом, он имеет максимально развернутую поверхность, доступную (практически к каждому кристаллу надпероксида калия) к взаимодействию с парами воды и диоксидом углерода.

По данным [3] взаимодействие надпероксида калия с диоксидом углерода в присутствии водяных паров может быть представлено итоговым уравнением



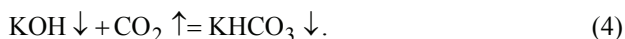
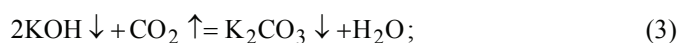
При этом первичной реакцией является взаимодействие KO_2 с водяным паром по уравнению



Затем идет образование карбоната или бикарбоната калия по уравнениям:



Рис. 1. Вид регенеративного продукта в виде пластины



Эксперименты по исследованию кинетики взаимодействия регенеративного продукта РПК-П с увлажненным диоксидом углерода проводили в герметичной камере. В камере устанавливали заданные параметры газовой среды (ГВС): температура, относительная влажность, начальная концентрация диоксида углерода. Во время экспериментов постоянно поддерживали: нагрузку по кислороду, температурно-влажностный режим в камере, расход газовой смеси.

Условия проведения экспериментов приведены в табл. 1.

Регенеративный продукт РПК-П крепили на фторопластовых лентах в виде гирлянд, которые закрепляли внутри гибкой оболочки, выполненной в виде рукавов из фторопластовой пленки Ф-4 МБ. Рукава разделены между собой сварным швом. В нижней части оболочки находится воздушный коллектор, соединяющий между собой рукава. На коллекторе расположен узел стыковки с побудителем расхода ГВС, в качестве которого выступает вентилятор ЭВ-15. Таким образом, ГВС, подаваемая побудителем расхода, проходит внутри рукавов между пластинами регенеративного продукта на матрице и выходит через верхний открытый торец оболочки. На верхнем торце оболочки также расположены ручки, необходимые для крепления в герметичной камере.

Началом эксперимента считали включение вентилятора, подающего ГВС из объема герметичной камеры внутрь оболочки. Объемные доли диоксида углерода и кислорода в камере контролировались газоанализаторами и регистрировались в протоколе каждые 15 мин.

Эксперимент заканчивали, когда концентрация диоксида углерода в герметичной камере достигала 1 %.

В результате были получены экспериментальные данные по концентрации диоксида углерода и кислорода в камере в зависимости от температурно-влажностных характеристик (рис. 2, 4). Количество поглощенного диоксида углерода рассчитывали по формуле

$$V_{\text{CO}_2}^{\text{погл}} = V_{\text{кам}} \left(\frac{C_{\text{CO}_2}^{\text{нач}} - C_{\text{CO}_2}^{\text{кон}}}{1000} \right) + Q_{\text{CO}_2} \tau, \quad (5)$$

где $V_{\text{кам}}$ – внутренний объем испытательной камеры, дм^3 ; $C_{\text{CO}_2}^{\text{кон}}$ и $C_{\text{CO}_2}^{\text{нач}}$ – объемные доли диоксида углерода в камере в конце и начале испытания соответственно, %; Q_{CO_2} – объемный расход дополнительной подачи диоксида углерода в камеру, $\text{дм}^3/\text{ч}$; τ – время испытания, ч.

Таблица 1

Условия проведения экспериментов

Параметр	Номер опыта	
	1	2
Начальная концентрация CO_2 , %	0,4	0,4
Поглощение O_2 из камеры, л/ч	112	112
Подача CO_2 в камеру, л/ч	100	100
Принудительная вентиляция, $\text{м}^3/\text{ч}$	20	20
Температура, $^{\circ}\text{C}$	20 ± 1	6 ± 1
Влажность, %	85 ± 10	85 ± 10
Объем камеры, дм^3	24000	24000
Масса регенеративного продукта, кг	3650,56	3628,28

Количество выделенного кислорода рассчитывали по формуле

$$V_{O_2}^{выд} = V_{кам} \left(\frac{C_{O_2}^{кон} - C_{O_2}^{нач}}{1000} \right) + Q_{O_2} \tau. \quad (6)$$

В работе [2] отмечалась высокая реакционная способность используемого регенеративного продукта к диоксиду углерода. С точки зрения теории гетерогенных реакций это можно объяснить тем фактом, что вся поверхность кристаллов на матрице покрыта активными центрами. Обработку экспериментальных данных проводили по уравнению «сжимающейся сферы» [4]

$$1 - (1 - x)^{1/3} = kt, \quad (7)$$

где x – степень превращения (в нашем случае степень поглощения диоксида углерода и степень выделения кислорода); t – время; k – константа скорости реакции.

Проведено сравнение степеней поглощения диоксида углерода и выделение кислорода, полученных экспериментально и рассчитанных по модели (рис. 3, 5).

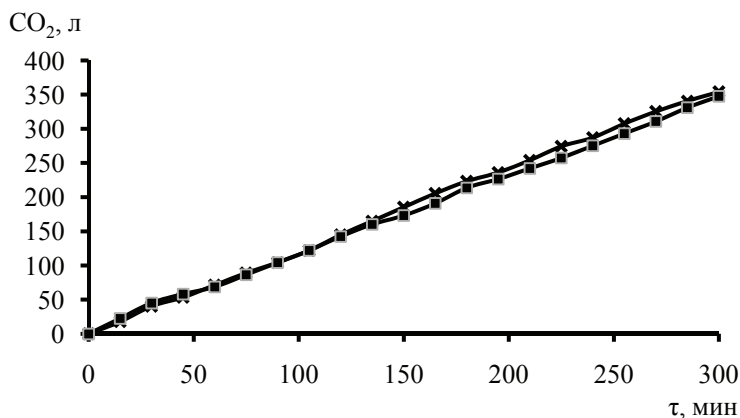


Рис. 2. Зависимость поглощения диоксида углерода от времени:
—×— опыт 1; —■— опыт 2

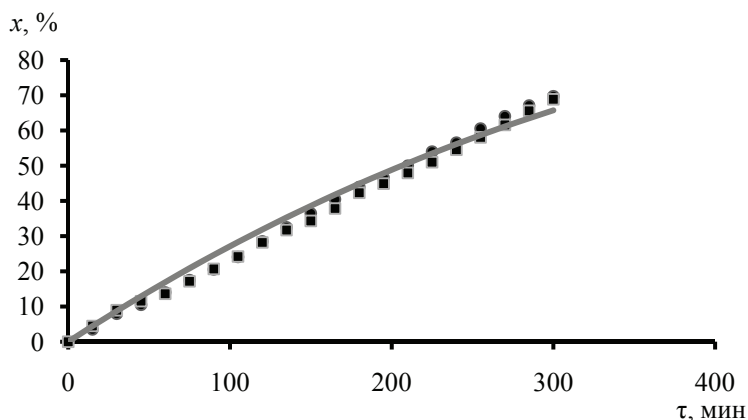


Рис. 3. Сравнение степеней поглощения диоксида углерода, полученных экспериментально и рассчитанной по модели:
● – опыт 1; ■ – опыт 2; — – расчет по модели

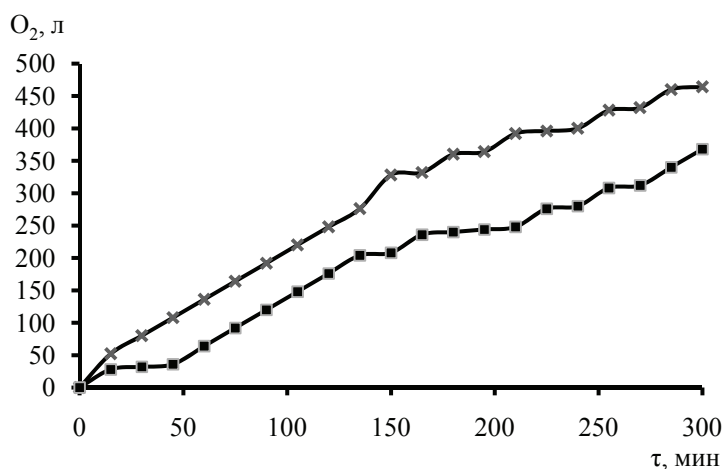


Рис. 4. Зависимость выделения кислорода от времени:

—x— — опыт 1; —■— — опыт 2

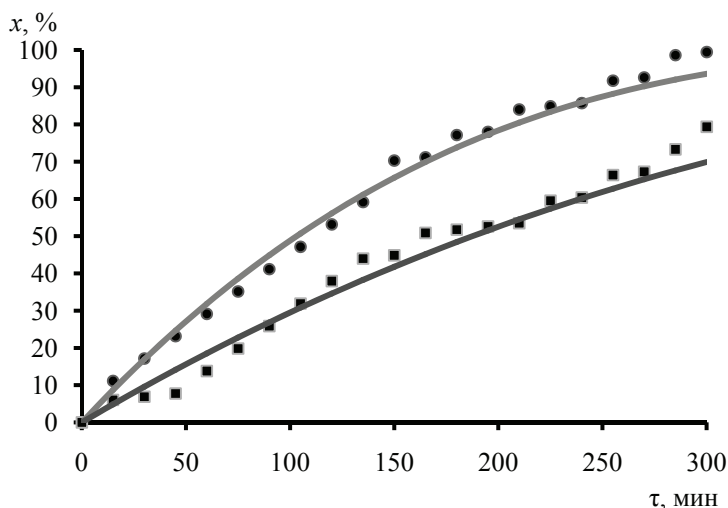


Рис. 5. Сравнение степеней выделения кислорода, полученных экспериментально и рассчитанных по модели:

● — опыт 1; ■ — опыт 2; — — расчет по модели (опыт 1);
— — расчет по модели (опыт 2)

Таблица 2

Константы скоростей поглощения диоксида углерода и выделения кислорода, рассчитанные по уравнению (7)

Номер опыта	k_{CO_2}, c^{-1}	k_{O_2}, c^{-1}
1	$0,001 \pm 8 \cdot 10^{-5}$	$0,002 \pm 8,8 \cdot 10^{-5}$
2	$0,001 \pm 7,9 \cdot 10^{-5}$	$0,001 \pm 1 \cdot 10^{-4}$

Рассчитанные по уравнению (7) константы скоростей поглощения диоксида углерода и выделения кислорода регенеративным продуктом на пористой матрице РПК-П при его работе представлены в табл. 2.

Выводы

Величины констант скоростей поглощения диоксида углерода регенеративным продуктом не зависят от условий проведения эксперимента и, в пределах ошибок опытов, согласуются с данными, полученными в работе [5], для условий с постоянной входной концентрацией диоксида углерода. Уравнение «сжимающейся сферы» (7) представляет собой кинетическую модель процесса работы регенеративного продукта на пористой матрице РПК-П для условий как с постоянной входной концентрацией диоксида углерода, так и при изменении ее во времени эксперимента.

Список литературы

1. Пат. 2225241 Российская Федерация, МПК А62D9/00. Регенеративный продукт и способ его получения / Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В., Глебова О.Н., Андреев В.П., Путин Б.В. ; заявитель : ФГУП «ТамбовНИХИ» ; патентообладатель : ОАО «Корпорация «Росхимзащита». – № 2002132800/15 ; заявл. 05.12.2002 ; опубл. 10.03.2004, Бюл. № 7. – 14 с.
2. Регенеративный продукт на стекловолоконистой матрице / Н.Ф. Гладышев [и др.] // Системы жизнеобеспечения как средство освоения человеком дальнего космоса : сб. тез. междунар. конф., г. Москва, 24–27 сентября 2008. – М., 2008. – С. 28–29.
3. Мельников, А.Х. Исследование взаимодействия надперекиси калия с водяным паром и углекислым газом / А.Х. Мельников, Т.П. Фирсова, А.Н. Молодина // Журн. неорганич. химии. – 1962. – Т. 7, № 6. – С. 1228– 1236.
4. Розовский, А.Я. Гетерогенные химические реакции. Кинетика и макрокинетика / А.Я. Розовский. – М. : Наука, 1980. – 185 с.
5. Кинетика взаимодействия диоксида углерода с надпероксидом калия / Н.Ф. Гладышев, [и др.] // Хим. физика. – 2007. – Т. 26, № 10. – С. 81–84.

Kinetics of Dioxide Carbon Interactions with the Regenerative Product on RPK-P Matrix

D.S. Dvoretzky, M.Yu. Plotnikov

*Department «Technological Equipment and Food Technologies»,
TSTU; miketambov@gmail.com*

Key words and phrases: dioxide carbon; equation of compressed sphere; kinetics; regenerative product; potassium superoxide; transformation degree.

Abstract: The kinetics of interactions of regenerative RPK-P product on a matrix with humidified dioxide carbon is investigated. The constants of speed of carbon dioxide absorption and oxygen allocation depending on conditions of the experiment are defined.

Kinetik des Zusammenwirkens des Kohlenstoffdioxides mit dem regenerativen Produktes auf der Matrix RPK-P

Zusammenfassung: Es ist die Kinetik des Zusammenwirkens des regenerativen Produktes RPK-P auf der Matrix mit dem gefeuchten Kohlenstoffdioxid untersucht. Es sind die Konstanten der Geschwindigkeit der Absorbierung des Kohlenstoffdioxides und der Aussonderung des Sauerstoffes je nach den Bedingungen der Durchführung des Experimentes bestimmt.

Cinétique de l'interaction du dioxyde de carbone avec le produit régénératif sur la matrice RPK-P

Résumé: Est étudiée la cinétique de l'interaction du produit régénératif RPK-P sur la matrice avec le dioxyde de carbone humidifié. Sont définies les constantes de la vitesse de l'absorption du dioxyde de carbone et du dégagement de l'oxygène en fonction des conditions de l'écoulement de l'expérience.

Авторы: *Дворецкий Дмитрий Станиславович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологическое оборудование и пищевые технологии»; *Плотников Михаил Юрьевич* – магистрант кафедры «Технологическое оборудование и пищевые технологии», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химическая инженерия», ГОУ ВПО «ТГТУ».
