

Сафаров М.М., Абдуназаров С.С., Назирмадов Д.

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА МАССООТДАЧИ  
КОБАЛЬТОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ГРАНУЛИРОВАННОЙ  
ПОРИСТОЙ ОКСИ АЛЮМИНИЯ**

*M.M. Safarov, S.S. Abdunazarov, D. Nazirmadov*

**THE RELATIONSHIP OF HEAT CAPACITY AND COEFFICIENT OF MASS  
TRANSFER COBALT CATALYSTS BASED ON GRANULAR POROUS ALUMINA**

УДК: 541.12.012.7.

В работе приводятся результаты экспериментального исследования коэффициента массоотдачи кобальтовых катализаторов при температуре 293К и давления 0,101МПа. Для определения коэффициента массоотдачи образцов необходимо знать разность массы образца и время выдержки катализатора в процессе увлажнения. Погрешность расчета коэффициента массоотдачи зависит от погрешности исходных данных, входящих в расчетную формулу. Общая относительная погрешность измерения коэффициента массоотдачи при доверительной вероятности  $\alpha=0,95$  равна 0,5%. Используя закон соответственных состояний и экспериментальных данных получено эмпирическое уравнение, позволяющее рассчитать коэффициент массоотдачи неисследованных систем.

**Ключевые слова:** коэффициент массоотдачи, теплоемкость, кобальтовые катализаторы.

*The paper presents the results of experimental-study of mass transfer coefficient cobalt tum catalysts at 293 K and a pressure 0,101 MPa. To determine the mass transfer coefficient of the samples is necessary to know the mass difference of the sample and the exposure time of the catalyst in the process of hydration. The error of calculation of the coefficient of mass transfer depends on the accuracy of source data included in a calculation formula. The total relative error of measurement of mass transfer coefficient at a confidence level  $\alpha=0.95$  is equal to 0.5%. Using the law of corresponding States and the experimental data obtained the empirical equation, allowing the races to read the coefficient of mass transfer unexplored systems.*

**Key words:** coefficient of mass transfer, heat capacity, cobalt catalysts.

**Основные характеристики исследуемых катализаторов**

Методом приготовления исследуемых кобальтовых катализаторов (независимо от природы металла) является одно – или многократная пропитка пористых носителей водным раствором солей, содержащих активный компонент–металл в данном случае кобальта. Пропитанные носители терм-обрабатывают на воздухе или в среде инертного газа с целью разложения нанесенных солей и подвергают

термообработке в водороде в процессе которой разложенные соли восстанавливаются до металлов [1-3]. Конечные температуры разложения и восстановления нанесенных солей обычно составляют 523–773К. Заключительной стадией приготовления катализаторов является пассивация восстановленного катализатора при температуре от 323К до комнатной азотом, содержащим не более 1% объемного кислорода. **Кобальтовые катализаторы** представляют собой диспергированный кобальт, распределенный на поверхности носителей СНД, СНГ – 2 или НА – 1. Катализаторы, в основном, повторяют пористую структуру носителей за исключением области микропор, в которой распределяется кобальт.

Механическая прочность катализаторов также определяется прочностью носителя. Кобальтовые катализаторы обладают наивысшей каталитической активностью в реакции разложения гидразина и используются в каталитических реакторах различных двигателей и газогенераторах в РТ.

Теплоемкость один из физических параметров, который различающий зависить от концентрации наполнителя т. е кобальт. Чем больше концентрации нано-наполнителя, тем меньше коэффициент теплоемкости.

В данной работе мы определили теплоемкость и коэффициент массоотдачи. Для исследования теплоемкости катализаторов нами использован метод регулярного теплового режима первого рода [4]. Для определения коэффициента массоотдачи нами разработана и собрана экспериментальная установка методом взвешивания [5]. После измерения массы образцов в сухом и влажном состоянии определим коэффициент массоотдачи по уравнению:

$$\beta = \frac{\Delta m}{t} \quad (1)$$

где  $\Delta m = m_2 - m_1$ – изменение увеличивающиеся массу относительно начальный, гр;  $m_2$  – изменение масса в период времени, гр;  $m_1$  – начальная масса, гр;  $t$  – время, час. В качестве увлажнителя катализаторов использована вода (паров воды).

Таблица 1. Коэффициент массоотдачи зависит от изменении массы засыпки имеющий цилиндрическую форму с размерами (0,82-1,25) мм в среде паров воды

t, час	m <sub>1</sub> , гр	Δm=(m <sub>2</sub> -m <sub>1</sub> ), гр				M <sub>вод</sub> , гр/мол	β · 10 <sup>-6</sup> гр/с			
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +11,44% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +15,7% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +19,43% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +25% Co		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +11,44% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +15,7% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +19,43% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +25% Co
0,5	0,5	0,513	0,510	0,508	0,506	18	7,2	5,5	4,4	3,3
1,0		0,519	0,515	0,513	0,510		5,2	4,1	3,6	2,7
1,5		0,525	0,520	0,517	0,514		4,6	3,7	3,1	2,5
2,0		0,530	0,525	0,520	0,517		4,1	3,4	2,7	2,3
2,5		0,535	0,529	0,524	0,521		3,8	3,2	2,6	2,3
3,0		0,539	0,533	0,528	0,524		3,6	3,0	2,5	2,2
3,5		0,543	0,536	0,531	0,527		3,4	2,8	2,4	2,1
4,0		0,546	0,540	0,535	0,530		3,1	2,7	2,4	2,0
4,5		0,548	0,542	0,537	0,533		2,9	2,5	2,2	2,0
5,0		0,550	0,544	0,539	0,535		2,7	2,4	2,1	1,9
5,5		0,551	0,546	0,540	0,537		2,5	2,3	2,0	1,8
6,0		0,552	0,547	0,542	0,539		2,4	2,1	1,9	1,8
6,5		0,553	0,548	0,543	0,540		2,2	2,0	1,8	1,7

Используя, значение таблицы 1, вычислим коэффициент массоотдачи исследуемых образцов (таблицу 2) в среде паров воды.

Таблица 2. Зависимость теплоемкости от коэффициента массоотдачи кобальтового катализатора (цилиндрическая форма) в среде паров воды

C <sub>p</sub> , Дж/кг·К			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +11,44% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +15,7% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +19,43% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +25% Co
919	874	846	826
β <sub>1</sub> · 10 <sup>-6</sup> гр/с			
7,2	5,5	4,4	3,3
5,2	4,1	3,6	2,7
4,6	3,7	3,1	2,5
4,1	3,4	2,7	2,3
3,8	3,2	2,6	2,3
3,6	3,0	2,5	2,2
3,4	2,8	2,4	2,1
3,1	2,7	2,4	2,0
2,9	2,5	2,2	2,0
2,7	2,4	2,1	1,9
2,5	2,3	2,0	1,8
2,4	2,1	1,9	1,8
2,2	2,0	1,8	1,7

Как видно, из таблицы 2, теплоемкость кобальтовых катализаторов зависит от концентрации нанокобальта. Используя из таблица 2 построим графику C<sub>p</sub> = f(β) (рисунок 1.).

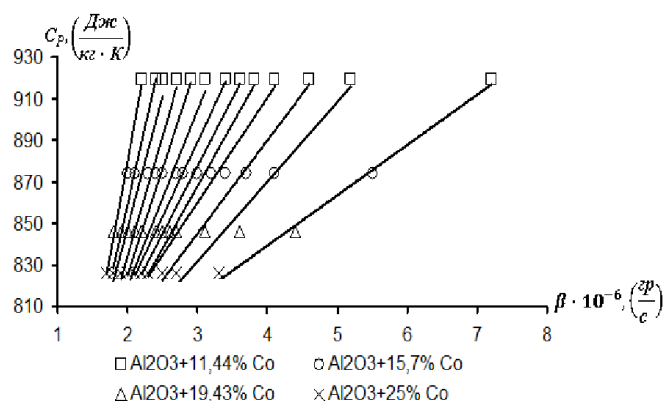


Рисунок 1. Корреляция теплоемкости и коэффициента массоотдачи кобальтовых катализаторов (цилиндрическая форма) в среде паров воды.

Согласно, рисунок 1, для 30 минут увлажнения катализатора выявим корреляцию между коэффициентами теплопроводности λ и коэффициентами массоотдачи β в среде паров воды. Для обработки прямые линии приведенный на рис.1., графоаналитическом методу принята C<sub>p1</sub> = const = 873 Дж/(кг·К) (табл.3.).

Далее для обобщение и обработки прямые линии приведенный на рисунке 1, используем следующие функциональные зависимости:

$$\frac{C_p}{C_{p1}} = f\left(\frac{\beta}{\beta_1}\right) \quad (2)$$

где, C<sub>p</sub>, C<sub>p1</sub> – коэффициент теплоемкости кобальтовых катализаторов на основе гранулированных пористой окиси алюминия (цилиндрической форма с размерами (0,85-1,25) мм) при различных коэффициент массоотдачи β и β<sub>1</sub>: C<sub>p1</sub> = const = 873 Дж/(кг·К).

Таблица 3. Теплоемкости кобальтового катализатора на основе гранулированной пористой окиси алюминия (цилиндрическая форма) в среде паров воды.

C <sub>p</sub> , Дж/(кг·К)				C <sub>p</sub> , Дж/(кг·К)	C <sub>p</sub> /C <sub>p1</sub>			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 11,44% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 15,7% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 19,43% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 25% Co		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 11,44% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 15,7% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 19,43% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 25% Co
919	874	846	826	873	1,052	1,001	0,969	0,946

Таблица 4. Результаты относительной коэффициент массоотдачи β/β<sub>1</sub> от время увлажнения в среде паров воды.

t, час	β·10 <sup>-6</sup> гр/с				β·10 <sup>-6</sup> гр/с	$\frac{\beta}{\beta_1}$			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 11,44% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 15,7% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 19,43% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 25% Co		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 11,44% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 15,7% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 19,43% Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 25% Co
0,5	7,2	5,5	4,4	3,3	5,375	1,339	1,023	0,818	0,613
1,0	5,2	4,1	3,6	2,7	4,075	1,276	1,006	0,883	0,662
1,5	4,6	3,7	3,1	2,5	3,620	1,270	1,022	0,856	0,690
2,0	4,1	3,4	2,7	2,3	3,280	1,250	1,036	0,823	0,701
2,5	3,8	3,2	2,6	2,3	3,100	1,225	1,032	0,838	0,742
3,0	3,6	3,0	2,5	2,2	2,940	1,224	1,020	0,850	0,748
3,5	3,4	2,8	2,4	2,1	2,780	1,223	1,007	0,863	0,755
4,0	3,1	2,7	2,4	2,0	2,620	1,183	1,030	0,916	0,763
4,5	2,9	2,5	2,2	2,0	2,480	1,169	1,008	0,887	0,806
5,0	2,7	2,4	2,1	1,9	2,340	1,153	1,025	0,897	0,811
5,5	2,5	2,3	2,0	1,8	2,210	1,131	1,040	0,904	0,814
6,0	2,4	2,1	1,9	1,8	2,090	1,148	1,004	0,909	0,861
6,5	2,2	2,0	1,8	1,7	1,970	1,116	1,015	0,913	0,862

Используя данные таблиц 3 и 4 построим график зависимости  $C_p/C_{p1} = f(\beta/\beta_1)$  (рисунок 2.).

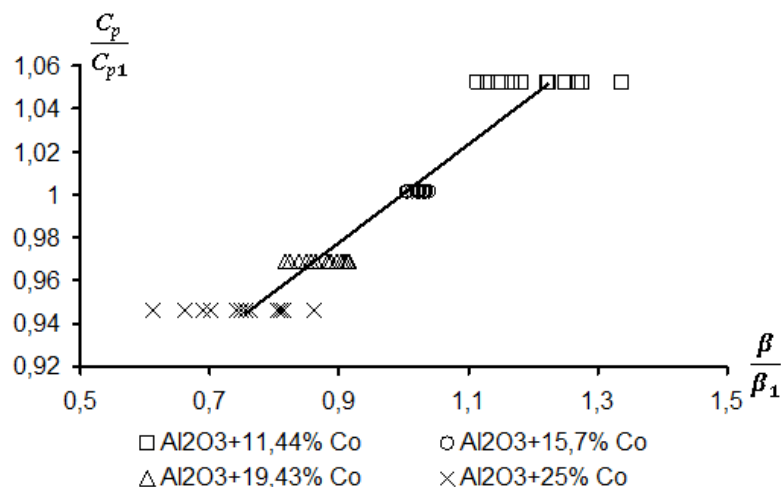


Рисунок 2. Зависимости относительной теплоемкости (C<sub>p</sub>/C<sub>p1</sub>) от относительного коэффициента массоотдачи (β/β<sub>1</sub>) кобальтовых катализаторов имеющих цилиндрическую форму, в среде паров воды.

Прямая линии приведенной на рисунке 2, описывается уравнением:

$$\frac{C_p}{C_{p1}} = \left( A \left( \frac{\beta}{\beta_1} \right) + B \right) \quad (3)$$

Из уравнение (3) получим:

$$C_p = \left( A \left( \frac{\beta}{\beta_1} \right) + B \right) \cdot C_{p1} \quad (4)$$

где C<sub>p1</sub> = 873 Дж/(кг К).

Анализ значения  $\beta_1$  показывает, что они являются функциями времени ( $t$ , час) (Рисунок 3.). Как видно, из рисунок 3, все значение  $\beta_1$  вложится вдоль общей кривой. Кривая линия показанная на рисунке 3., описывается уравнением:

$$\Gamma_1 = \{C(t)^2 - D \cdot t + E\}, \text{мол/гр} \quad (5)$$

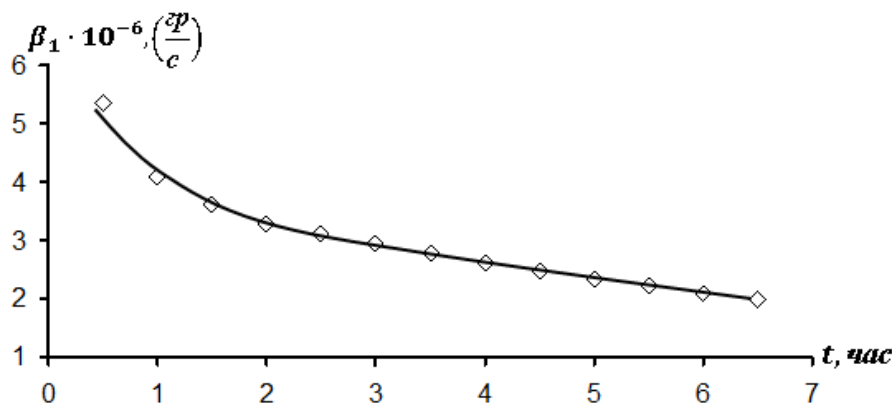


Рисунок 3. Зависимости  $\beta_1$  от  $t$  в среде паров воды для кобальтовых катализаторов имеющий цилиндрический форму (0,85-1,25 мм).

Из уравнение (4) и (5) получим:

$$C_p = \left[ A \left( \frac{\beta}{(C(t)^2 - D \cdot t + E)} \right) + B \right] C_{p1} \frac{Вт}{мК} \quad (6)$$

где  $A = 0,2269$ ;  $B = 0,7737$ ;  $C = 0,0918$ ;  $D = 1,0865$ ;  $E = 5,3472$ .

Уравнение (6) является корреляционные функции связывающие между теплоемкостью и коэффициентом массоотдачи кобальтовых катализаторов на основе гранулированной пористой окиси алюминия (цилиндрической форма диаметр равна 0,85-1,25 мм) в среде паров воды. Данный уравнения позволят рассчитать коэффициент теплоемкости неисследованных кобальтовых катализаторов на основе гранулированного пористого окиси алюминия. Для данного расчета необходимо иметь значение коэффициента массоотдачи кобальтовых катализаторов в среде паров воды время увлажнения.

#### Литература:

1. Кирсанов О.Н., Картавченко А.В. Физическая картина процесса гетеро-генного каталитического разложения жидкого однокомпонентного топлива (на примере гидразина).// Тр.ГИПХ.-1976.-Т.38.С.118-125.
2. Кирсанов О.Н., Картавченко А.В. и др. Исследование способов получения генераторного газа заданного состава при каталитического разложения гидразина.// Тр ГИПХ.-1978/-Т.52.-С.44-48.
3. Мухленов И.П., Дробкина Е.И., Дерюкина В.И., Солоко В.Е.Технология катализаторов. Л.: Химия, 1979.-325с.
4. Сафаров М.М. Теплофизических свойств гранулированной пористой окиси алюминия содержащей металлический наполнители в газовых средах. Дисс. .... к.т.н, Душанбе,1986,185с.
5. Сафаров М.М., Мирзомамадов А.Г., Абдуназаров С.С., Зарипова М.А. Адсорбционные свойства катализатора на основе гранулированного пористого окиса алюминия. Сборник тезисов докладов научной конференции «Актуальные проблемы современной науки» МИСи С, Душанбе, 2015.-С.79-80.

Рецензент: д.т.н., доцент Зарипова М.А.