

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОЦЕСС ПРОПИТКИ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ КОНВЕРСИИ МЕТАНА\***

**Н.А. Макрушин, В.Л. Гартман, О.В. Замуруев, А.Я. ВейнбENDER, А.В. Дульнев**

Николай Анатольевич Макрушин \*

Кафедра общей и неорганической химии Новомосковского института Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, ул. Дружбы, 8, Новомосковск, Тульская обл., Российская Федерация, 301650

E-mail: nmakrushin@gmail.com\*

Владимир Леонидович Гартман, Александр Яковлевич ВейнбENDER, Алексей Викторович Дульнев

ООО «НИАП - КАТАЛИЗАТОР», ул. Связи, 10, Новомосковск, Тульская обл., Российская Федерация, 301660

E-mail: vhart@yandex.ru, ajweinbender@yandex.ru, dulnev@niap-kt.ru

Олег Викторович Замуруев

ООО «Полипласт Новомосковск», Комсомольское шоссе, 72, Литера К-4, оф. 1, Новомосковск, Тульская обл., Российская Федерация, 301661

E-mail: zamuruev\_ov@polyplast-nm.ru

*Сравнивается влияние различных поверхностно-активных веществ на процесс пропитки корундового носителя растворами нитратов никеля и алюминия в конденсате, применяемый в производстве нанесенных катализаторов конверсии метана. Показано, что использование поверхностно-активных веществ для исключения «зависания» пропиточного раствора в слое носителя (катализатора или полупродукта при многократной пропитке) в отверстиях гранул, а также местах контакта гранул между собой и стенками аппарата является эффективным методом улучшения качества получаемого катализатора. Использование с этой целью синтанолов (оксигилированных спиртов, являющихся неионогенными поверхностно-активными веществами) по сравнению с диэтиламинол, поливиниловым спиртом и этиленгликолем позволяет существенно (на 3 порядка) снизить необходимое их содержание в растворе, что подтверждается многолетним производственным опытом. Подтверждена высокая эффективность синтанолов в снижении поверхностного натяжения раствора при его минимальных концентрациях. Приведены результаты спектральных исследований и квантовохимических расчетов взаимодействия молекул синтанолов с ионами никеля. Показано наличие межмолекулярного взаимодействия в растворе между молекулами поверхностно-активного вещества и ионами никеля, приводящее к связыванию части ионов в растворе. Применение синтанолов позволяет существенно снизить вероятность зауглероживания поверхности катализатора, в результате чего снижается его активность. Уменьшается в этом случае и вероятность возможного уноса части ионов металла с пропиточным раствором. Применение синтанолов в технологии с учетом его широкого использования в товарах санитарно-гигиенического назначения позволяет также уменьшить токсичность и взрывоопасность на рабочих местах внутри производственной зоны получения катализаторов конверсии метана.*

\* Посвящается памяти профессора Алексея Ивановича Ермакова

**Ключевые слова:** катализаторы конверсии метана, ионы никеля, поверхностно-активные вещества, синтанол, квантово-химические расчеты

## INFLUENCE OF SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES ON IMPREGNATION PROCESS IN PRODUCTION OF METHANE CONVERSION CATALYSTS\*

N.A. Makrushin, V.L. Gartman, O.V. Zamuruev, A.Ya. Weynbender, A.V. Dulnev

Nikolay A. Makrushin \*

Department of General and Inorganic Chemistry, Novomoskovsk Institute of the D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Druzhby st., 8, Novomoskovsk, Tula reg., 301650, Russia  
E-mail: nmakrushin@gmail.com\*

Vladimir L. Gartman, Aleksandr Ya. Weynbender, Alexey V. Dulnev

“NIAP-KATALIZATOR” LLC, Svyazi st., 10, Novomoskovsk, Tula reg., 301660, Russia  
E-mail: vhart@yandex.ru, ajweinbender@yandex.ru, dulnev@niap-kt.ru

Oleg V. Zamuruev

“Polyplast Novomoskovsk” LLC, Komsomolskoye shosse, 72, Litera K-4, office 1, Novomoskovsk, Tula reg., 301661, Russia  
E-mail: zamuruev\_ov@polyplast-nm.ru

*The effect of various surfactants on the corundum carrier impregnation process using solutions of nickel and aluminum nitrates in steam condensate used in the production of supported methane steam reforming catalysts is compared. It has been shown that the use of surfactants to eliminate the “hang” of the impregnating solution in the carrier layer (catalyst or intermediate with multiple impregnation) in the holes of the granules, as well as in the contact points of the granules between themselves and the walls of the apparatus is an effective method of improving the quality of the resulting catalyst. Using for this purpose, synthanols (ethoxylated alcohols, which are non-ionic surfactants), compared with diethylamine, polyvinyl alcohol and ethylene glycol, can significantly (by 3 orders of magnitude) reduce their required content in solution, which is confirmed by many years of production experience. The high efficiency of synthanol in reducing the surface tension of the solution at its minimum concentrations was confirmed. The results of spectral studies and quantum-chemical calculations of the synthanols molecules interaction with nickel ions are presented. The presence of intermolecular interaction in the solution between the surfactant molecules and nickel ions, leading to the binding of some of the ions in the solution, is shown. The use of synthanol can significantly reduce the chance of the catalyst surface carbonization that decreases its activity. Also the probability of possible some metal ions entrainment with the impregnating solution decreases. The use of synthanol, taking into account its widespread use in sanitary goods and hygiene products, also allows reducing toxicity and explosion hazard at workplaces inside the methane conversion catalysts production area.*

**Key words:** methane steam reforming catalyst, nickel ion, surfactant, synthanol, quantum chemical calculations

### Для цитирования:

Макрушин Н.А., Гартман В.Л., Замуруев О.В., ВейнбENDER А.Я., Дульнев А.В. Влияние поверхностно-активных веществ на процесс пропитки в производстве катализаторов конверсии метана. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 8. С. 66–72

### For citation:

Makrushin N.A., Gartman V.L., Zamuruev O.V., Weynbender A.Ya., Dulnev A.V. Influence of surface-active substances on impregnation process in production of methane conversion catalysts. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 8. P. 66–72

---

\* Dedicated to the memory of Professor Alexei I. Ermakov

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее распространенных вариантов получения нанесенных катализаторов в настоящее время является погружение носителей в растворы солей. Такой метод обладает следующими преимуществами: однородностью состава получаемых катализаторов, возможностью организации выпуска продукции в больших объемах, простотой аппаратного оформления [1].

Метод имеет и недостатки: «зависание» раствора в слое носителя (катализатора или полупродукта при многократной пропитке) в местах контакта гранул между собой и стенками аппарата, что наблюдается при получении катализатора конверсии метана пропиткой корундовых носителей растворами нитратов никеля и алюминия [2]. Это приводит к увеличению времени стекания раствора, неоднородному составу на геометрической поверхности катализатора, забиванию отверстий гранул оксидами, ухудшению товарного вида катализатора, потерям компонентов раствора.

Для устранения указанной проблемы применялась продувка слоя гранул носителя потоком воздуха после слива пропиточного раствора, что не снимало проблему полностью, и для ликвидации ее последствий применялись дополнительные операции, в частности, окатывание гранул катализатора. Поэтому был использован другой вариант – повышение полноты стекания раствора с гранул путем снижения поверхностного натяжения пропиточного раствора введением в него поверхностно-активного вещества (ПАВ). Для этого было изучено влияние ряда органических веществ (поливиниловый спирт, этиленгликоль, диэтиламин и др.) с невысокой поверхностной активностью на полноту стекания раствора с гранул катализатора [2]. Наиболее удачный результат был получен в случае этиленгликоля: количество зависающего раствора уменьшилось почти в два раза. Изменений в работе катализатора, полученного с применением указанного вещества, не обнаружено. Вместе с тем при использовании конкретных ПАВ для снижения поверхностного натяжения пропиточного раствора остаются нерешенными следующие вопросы:

- Можно ли еще уменьшить концентрацию ПАВ для снижения опасности зауглероживания поверхности катализатора?

- Существует ли вероятность уноса ионов металлов, нанесенных при предыдущих пропитках, с поверхности носителя молекулами ПАВ при образовании между ними устойчивых комплексных соединений?

Решение поставленных вопросов поможет решить ряд технологических проблем, связанных с зауглероживанием поверхности катализатора и повышенным расходом соли никеля вследствие возможного уноса части ионов металла с пропиточным раствором, а также уменьшением токсичности и взрывоопасности внутри производственной зоны.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

При моделировании процесса получения катализатора конверсии метана НИАП-03-01 в настоящей работе для получения заданного содержания в нем оксида никеля корундовый носитель ТУ 2163-003-07620772-2006 подвергался трехкратной пропитке водным раствором нитрата никеля (никель азотнокислый, 6-водный, ГОСТ 4055-78, марка «ч») в присутствии ПАВ. Пропитка носителя осуществлялась в реакторе водным раствором нитрата никеля (плотность 1,48-1,50 г/см<sup>3</sup> при 20 °С) с последующей сушкой при температурах (120-210) °С для удаления физической воды и прокалкой при температурах (250-450) °С для разложения нитратов.

В качестве ПАВ в пропиточных растворах использовались:

- гидрофобизирующая композиция катионных ПАВ – Дон-96В (ТУ 2458-005-04706205-2004), активной составляющей которой являются катионоактивные производные типа четвертичных аммониевых соединений на основе высших жирных кислот;

- поливиниловый спирт (ПВС), ГОСТ 10779-78 марка 16/1;

- этиленгликоль (этандиол-1,2) ГОСТ 19710-83, сорт – высший;

- синтанолы марок АЛМ-2 и АЛМ-7 – смеси полиоксиэтиленгликолевых эфиров синтетических первичных высших жирных спиртов фракции C<sub>12</sub>-C<sub>14</sub> (ТУ 2483-076-05015207-2002 и ТУ 2483-005-71150986-2012, соответственно).

Спектры поглощения анализируемых образцов регистрировали на UV/VIS спектрометре Lambda 25 (Perkin Elmer), в интервале длин волн 190-500 нм с шагом 0,01 нм относительно дистиллированной воды (толщина кюветы  $l = 1$  см). Концентрации исследуемых водных растворов, мг/мл: Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O – 1,7; синтанол – 1,0.

Для теоретической оценки межмолекулярного взаимодействия между ионами Ni<sup>2+</sup> и молекулами синтанолола были выполнены соответствующие квантовохимические расчеты в неэмпирическом базисе HF/STO-6-31G\*\* [3-5]. При этом

учитывались те взаимодействия, значения энергий которых выше энергий взаимодействия молекул воды между собой, и тот факт, что величина энергии ион-дипольного взаимодействия для ионов в водном растворе сравнима с энергией теплового движения (кТ) или превышает его [6].

Величину поверхностного натяжения определяли методом максимального давления в пузырьке [7].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении влияния различных ПАВ на процесс пропитки было установлено, что для третичных аминов (Дон-96В) наблюдается снижение содержания NiO в катализаторе с увеличением концентрации ПАВ. В случае использования в качестве ПАВ поливинилового спирта (ПВС) получено, что от температуры прокалики содержание NiO зависит слабо и бессистемно. Увеличение температуры пропитки до 90 °С резко повышает прирост содержания NiO в катализаторе. При температурах пропитки 60-70°С содержание NiO в катализаторе после 3-й пропитки перестает зависеть от содержания ПВС в пропиточном растворе, когда оно превышает 0,25 г·л<sup>-1</sup>.

С целью снижения содержания ПАВ в пропиточном растворе в работе использовались синтанолы – промышленные ПАВ с высокими смачивающими и эмульгирующими свойствами, широкое практическое использование которых общеизвестно [8]. В водных растворах синтанол обеспечивает мгновенное диспергирование без механического воздействия, поэтому его удобно использовать в процессе производства нанесенных катализаторов. Наиболее часто используются синтанолы марок АЛМ и ДС [9-11]. Синтанол АЛМ – с общей формулой C<sub>n</sub>H<sub>(2n+1)</sub>O(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)<sub>m</sub>, где n = 10-13 – длина углеродной цепи, m = 7-10 – степень этоксилирования. В работе для снижения поверхностного натяжения в пропиточный раствор добавлялся синтанол марки АЛМ-7.

На рис. 1 приведены зависимости содержания NiO от концентрации синтанола в пропиточном растворе. Максимумы при низких значениях содержания ПАВ получены пропиткой горячих гранул (90 °С) холодным раствором. Экспериментальным путем установлено, что 100%-ное смачивание достигается при концентрации синтанола в растворе в количестве 1,5 г·л<sup>-1</sup>. В то же время, при разработке промышленной технологии оказалось, что для получения качественных катализаторов в раствор достаточно добавить синтанол в десятикратной меньшей концентрации – не

более 0,15 г·л<sup>-1</sup> (рис. 1). В результате обработки технологии на промышленном оборудовании его содержание было снижено до 6,3·10<sup>-3</sup> г·л<sup>-1</sup>.

Иными словами, массовая доля синтанола, необходимая для получения требуемого результата, в 700 раз меньше таковой для этиленгликоля (0,3% [2]). Следует также учитывать токсичность и взрывоопасность этиленгликоля [12], в отличие от синтанола, поскольку он широко используется в товарах санитарно-гигиенического назначения [13].

Для оценки эффективности ПАВ в рассматриваемом процессе были измерены значения поверхностного натяжения пропиточных растворов с добавлением следующих веществ (табл. 1).

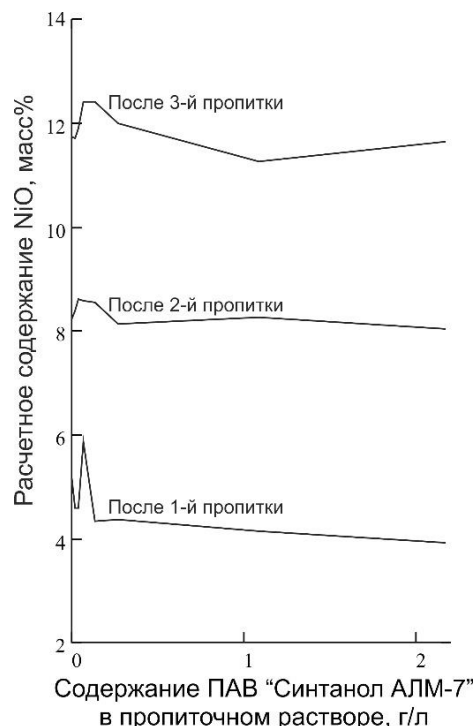


Рис. 1. Зависимости содержания NiO в катализаторе на корундовом носителе от содержания ПАВ «Синтанол АЛМ-7» в пропиточном растворе (масс%)

Fig. 1. The dependencies of the NiO content in the catalyst on a corundum carrier on the content of the surfactant "Synthanol ALM-7" in the impregnating solution (wt%)

Таблица 1

#### Значения поверхностного натяжения пропиточного раствора с добавлением ПАВ (0,3 мас%)

Table 1. The values of the surface tension of the impregnating solution with the addition of surfactant (0.3 wt%)

№ п/п	Состав раствора	Поверхностное натяжение, мДж/м <sup>2</sup>
1	Исходный раствор	70,97
2	Исходный раствор + ПВС	69,60
3	Исходный раствор + этиленгликоль	66,86
4	Исходный раствор + синтанол АЛМ-7	43,29

Из представленных данных следует, что величина поверхностного натяжения раствора с синтанолом существенно ниже, чем для растворов с другими ПАВ. Это подтверждает изложенное выше предположение о высокой эффективности синтанола в снижении поверхностного натяжения раствора при минимальных концентрациях данного ПАВ.

Недостатком способа снижения поверхностного натяжения пропиточного раствора путем введения в него ПАВ является наличие взаимодействия в растворе между молекулами синтанола и ионами  $Ni^{2+}$ , приводящее к связыванию части ионов в растворе. Этим можно объяснить уменьшение содержания  $NiO$  на поверхности катализатора при увеличении концентрации синтанола в растворе (рис. 1).

С целью экспериментального установления факта такого взаимодействия были записаны ультрафиолетовые спектры синтанолов марок АЛМ-2 и АЛМ-7 в диапазоне 190-800 нм. Результаты показывают, что для индивидуальных синтанолов заметное диффузное поглощение излучения наблюдается лишь в коротковолновой области спектра с максимумом в области 230 нм.

Известно, что ионы никеля (II) в водном растворе поглощают излучение в спектральной области 200-800 нм [14, 15]. При этом в спектрах выделяют четыре основные полосы поглощения с максимумами в областях около 240, 300, 390 и 720 нм. В полученных нами УФ-спектрах водного раствора  $Ni^{2+}$  (рис. 2, кр. 1) и этого же раствора с добавлением в него синтанола (рис. 2, кр. 2) также наблюдаются указанные полосы, причем наиболее информативными являются вторая и третья полосы поглощения.

Как следует из рис. 2, добавление к раствору нитрата никеля синтанола АЛМ-2 приводит к смещению максимумов спектральных полос с 301,8 до 298,6 нм и с 393,9 до 389,2 нм, соответственно. Аналогичным образом смещаются и максимумы двух оставшихся полос: коротковолновой с 239,2 до 239,0 нм и длинноволновой с 720,5 до 720,0 нм, но величина смещения при этом значительно меньше. Такой характер изменения полос

поглощения, очевидно, связан со взаимодействием в растворе гидратированных ионов  $Ni^{2+}$  с молекулами синтанола, что соответствует результатам аналогичных исследований для этилендиаминовых и оксалатных комплексов  $Ni^{2+}$  [16]. Характер изменения спектральных полос для водного раствора нитрата никеля и синтанола АЛМ-7 аналогичен предыдущей системе.

По результатам проведенных расчетов при взаимодействии молекулы синтанола с ионом  $Ni^{2+}$  ее структура [17], состоящая из фибриллярной (углеводородный радикал  $C_{10}H_{21}$ ) и глобулярной (оксигетилированный фрагмент  $(C_2H_4O)_{10}OH$ ) частей, существенно изменяется. Ион располагается на расстоянии 180-190 пм от атомов кислорода, образующих почти правильный тетраэдр. Известно, что образование комплексных соединений  $Ni^{2+}$  с органическими лигандами тетраэдрического и квадратного строения может быть связано как с низким по симметрии полем лигандов для расщепления d-орбиталей, так и стерическими затруднениями [18].

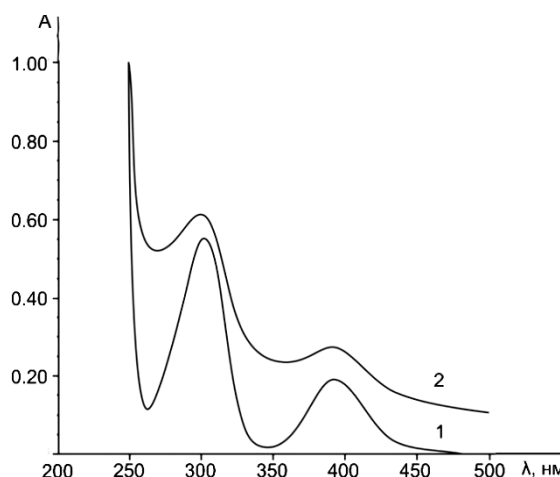


Рис. 2. УФ спектры водного раствора  $Ni^{2+}$  (1) и этого раствора с добавлением синтанола (2)

Fig. 2. UV spectra of  $Ni^{2+}$  aqueous solution (1) and of this solution after the synthanol addition (2)

Изменение строения молекул синтанолов при их взаимодействии с ионами  $Ni^{2+}$  показано значениями соответствующих дескрипторов (табл. 2) на границе между глобулярной и фибриллярной

Таблица 2

Некоторые дескрипторы молекул синтанолов и их ассоциатов с ионами  $Ni^{2+}$ , рассчитанные методом HF/6-31G\*\*

Table 2. Some descriptors of synthanols molecules and their associations with  $Ni^{2+}$  ions, calculated by the HF / 6-31G\*\* method

№ пп	Наименование	ВЗМО, эВ	НСМО, эВ	$\Delta_{НСМО-ВЗМО}$ , эВ	Длина связи, пм		Валентный угол, град		
					$C_{Г-O_1}$	$O_1-C_{Ф}$	$CC_{Г}O_1$	$C_{Г}O_1C_{Ф}$	$O_1C_{Г}C_{Ф}$
1	АЛМ-2	-10,43	5,99	16,42	1,43	1,45	112,4	116,4	110,8
2	$[АЛМ-2...Ni]^{2+}$	-17,72	-5,01	12,71	1,47	1,50	105,5	118,1	112,3
3	АЛМ-7	-10,32	6,13	16,45	1,40	1,40	108,8	115,2	108,8
4	$[АЛМ-7...Ni]^{2+}$	-14,54	-1,53	13,01	1,41	1,43	109,5	114,5	109,7

частями молекулы ( $C_{Г-O_1-C_{Ф}}$ ) и группе  $C-O-H$  в окончании глобулярной части молекулы. Также существенно увеличиваются длина (на 220 пм) и ширина (на 350 пм) молекулы по сравнению с системой, в которой вместо иона  $Ni^{2+}$  участвует ион  $Sn^{2+}$  [17]. Это указывает на чувствительность структуры молекулы к природе частицы, координирующейся в ее глобулярной части. Для ионов  $Sn^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  это можно объяснить их поляризующим действием (табл. 3), поскольку радиус иона  $Sn^{2+}$  почти в 1,5 раза больше, чем  $Ni^{2+}$  [19].

Полученные данные согласуются с [20], где методом протонной магнитной релаксации установлено, что молекулы органических спиртов входят в первую координационную сферу  $Ni^{2+}$  даже в разбавленных растворах, что указывает на их высокую химическую активность по отношению к никелю.

Таблица 3

Значения поляризующего действия ионов ( $z \cdot r_{\text{ион}}^{-1}$ ) и энергий образования ( $\Delta E$ ) ассоциатов с молекулой синтанола (АЛМ-2) для ионов  $Ni^{2+}$  и  $Sn^{2+}$

Table 3. Values of the ions polarizing effect ( $z \cdot r_{\text{ион}}^{-1}$ ) and the formation energies ( $\Delta E$ ) of associates with the synthanol molecule (ALM-2) for  $Ni^{2+}$  and  $Sn^{2+}$  ions

№ п/п	Ион	$r_{\text{ион}}, \text{пм}$	$z \cdot r_{\text{ион}}^{-1} \cdot 10^{-2}$	$-\Delta E, \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$
1	$Ni^{2+}$	74	2,70	4369
2	$Sn^{2+}$	102	1,96	2153

При адсорбции макромолекул гомополимеров установление равновесия протекает достаточно медленно [21] по причине длительного во времени процесса их диффузии к поверхности. Следовательно, основная часть молекул ПАВ, ассоциированных с ионами  $Ni^{2+}$  в виде активного адсорбированного комплекса, находится в растворе. После окончания пропитки носителя (катализатора) ионы  $Ni^{2+}$  в составе указанного комплекса уносятся вместе с раствором. Очевидно, что, чем ниже концентрация ПАВ в растворе, тем меньше

и потери ионов  $Ni^{2+}$ . Тогда, в соответствии с изложенным выше, применение в качестве ПАВ синтанола позволяет по сравнению с этиленгликолем уменьшить потери ионов металла примерно в 700 раз.

Повышенное содержание ПАВ может привести к образованию углерода на поверхности катализатора, который частично блокирует активную поверхность, что приводит к снижению его активности [2]. Минимальное количество синтанола (0,00042 мас.%) позволяет избежать закоксовывания поверхности катализатора и способствовать решению глобальных проблем, связанных с защитой окружающей среды [22].

По технологии с использованием синтанола АЛМ-7 катализаторы конверсии углеводородов (НИАП-03-01, НИАП-03-01Б, К-905D1, НИАП-04-02) производятся катализаторным производством ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР» [23] с 2010 г. К настоящему времени около 600 т таких катализаторов загружено на 18 установках 9 российских и зарубежных предприятий, среди которых: филиал «Азот» АО «ОХК «УРАЛХИМ»; АО «НАК «Азот»; ООО «Газпром нефтехим Салават»; ПАО «Куйбышев Азот»; ОАО «Fargona-azot», г. Фергана; ОАО «Нафтан», г. Новополюцк; ТОО «КазАзот», г. Актау и другие.

## ВЫВОДЫ

Использование синтанолов для снижения поверхностного натяжения пропиточного раствора значительно эффективнее других изученных добавок.

Применение синтанола в пропиточном растворе процесса получения катализатора конверсии метана позволяет существенно снизить вероятность зауглероживания поверхности катализатора и потери ионов никеля с раствором.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-03-00194.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мухленов И.П. Технология катализаторов. Л.: Химия. 1979. С. 138 – 147. DOI: 10.2307/3964428.
2. Дульнев А.В., Обысов А.В., Головков В.И., Соколов С.М., Левтринская Н.А. Исследование процесса получения катализатора конверсии метана на новом сферическом перфорированном носителе и оптимизация его производства. *Газохимия*. 2008. № 3 (2). С. 82–89.
3. Ермаков А.И. Квантовая механика и квантовая химия. М.: Юрайт. 2010. 555 с.
4. Поletaeva O.Yu., Kolchina G.Yu., Leontev A.Yu., Babayev E.R., Movsumzade E.M., Khasanov I.I. Геометрическое и электронное строение компонентов тяжелых высоковязких нефтей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 9. С. 40–45.

## REFERENCES

1. Mukhlyonov I.P. Catalyst Technology. L.: Khimiya. 1979. 328 p. (in Russian). DOI: 10.2307/3964428.
2. Dulnev A.V., Obysov A.V., Golovkov V.I., Sokolov S.M., Levtrinskaya N.A. The study of the methane steam reforming catalyst producing process on a new spherical perforated carrier and its production optimizing. *Gazokhimiya*. 2008. N 3(2). P. 82–89 (in Russian).
3. Ermakov A.I. Quantum mechanics and quantum chemistry. M.: Yurait. 2010. 555 p. (in Russian).
4. Poletaeva O.Yu., Kolchina G.Yu., Leontev A.Yu., Babayev E.R., Movsumzade E.M., Khasanov I.I. Geometric and electronic structure of heavy highly viscous oil components. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 9. P. 40–45. DOI: 10.6060/ivkkt.20196209.6022.

5. **Калмыков П.А., Лысенко А.А., Магдалинова Н.А., Клюев М.В.** Квантово-химическое моделирование адсорбции тетрахлорметана и продуктов его гидродеchlorирования на поверхности кластеров палладия. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 4. С. 95–102.
6. **Израелашвили Д.** Межмолекулярные и поверхностные силы. М.: Научный мир. 2011. С. 50.
7. **Назаров В.В., Гродский А.С., Моргунов А.Ф., Шабанова Н.А., Кривошепов А.Ф., Колосов А.Ю.** Практикум и задачник по коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: ИКЦ «Академкнига». 2007. С. 20 – 22.
8. **Шенфельд Н.** Поверхностно-активные вещества на основе оксида этилена. М.: Химия. 1982. 752 с.
9. **Аверин Е.В., Смирнов К.Н., Григорян Н.С., Харламов В.И.** Совершенствование процесса электроосаждения олова из кислых электролитов. *Успехи в химии и хим. технологии*. 2007. Т. XXI. № 9 (77). С. 61–63.
10. **Медведев Г.И., Макрушин Н.А., Дубенков А.Н.** Электроосаждение сплава олово – висмут из сульфатного электролита с органическими добавками. *Защита металлов*. 2003. Т. 39. № 4. С. 424–427. DOI: 10.1023/A:1024907817538.
11. **Медведев Г.И., Макрушин Н.А.** Электроосаждение блестящих покрытий олова из сульфатных электролитов с органическими добавками. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2009. Т. 52. Вып. 12. С. 16–20.
12. **Лазарев Н.В., Левина Э.Н.** Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров, врачей. Т. 1. Органические вещества. Л.: Химия. 1976. 592 с.
13. **Бочаров В.В.** О биоразлагаемости этоксилатов высших жирных спиртов различного происхождения. *Бытовая химия*. 2006. № 23. С. 22.
14. **Ершов Б.Г.** Наночастицы металлов в водных растворах: электронные, оптические и каталитические свойства. *Рос. хим. ж.* 2001. Т. XLV. № 3. С. 20 – 30.
15. **Гафуров М.М., Атаев М.Б., Алиев А.Р., Ларин С.В.** Влияние высоковольтного импульсного электрического разряда на спектры поглощения водных растворов солей переходных металлов в видимой и ультрафиолетовой области. *Журн. структ. химии*. 2007. Т. 48. № 1. С. 105 – 107. DOI: 10.1007/s10947-007-0015-y
16. **Гуленина К.А., Шляхова М.А., Горичев И.Г.** Исследование равновесия в системах состава Me-en и Me-ox. *Успехи в химии и хим. технологии*. 2011. Т. XXV. № 2 (118). С. 7 – 11.
17. **Медведев Г.И., Макрушин Н.А.** Электроосаждение олова из сульфатного электролита в присутствии синтанола, формальдегида и аллилового спирта. *ЖПХ*. 2004. Т. 77. № 11. С. 1799–1803. DOI: 10.1007/s11167-005-0159-5.
18. **Wells A.F.** Structural Inorganic Chemistry. Oxford: Clarendon Press/Oxford University Press. 2012. 1416 p.
19. **Равдель А.А., Пономарева А.М.** Краткий справочник физико-химических величин. Л.: Химия. 1983. С. 200.
20. **Носков А.В., Багровская Н.А., Шмуклер Л.Э., Шмуклер М.В., Лилин С.А.** Кинетические закономерности анодного растворения никеля в водно-спиртовых растворах хлорида натрия. *Защита металлов*. 2001. Т. 37. № 1. С. 41–45. DOI: 10.1023/A:1004833517699.
21. **Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е.** Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия. 2000. 672 с.
22. **Веснин Р.Л., Алалыкин А.А., Вохмянин М.А.** Технология утилизации отходов полиэтилентерефталата с получением амида терефталевой кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 2. С. 99–104. DOI: 10.6060/ivkkt.20206302.6055.
23. URL: <http://www.niap-kt.ru/> «НИАП-КАТАЛИЗАТОР». 2018.
5. **Kalmykov P.A., Lysenok A.A., Magdalina N.A., Klyuev M.V.** Quantum-chemical modeling of adsorption of carbon tetrachloride and its hydrodechlorination products on surface of palladium clusters. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 4. P. 95-102. DOI: 10.6060/ivkkt.20196204.5971i.
6. **Izraelashvili D.** Intermolecular and surface forces. M.: Nauchny mir. 2011. 456 p. (in Russian).
7. **Nazarov V.V., Grodsky A.S., Morgunov A.F., Shabanova N.A., Krivoshchepov A.F., Kolosov A.Yu.** Practical and problem book on colloid chemistry. Surface phenomena and disperse systems. M.: Akademkniga. 2007. P. 20–22 (in Russian).
8. **Schönfeldt N.** Surface-active ethylene oxide adducts. Stuttgart: Wissensch. Verlagsges. Chemistry. 1982. 752 p.
9. **Averin E.V., Smirnov K.N., Grigoryan N.S., Kharlamov V.I.** Improving the process of tin electrodeposition from acidic electrolytes. *Usp. Khim. Khim. Tekhnolog.* 2007. V. 21. N 9 (77). P. 61–63 (in Russian).
10. **Medvedev G.I., Makrushin N.A., Dubenkov A.N.** Electrodeposition of tin - bismuth alloy from sulphate electrolyte with organic additives. *Zashch. Metal.* 2003. V. 39. N 4. P. 381–384 (in Russian). DOI: 10.1023/A:1024907817538.
11. **Medvedev G.I., Makrushin N.A.** Electrodeposition of bright tin coatings from sulphate electrolytes with organic additives. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2009. V. 52. N 12. P. 16–20 (in Russian).
12. **Lasarev N.V., Levina E.N.** Harmful substances in industry. Handbook for chemists, engineers, doctors. V. 1. Organic substances. L.: Khimiya. 1976. 592 p. (in Russian).
13. **Bocharov V.V.** On the biodegradability of higher fatty alcohols ethoxylates of various origin. *Bytov. Khim.* 2006. N 23. P. 22 (in Russian).
14. **Ershov B.G.** Nanoparticles of metals in aqueous solutions: electronic, optical and catalytic properties. *Ros. Khim. Zhurn.* 2001. V. 65. N 3. P. 20–30 (in Russian).
15. **Gafurov M.M., Atayev M.B., Aliyev A.R., Larin S.V.** Effect of high-voltage pulsed electric discharge on the absorption spectra of transition metal salts aqueous solutions in the visible and ultraviolet regions. *Zhurn. Strukt. Khim.* 2007. V. 48. N 1. P. 105–107 (in Russian). DOI: 10.1007/s10947-007-0015-y.
16. **Guleniina K.A., Shlyakhova M.A., Gorichev I.G.** The study of equilibrium in the systems of the composition Me-en and Me-ox. *Usp. Khim. Khim. Tekhnol.* 2011. V. 25. N 2 (118). P. 7–11 (in Russian).
17. **Medvedev G.I., Makrushin N.A.** Electrodeposition of tin from sulfate electrolyte in the presence of synthanol, formaldehyde and allyl alcohol. *Russ. J. Appl. Chem.* 2004. V. 77. N 11. P. 1781–1785. DOI: 10.1007/s11167-005-0159-5.
18. **Wells A.F.** Structural Inorganic Chemistry. Oxford: Clarendon Press/Oxford University Press. 2012. 1416 p.
19. **Ravdel A.A., Ponomaryova A.M.** Brief reference of physico-chemical quantities. L.: Khimiya. 1983. 200 p. (in Russian).
20. **Noskov A.V., Bagrovskaya N.A., Shmukler L.E., Shmukler M.V., Lilin S.A.** Kinetic patterns of nickel anodic dissolution in sodium chloride aqueous-alcoholic solutions. *Zashch. Metal.* 2001. V. 37. N 1. P. 35–39 (in Russian). DOI: 10.1023/A:1004833517699.
21. **Pomogaylo A.D., Rozenberg A.S., Ufland I.E.** Metal nanoparticles in polymers. M.: Khimiya. 2000. 672 p. (in Russian).
22. **Vesnin R.L., Alalykin A.A., Vokhmyanin M.A.** Polyethylene terephthalate waste recycling technology to produce terephthalic acid amide. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2020. V. 63. N 2. P. 99-104. DOI: 10.6060/ivkkt.20206302.6055.
23. URL: <http://www.niap-kt.ru/> «НИАП-КАТАЛИЗАТОР» LLC official site. 2018.

Поступила в редакцию (Received) 30.05.2019

Принята к опубликованию (Accepted) 10.06.2020