

УДК 661.566: 66.097.3:669.054.8

**АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ПЛАТИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ НА АГРЕГАТАХ УКЛ-7****С. И. Авина, Н. Б. Маркова, И. В. Багрова, Г. В. Микиша, Ю. В. Шлеин**

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: svetlanaavina@gmail.com

Приведены данные (пробег платиноидного катализатора, его потери, степень конверсии аммиака, нагрузка по аммиаку) работы платиноидного катализатора в цехе азотной кислоты агрегата УКЛ-7. Рассмотрено влияние примесей в аммиачно - воздушной смеси на потери металлов платиновой группы. Установлено, что участок платиноидной сетки, расположенный к центру реактора, имеет меньше примесей, чем периферийные участки. Некоторые элементы (К, Си, Рb), несмотря на значительное их содержание в пыли, не задерживаются на поверхности сетки. Проведен анализ потерь металлов платиновой группы при эксплуатации каталитических систем окисления аммиака в цехе неконцентрированной азотной кислоты за период в четыре года на пяти агрегатах. В процессе обработки данных установлено, что за один пробег платиноидного комплекта сеток, который в среднем равен 3400 часов, потери платиноидов составляют 4,3–5,3 кг. Установлена зависимость потерь платиноидной сетки от места расположения в комплекте вязаного катализатора.

**Ключевые слова:** катализатор, окисление, аммиак, потери, платиноиды.**АНАЛІЗ ВТРАТ ПЛАТИНИ У ВИРОБНИЦТВІ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ НА АГРЕГАТАХ УКЛ-7****С. І. Авіна, Н. Б. Маркова, І. В. Багорова, Г. В. Микиша, Ю. В. Шлеїн**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: svetlanaavina@gmail.com

Наведено дані (пробіг платиноїдного каталізатора, його втрати, ступінь конверсії аміаку, навантаження по аміаку), щодо роботи платиноїдного каталізатора в цеху азотної кислоти агрегату УКЛ -7. Розглянуто вплив домішок в аміачно-повітряній суміші на втрати металів платинової групи. Встановлено, що ділянка платиноїдної сітки, розташованої до центру реактора, має менше домішок, ніж периферійні ділянки. Деякі елементи (К, Си, Рb), незважаючи на значний їх вміст у пилу, не затримуються на поверхні сіток. Проведено аналіз втрат металів платинової групи при експлуатації каталітичних систем окиснення аміаку в цеху неконцентрованої азотної кислоти за період в чотири роки на п'яти агрегатах. В процесі обробки даних встановлено, що за один пробіг платиноїдного комплекту сіток, який в середньому дорівнює 3400 годин, втрати платиноїдів складають 4,3–5,3 кг. Встановлено залежність втрат платиноїдної сітки від місця розташування в комплекті в'язаного каталізатора.

**Ключові слова:** каталізатор, окиснення, аміак, втрати, платиноїди.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Получение неконцентрированной азотной кислоты является одним из крупнотоннажных производств, а сама кислота – начальным сырьем для получения нитратных минеральных удобрений [1–2], в которых нуждается сельское хозяйство во всем мире. В основу промышленного производства азотной кислоты положено контактное окисление аммиака кислородом воздуха на платиноидном катализаторе с последующим поглощением оксидов азота водой [3–4].

В настоящее время для окисления аммиака в оксид азота (II) используют каталитические сетки на основе металлов платиновой группы (платина, палладий, родий) [5–7]. Особенностью такого катализатора является его высокая селективность по оксиду азота (II), кроме этого он должен сохранять свою активность при попадании на него примесей и механическую прочность при высокой температуре и повышенном давлении в течении долгого времени. Катализатор применяют в виде пакета сеток, что дает возможность использовать наиболее простой тип контактных аппаратов в производстве азотной кислоты [8].

В Украине на азотных производствах чаще всего применяют комплект сеток, состоящий из платиноидного катализатора следующего состава (% масс.): платина – 95,0, родий – 5,0 и сеток на основе палладия для улавливания платины, теряемой каталитическими сетками в процессе их эксплуатации [9].

В процессе эксплуатации платиновых сеток их

поверхность сильно разрыхляется, что приводит к повышению каталитической активности. Разрыхленная поверхность сеток с течением времени разрушается, что вызывает большие потери платиноидов. Потери платиноидов при окислении аммиака в производстве азотной кислоты под атмосферным давлением достигают 0,05–0,07 г/т  $\text{HNO}_3$ , а под давлением 0,716 МПа – 0,14–0,20 г/т  $\text{HNO}_3$ . Эти металлы платиновой группы в виде частичек размером 1–15 мкм выбрасывается в атмосферу с газом и с азотнокислыми удобрениями в почву. Учитывая то, что производство азотной кислоты является многотоннажным, а потребность в платиноидах только в Украине составляет около 7 тонн в год, то безвозвратные потери при окислении аммиака, представляются очень большими (~ 640 кг платинового катализатора).

Цель работы – анализ потерь металлов платиновой группы в производстве неконцентрированной азотной кислоты на агрегатах УКЛ-7.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Нами были обработаны промышленные данные по потерям платины в агрегатах УКЛ -7. По регламенту на агрегатах производства азотной кислоты под давлением 0,716 МПа пакет собирается из 12 платиновых и 5 палладиевых сеток. Среднегодовая конверсия на различных агрегатах и в разное время колебалась от 91 % до 94 %. Температура сеток по проекту 890–910 °С, однако большую часть времени фактическая температура составляла 905° С.

В табл. 1 приведены данные о работе платиноидных катализаторных сеток в агрегате УКЛ -7. Из анализа табличных данных, видно, что степень конверсии аммиака влияет на потери платиноидного катализато-

ра, так с увеличением степени конверсии и увеличением времени пробега платиноидных сеток увеличивается потеря платиноидного катализатора.

Таблица 1 – Производственные данные агрегата УКЛ - 7

Нагрузка по NH <sub>3</sub> , м <sup>3</sup> /ч	Степень конверсии, %	Время пробега платиноидной сетки, ч	Потери платиноидной сетки, %	Прямые потери платины, г/т HNO <sub>3</sub>
4750	93,06	3725	39,25	0,189
4750	93,37	3482	42,44	0,171
4750	93,59	3495	39,94	0,184
5000	93,85	3920	41,00	0,174
5000	93,10	3889	34,76	0,167
5000	91,36	3615	38,42	0,154
5100	91,68	3716	35,21	0,162
5100	90,74	3493	33,08	0,141
5100	93,80	3717	32,86	0,143
6100	93,57	3423	48,92	0,200
6100	93,1	2465	43,02	0,214
6100	93,5	3501	55,00	0,181

Нами был проведен анализ потерь металлов платиновой группы при эксплуатации каталитических систем окисления аммиака в цехе неконцентрированной азотной кислоты за период в четыре года на

пяти агрегатах. Потери платиноидного катализатора указано в лигатурной массе, то есть в пересчете на грамм сырья (азотной кислоты). Эти данные приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Потери металлов платиновой группы в производстве азотной кислоты на агрегатах УКЛ – 7

	Первый год	Второй год	Третий год	Четвертый год	Всего за четыре года
Агрегат № 1					
Пробег катализатора, час.	4037	6964	6271	6225	23497
Потери МПГ, г	6548,88	14905,36	11763,88	10527,97	43746,09
Агрегат № 2					
Пробег катализатора, час.	4308	7159	5719	5484	22670
Потери МПГ, г	6988	15322,66	10728,27	9274,85	42313,78
Агрегат № 3					
Пробег катализатора, час.	-	381	2501	3378	6260
Потери МПГ, г	-	817,74	4691,63	5713	11222,37
Агрегат № 4					
Пробег катализатора, час.	4300	5363	4260	1505	15428
Потери МПГ, г	6975	11479,22	7991,33	2545,32	28990,87
Агрегат № 5					
Пробег катализатора, час.	4015	6982	6505	3036	35966
Потери МПГ, г	6513	14943,9	12202,73	5134,6	38794,23

Согласно данным табл. 2 средний пробег одного агрегата в год составляет от 4000 до 7000 часов, тогда, соответственно, за четыре года он примерно равен 20000–25000 часов. Потери металлов платиновой группы за первый год работы на всех четырех агрегатах составлял 27024,88 г, за второй год – 57468,88 г, за третий год – 47377,84 г и за четвертый – 33195,74 г.

В процессе обработки данных установлено, что за один пробег платиноидного комплекта сеток, который в среднем равен 3400 часов, потери платиноидов составляют 4300 – 5300 г.

Одним из существенных параметров [8, 9], влияющих на потери металлов платиновой группы является температура процесса конверсии аммиака [10]. Выбор температурного режима этого процесса

необходимо проводить с учетом потерь платиноидов, которые существенно растут с повышением температуры особенно при выходе ее за пределы 1200 К.

С повышением температуры увеличивается удельная поверхность катализатора за счет разрыхления и образование наростов, шероховатостей и, соответственно, повышение потерь платиноидов за счет эрозийных процессов. Кроме того, с увеличением количества сеток повышается линейная скорость газового потока. В этой связи потери платины увеличиваются за счет большого механического разрушения сеток, то есть механической эрозии.

Механическую эрозию каталитических сеток невозможно объяснить только специфическими условиями проведения процесса конверсии – температурой, плотностью и скоростью газа, так как эти факторы не могут вызывать перерождения поверхности катализатора. Последнее связано с самим процессом окисления аммиака, то есть вызвано каталитической эрозией. Но здесь под каталитической эрозией мы понимаем разрушение поверхности катализатора, т.е. его структуры, а также разрушение и отрыв частиц платиноидного катализатора, которые происходят за счет мелких частиц различных металлов, присутствующих в аммиачно-воздушной смеси. При

промышленном осуществлении процесса окисления аммиака вместе с аммиачно - воздушной смесью на катализатор попадают разного рода примеси (железо, кремний, кальций, медь, цинк и т.д.), которые сплавляются с поверхностью платины, диффундируют внутрь кристаллической решетки, ускоряют процесс рекристаллизации и уноса PtO<sub>2</sub> и Pt с поверхности катализатора реакционными газами. В результате попадания легкоплавких примесей (натрий, кальций, магний, цинк, медь) поверхность катализатора покрывается наростами и кавернами. Он становится хрупким и теряет часть своего веса. Для выяснения влияния легкоплавких примесей на катализатор проведен анализ аммиачно-воздушной смеси в реакторе, пыли до и после пакета катализаторных сеток, а также анализ самих сеток (Pt – 95, Rh – 5 % масс).

С начала все образцы обрабатывались отдельно в 20 % соляной кислоте (I раствор). Затем образцы частично обрабатывались в царской водке (II раствор). Оставшуюся массу после частичного растворения в царской водке растворяли полностью (III раствор). Кроме того были растворены в царской водке пыль до катализаторных сеток (IV раствор) и пыль непосредственно после пакета сеток (V раствор). Полученные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Содержание металлов в образцах

Образец	Раствор	Масса растворенного образца, %	Содержание элементов в образцах, %						
			Na	Mg	Ca	Cu	Pb	K	Zn
Сетка 1–3	I	19,2	0,025	0,003	-	-	-	-	0,042
	II	67,2	-	0,0003	0,0096	-	-	-	-
	III	12,5	следы	-	0,006	-	-	-	-
Сетка 3–10	I	50	0,019	0,0013	0,324	-	-	-	0,002
	II	26	0,009	0,001	0,006	-	-	-	-
	III	24	-	-	0,004	-	-	-	-
Пыль до каталитических сеток	IV	100	53,12	0,1	0,546	0,6664	0,8	0,044	0,44
Пыль после каталитических сеток	V	100	18,63	0,025	0,8	0,0003	-	0,0046	0,05
Сетка между фланцами (не принимала участия в окислении аммиака)	I	11,2	0,018	0,0027	0,032	-	-	-	0,092
	II	21,9	0,041	0,0008	0,0041	-	-	-	0,0036
	III	65,9	0,041	0,0008	0,0041	-	-	-	0,0001

Анализ табл. 3 показал, что значительное количество легкоплавких элементов содержится как в пыли, так и на катализаторной сетке. Установлено, что участок сетки, расположенный в зоне интенсивного окисления аммиака, то есть ближе к центру реактора, имеет меньше примесных атомов, чем периферийные. Сетки, которые расположены первыми по ходу аммиачно-воздушной смеси, также содержат небольшое количество легкоплавких атомов. Некоторые элементы (K, Cu, Pb), несмотря на значительное их содержание в пыли, не задержива-

ются на поверхности сетки.

Накопление загрязнений на поверхности катализаторных сеток должно вызывать изменение механических свойств катализатора. С этой целью нами изучен общий характер потерь платиноидов в зависимости от места расположения вязаной сетки (состав катализатора, % масс : 95 % – Pt, 5 % – Rh) в катализаторном комплекте в промышленных условиях при производстве неконцентрированной кислоты под давлением 0,716 МПа (см. рис. 1).



Рисунок 1 – Изменение массы сетки от номера в комплекте для сплава ( 95 % – Pt, 5 % – Rh)

Из рис. 1 видно, что основная часть потерь приходится на сетки, расположенные первыми по ходу газового потока. Установлено также, что они теряют в 2,5–3 раза больше платиноидов, чем сетки расположенные последними в катализаторном комплекте и максимальное значение потерь приходится не на первую, а на вторую сетку. Уменьшение же линейной скорости газового потока способствует увеличению потерь первых по ходу газа сеток, а при увеличении ее наблюдается уравнивание потерь между всеми сетками в комплекте. Поскольку на первые сетки попадает общий вес примесей и на них происходит окисление значительной части аммиака, то и процесс взаимодействия легкоплавких элементов, платины и аммиака на них наиболее интенсивный. Это приводит к росту удельной поверхности, эрозии и большим потерям платиноидов катализаторных сеток, которые находятся первыми по ходу газового потока. Установлено, что в технологических схемах, работающих под давлением 0,716 МПа, первые сетки теряют 11–12 %, а остальные 5–7 % своего веса, что совпадает с мнением авторов [4].

Таким образом, эрозия катализатора легкоплавкими примесями и потери веса его составляют 10–20 % общих потерь, тогда как общая часть потерь происходит в результате каталитической эрозии. В связи с тем, что каталитическая эрозия является неотъемлемой частью процесса окисления аммиака, уменьшить потери веса катализатора возможно путем использования эффективных методов очистки аммиачно-воздушной смеси.

В процессе эксплуатации установок по производству азотной кислоты под давлением 0,716 МПа было установлено, что внутренняя поверхность котла-утилизатора, окислителя, абсорбционной колонны покрыта очень мелким налетом, который содержит в себе металлы платиновой группы.

На рис. 2 приведены данные по распределению потерь металлов платиновой группы (МПГ) по технологической схеме производства неконцентрированной азотной кислоты в агрегатах УКЛ-7.

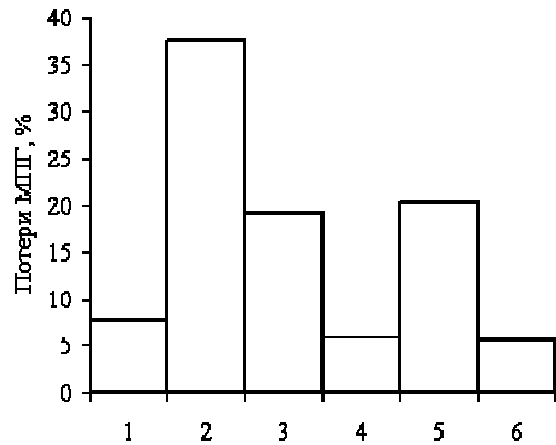


Рисунок 2 – Распределение потерь металлов платиновой группы по технологической схеме: 1 – контактный аппарат; 2 – котел-утилизатор; 3 – окислитель; 4 – подогреватель хвостовых газов; 5 – абсорбционная колонна; 6 – склад продукционной кислоты

Видно, что наибольшее количество платиноидов осаждается (% масс.): в котле-утилизаторе до 37,5; окислителе 19,8; абсорбционной колонне 20,3, а также небольшое количество металлов платиновой группы до 5 % осаждается на складе продукционной кислоты. Это свидетельствует о том, что наибольшее количество металлов платиновой группы, которые теряются, сорбируются там, где существует большая поверхность аппаратов, т.е. на тех, что приведены на рис. 2. Присутствие металлической платины на стенках аппаратуры, можно объяснить разложением оксидов платины при температуре 723–873 К, при остановке и продувки всей системы холодным воздухом, когда температура падает с 1173–1193 К до 553–573 К в зоне катализаторных сеток за 60–90 с. Наличие большого количества металлов платиновой группы, по нашему мнению, в подогревателе хвостовых газов объясняется присутствием реакционной влаги и образованием конденсата с увлечением аэрозолей этих металлов. Присутствие платиноидов в окислителе агрегата УКЛ-7 при температуре 576 К можно объяснить частичным окислением мелкодисперсных частиц платины и других драгоценных металлов, образующихся по ходу газового потока, подвергнутого температурным градиентам 1193–913–503 К. В результате этого частицы, окисляясь, образуют платиновую чернь, для которой при температуре выше 473 К возможно образование фазового оксида платины [11].

Таким образом, приведенные данные по распределению металлов платиновой группы дают практически полную картину их осаждения по аппаратам агрегата УКЛ -7.

**ВЫВОДЫ.** При обработке промышленных данных по потерям платины в агрегатах УКЛ - 7 установлено, что они зависят от времени работы платиноидного катализатора, степени конверсии аммиака, нагрузки по аммиаку.

Рассмотрено влияние примесей (легкоплавких металлов) в аммиачно - воздушной смеси на потери платиноидного катализатора окисления аммиака в производстве азотной кислоты.

Проведен анализ потерь платиноидного катализатора при его эксплуатации в цехе азотной кислоты на агрегатах УКЛ-7 на пяти агрегатах за четыре года.

Установлена зависимость изменения платиноидного катализатора от места его расположения в комплекте сеток установленных в реакторе окисления аммиака в производстве неконцентрированной азотной кислоты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко Т.П., Жицька Л.І. Екологічна оцінка впливу на довкілля підприємств хімічної галузі на прикладі ПАТ «АЗОТ» (м. Черкаси) / Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – Вип. 1/2013 (78). – С. 114–119.
2. Демиденко И.М., Янковский Н.А., Мельников Б.И. Производство аммиачной селитры и карбамида. – Горловка, 2007. – 363 с.
3. Ильин А.П., Ильин А.А. Современные проблемы химической технологии неорганических веществ. – Иваново, ИГХТУ, 2011. – 133 с.
4. Ильин А.П., Кунин А.В. Производство азотной кислоты. – СПб.: Лань, 2013. – 256 с.
5. Horner B.T. New fabric precious metal gauzes / Nitrogen. – 1991. – no. 193. – PP. 32–36.
6. Gorywoda M.W., Lupton D.E. Warp knitted catalyst gauzes / Nitrogen. – 1994. – no 209. – PP. 39–44.
7. Перепадья Н.П., Спотарь В.П., Савенков А.С. Каталитические свойства вязанных платиноидных сеток в реакции окисления аммиака / Сборник трудов международной научно-технической конференции «Современные проблемы химической технологии неорганических веществ». – Одесса. – 2001. – Т. 2 – С. 162–164.
8. Бесков В.С., Бруштейн Е.А., Головня Е.В., Ванчурич В.И. Моделирование процесса окисления аммиака на платиноидных сетках / Катализ в промышленности. – 2008. – №2. – С. 31–36.
9. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л. Технологія зв'язаного азоту: Під ред. О.Я. Лобойко – Х.: НТУ «ХПІ», 2007. – 450 с.
10. Савенков А.С., Иванов В.В., Шаповал Л.Г. Влияние реакционной среды на потери платиноидов в процессе окисления аммиака: Труды Международной конференции «БРМ - 94». – Донецк, 1994. – С. 37.
11. Бруштейн Е.А., Яценко А.В., Головня Е.В. Влияние технологических параметров на эффективность работы систем для улавливания платиноидов в агрегатах азотной кислоты УКЛ-7: Труды Международной научно – технической конференции по катализу «Укркатализ-V». – К.: 2006. – С. 215.

#### ANALYSIS OF PLATINUM LOSSES AT NITRIC ACID PRODUCTION ON THE UNIT UKL-7

**S. Avina, N. Markova I. Bagrova, G. Mikisha, Yu. Shlein.**

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

vul. Frunze, 21, Kharkov, 61002, Ukraine. E-mail: svetlanaavina@gmail.com

Paper presents data (mileage platinum catalyst, its loss, the conversion of ammonia, ammonia load) of platinum catalyst work in the shop of nitric acid production in the unit UKL-7. The influence of impurities in ammonia - air mixture on the loss of platinum group metals is considered. The analysis of dust before and after the package of platinum catalyst gauzes, as well as analysis of grids themselves, is carried out. It is proved that PGE mesh portion located toward the center of the reactor has fewer impurities than the peripheral portions thereof. Some of the elements (K, Cu, Pb), despite their considerable content of dust do not retained on the grid surface. It is done the analysis of the loss of platinum group metals in the operation of catalytic systems for ammonia oxidation in the no concentrated nitric acid for a period of four years on the five aggregates. During the data processing it was found that in one run of platinum nets set, which average is about 3400 hours, loss of platinum group metals is about 4,3–5,3 kg. It is determined that the platinum losses depend on the location of the knitted mesh catalyst in the kit in an industrial environment in the production of unconcentrated acid under pressure 0,716 MPa. It is established that the main part of the loss falls on the gauzes, located first along the gas flow, and also that they lose 2,5–3 times more platinum than gauze located in the last catalyst and set the maximum value of the loss falls not on the first and on the second gauze. Erosion of the catalyst of low-melting impurities and weight loss is 10 - 20% of total losses, while the total of the losses occurs as a result of catalytic erosion. In the operation of installations for the production of nitric acid under pressure 0,716 MPa, it was found that the inner surface of the boiler-utilizer, oxidant absorption column is covered with very fine patina, which contains the platinum group metals. It is presented the data about the losses distribution of platinum group metals on the technological scheme of non concentrated nitric acid production in aggregates UKL-7. It is established that the greatest amount of platinum is deposited: in the recovery boiler to 37,5 %; oxidizer – 19,8 %; absorption column – 20,3 %, and up to 5 % is deposited in the warehouse of the acid production. This suggests that the largest number of platinum group metals, which are lost, are sorbed in the location of a large surface of the device. References 10, tables 2, figures 2.

**Key words:** catalyst, oxidation, ammonia, losses, platinum.

## REFERENCES

1. Goncharenko, T.P., Zhitska, L.I. (2013), "Ecological environmental impact assessment of the chemical industry on the example of JSC "Azot" (m. Cherkasy)", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 1, no. 78, pp. 114–119.
2. Demidenko, I.M., Yankovskiy, N.A., Melnikov, B.I. (2007), *Proizvodstvo ammiachnoy selitry i karbamida* [Production of ammonium nitrate and urea], Gorlovka, Ukraine.
3. Il'in, A.P., Il'in, A.A. (2011) *Sovremennyye problemy himicheskoy tehnologii neorganicheskikh veschestv* [Modern problems of chemical technology of inorganic substances], IGHTU, Ivanovo, Russia.
4. Il'in, A.P., Kunin, A.V. (2013), *Proizvodstvo azotnoy kisloty* [Nitric acid production], Lan, St. Petersburg, Moscow.
5. Horner, B.T. (1991), "New fabric precious metal gauzes", *Nitrogen*, no. 193, pp. 32–36.
6. Gorywoda, M.W., Lupton, D.E. (1994), "Warp knitted catalyst gauzes", *Nitrogen*, no 209, pp. 39–44.
7. Perepadya, N.P., Spotar, V.P., Savenkov, A.S. (2001), "Catalytic properties of knitted platinum nets in the oxidation of ammonia", *Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii Sovremennyye problemy himicheskoy tehnologii neorganicheskikh veschestv*, [Proceedings of the international scientific conference Modern problems of chemical technology of inorganic substances], Odessa, Vol. 2, pp. 162–164.
8. Beskov, V.S., Brushteyn, E.A., Golovnya, E.V., Vanchurin, V.I. (2008), "Modeling of the process of ammonia oxidation on platinum grids", *Kataliz v Promyshlennosti*, no. 2, pp. 31–36.
9. Tovazhnyanskiy, L.L. (2007), *Tehnologiya zv'yazanogo azotu* [Technology nitrogen], NTU "HPI", Kharkov, Ukraine.
10. Savenkov, A.S., Ivanov, V.V., Shapoval, L.G. (1994), "Influence of the reaction medium at a loss PGM in the oxidation of ammonia", *Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii "BRM - 94"*, [Proceedings of the International Conference "BRM - 94"], Donetsk, p. 37.
11. Brushteyn, E.A., Yaschenko, A.V., Golovnya, E.V. (2006), "Influence of process parameters on the effects of working systems to capture PGE in aggregates of nitric acid UKL-7", *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno – tehnicheskoy konferentsii po katalizu «Ukrkataliz-V»*, [Proceedings of the International Scientific - Technical Conference on Catalysis "Ukrkataliz-V"], Kiev, p. 215.

Стаття надійшла 26.07.2015.