

УДК 628.16:547.495.1:66.067.8

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ ГІДРАЗИНУ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ РЕАКТОРІ З КОНДЕНСАТІВ СОКОВОЇ ПАРИ ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ

Демчук І.М., Столяренко Г.С.

STUDIES OF THE PROCESS OF SYNTHESIS OF HYDRAZINE IN AN ELECTROMAGNETIC REACTOR WITH CONDENSATES OF JUICE VAPOR PRODUCTION OF UREAS

Demchuk I.M., Stolyarenko G.S.

У статті коротко розглянуті методи синтезу гідразину, аргументовано доцільність створення нових утилізаційних технологій вторинної переробки конденсатів сокової пари до стадії десорбції та гідролізу в гідразин та його похідні. Представлені результати роботи установки синтезу гідразину з азотовмісної сировини в хвильовому реакторі, виведена крива залежності окислення основного продукту (гідразину) в процесі повного контактування новоутвореного гідразину з повітрям за нормальних умов.

Ключові слова: гідразин, карбамід, аміак, синтез, конденсат, електромагнітний реактор.

Вступ. Історія синтезу гідразину почалася з 1875 року, коли його органічні похідні були відкриті Фіширом. Далі синтезувати гідразин гідрат та його неорганічні солі вдалося Куріусу в 1887 році. За рахунок його фізико-хімічних властивостей і розвитку космонавтики гідразин почав використовуватися як один з основних складових ракетного палива [1]. Тоді питання синтезу гідразину набуло більш вагомого значення.

Гідразин або діамін - це азотоводень; сильно гігроскопічна рідина, що володіє помітною здатністю поглинати з повітря вуглекислоту і кисень. Температура замерзання - плюс 1,5°C, кипіння - 113,5°C (за нормальних умов). Гідразин добре розчиняється у воді, спиртах, аміаку, амінах; не розчинний у вуглеводнях. Водні розчини володіють основними властивостями. Гідразин є сильним відновником [2].

Гідразин має широкий спектр використання: застосовується в органічному та неорганічному синтезі, фармакології, аналітичній хімії. Гідразин використовують в якості консерванту та деаератора води для котельних установок. Він є основним компонентом у виробництві інсектицидів, а також з

його допомогою синтезують стимулятори росту рослин [3, 4, 5, 6].

В даний час, гідразинове паливо широко використовуються в ракетній техніці. Так, наприклад, несиметричний диметилгідразин (НДМГ, гептил) використовується на міжконтинентальних балістичних ракетах Р36М2 «Воєвода», ракетах-носіях «Космос», «Циклон», «Протон»; американських ракетах "Титан"; французьких - «Аріан»; в установках двигунів автопілотованих кораблів та автоматичних супутників орбітальних та міжпланетних станцій [7,8].

В 21-му столітті структура споживання гідразину розподіляється таким чином: на виробництво пестицидів відводиться 40% від загального обсягу споживання, на виробництво піноутворюючих агентів - 30%, на виробництво речовини для водопідготовки - 14%, в інші сфери застосування - 17% [9].

Основні виробництва гідразину та гідразин сульфату зосереджені в таких країнах, як: Франція, Німеччина, Японія («OTSUKA-MGC CHEMICAL COMPANY, INC», г. Осака), Південна Корея, США («Arch Hydrazine») та Китай% [10].

Постановка проблеми. В зв'язку високою вартістю основної сировини та складністю процесу виробництва гідразину та його похідних, пошук альтернативної сировини для виробництва гідразину, а також оптимізації існуючих способів виробництва є досить актуальним питанням.

Конденсати сокової пари виробництва карбаміду містять в своєму складі як аміак - основний компонент синтезу гідразину за методом Рашига так і карбамід - основний компонент синтезу гідразину за методом Хофмана, тому впровадження вторинної переробки даних стоків, котрі утворюються у великій кількості, дає можливість не тільки знизити собівартість гідразину, але й зменшити навантаження на установки нітри-денітри-

фікації та знизити собівартість самого карбаміду за рахунок ліквідації стадії десорбції та гідролізу конденсатів сокової пари.

Використання нових джерел енергії активації хімічних реакцій, таких як електромагнітне опромінення є ще однією перспективою напрямку розвитку такої науки як хімічна технологія, предметом вивчення якої є хімічне виробництво.

Аналіз основних досліджень та публікацій.

Основною сировиною для синтезу гідразину є аміак (синтез по методу Рашига з використанням гіпохлориту натрію), карбамід (синтез по методу Хофмана) та суміш аміаку, ацетону та перекису водню (синтез по методу Юджина-Кульмана) [11].

Наприкінці минулого століття був розроблений синтез гідразин сульфату за участі бензохіноназину. Гідразин сульфат утворюється шляхом гідролізу бензохіноназину в присутності розведеної сірчаної кислоти. Ця процедура дуже складна і вимагає випаровування великої кількості води та вилучення бензохінону шляхом випаровування ефірних сполук, що утворюються при взаємодії бензохінону з етиловим ефіром. Це значно ускладнює процес синтезу, так як концентрація гідразин сульфату в розчині коливається в межах 1-2% [12].

Також розроблена і запроваджена в Німеччині та Англії технологія синтезу гідразин сульфату та гідразин гідрату з використанням кетонів, котрі зв'язують новоутворений гідразин в діазоциклопропан, який зв'язують сірчаною кислотою, що призводить до утворення гідразин сульфату та кетазину (кетазиновий метод). Вихід продукту за даною технологією становить близько 90% (в перерахунку на хлор) [1].

Метод Рашига є більш дешевим, ніж метод Хофмана, але із-за введення в дію на початку двохтисячних років «Акта про забруднення навколишнього середовища, високого споживання енергоресурсів та інвестицій у обладнання», даний спосіб так і не введений у широкомасштабне виробництво, особливо в азіатських країнах, таких як Китай. [9]

Багато агрегатів синтезу гідразину з аміаку шляхом окислення останнього гіпохлоритом натрію, побудовані в минулому столітті працювали в таких країнах, як Німеччина, США, Англія та Японія [1]. Деякі потужності збереглися і до нашого часу.

Метод Юджина-Кульмана може бути економічним, порівнюючи з синтезом Рашига, але все залежить від середньої ринкової вартості на сировину на момент виробництва, ціна якої за останні роки суттєво підвищилася [9].

Кетазиновий метод має значні переваги, так як при виробництві кетазину можна уникнути розкладання гідразину. Однак для того, щоб уникнути стрімкого виділення солей в реакторі синтезу, потрібно затратити багато енергії. В енергетичному плані, даний метод знижує рентабельність виробництва. Даний спосіб синтезу гідразину застосовують здебільшого у Франції [9].

На даний момент, при постійному розвитку хімічної промисловості, попит на продукцію гідразину продовжує зростати, тому питання пошуку шляхів зниження собівартості даної продукції загострюється.

У попередніх дослідженнях встановлена можливість використання конденсатів сокової пари виробництва карбаміду, котрі в своєму складі містять суміш низькоконцентрованих розчинів амідного та амонійного азоту. В якості альтернативного джерела енергії активації системи використано хвильовий реактор та підтверджено утворення гідразину за даних умов [11, 13, 14].

Явище нагріву матеріалів мікрохвильовим опроміненням широко використовується для сушки, прокалювання, термічного розкладання, каталізу і передачі теплоти рідким або газоподібним реагентам. Відомо, що мікрохвильове опромінення добре поглинається багатьма речовинами, причому нагрів більш ефективний, ніж передача теплоти шляхом конвекції або теплопровідності. Трансформація електричної енергії в тепло відбувається за рахунок збудження мікрохвильовим полем процесів обертання або коливань молекул по всьому об'єму. Мікрохвильове опромінення дозволяє забезпечити практично миттєвий нагрів речовини до заданої температури. Акумулявання і передача теплоти до реагентів через тверде технологічне середовище, що бере участь в процесі, як у вигляді інертного середовища (реактор), так і у вигляді реакційного середовища (каталізатор), має велике значення для високотемпературних ендотермічних процесів. У процесах, що відбуваються у хімічній технології, мікрохвильове опромінення застосовують для інтенсифікації енергетичного і масового обміну при ректифікації, дегідруванні, термічному розкладанні карбонатів [15]. Для процесу синтезу гідразину реактори даного типу до сьогодні не використовувалися та не розглядалися в якості альтернативного джерела тепла та енергії активації.

Розглядався синтез гідразину за допомогою двофотонних поглинань шляхом активації молекули азоту або водню на поверхні каталізатора за рахунок розряду з використанням твердого каталізатора, як протилежного електрода [16]. Нажаль, собівартість кінцевого продукту в рази перевищувала ринкову вартість гідразину.

Мета роботи – дослідити процес синтезу гідразину з конденсатів сокової пари виробництва карбаміду, що відбувається під дією електромагнітного випромінювання.

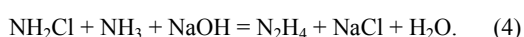
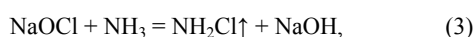
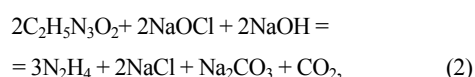
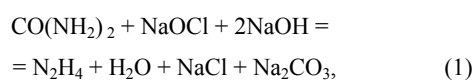
Виклад основного матеріалу дослідження. Основна частина стічних вод виробництва карбаміду утворюється у вузлі конденсації сокової пари, що виділяється при зневодненні розчину карбаміду. Неодноразово проведено аналіз конденсатів сокової пари карбаміду відібраних з цеху з виробництва карбаміду М-2 ПАТ «АЗОТ» та уста-новлено їх якісний та кількісний склад (таблиця 1).

Таблиця 1
Якісний та кількісний склад конденсатів
сокової пари цеху М-2 ПАТ «АЗОТ»

Найменування показника	Значення градієнта масової концентрації визначеного в ході роботи	Значення масової концентрації, згідно з нормативною документацією ц. М-2
CO(NH ₂) ₂ , %	0,80 – 2,00	не більше ніж 2,0
C ₂ H ₅ N ₃ O ₂ , %	0,01 – 0,03	не нормується
NH ₃ , %	1,50 – 5,00	не більше ніж 5,5
CO ₂ , %	1,20 – 3,00	не більше ніж 3,5
H ₂ O, %	96,49-94,97	не нормується
Завислі речовини, мг/дм ³	Відсутність	не нормується
Cl ⁻ , мг/дм ³	Відсутність	не нормується
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	Відсутність	не нормується
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	Відсутність	не нормується
Cu, мг/дм ³	< 0,006 (факт. 0,0031)	не нормується
Cr, мг/дм ³	< 0,006 (факт. 0,0004)	не нормується
Ni, мг/дм ³	< 0,006 (факт. 0,0005)	не нормується
Fe, мг/дм ³	0,007	не нормується

Густина конденсатів сокової пари знаходиться в діапазоні 1,01±0,004г/см³, водневий показник рН – 10,2±0,2. Основною цінністю даних стоків у синтезу гідразину є низький вміст металів, котрі каналізують процес окислення новоутвореного гідразину.

В зв'язку з веденням процесу синтезу гідразину в електромагнітному реакторі, дослідити спінові моменти системи на початковій стадії роботи складно, тому, в даному випадку, рівняння реакцій синтезу гідразину з конденсатів сокової пари виробництва карбаміду до стадії десорбції та гідролізу в паро-рідинному потоці під дією електромагнітних хвиль описані з точки зору елементарної хімії (рівняння 1-4).

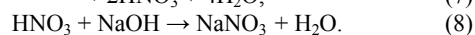
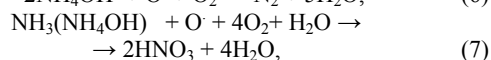
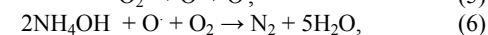


Побічні реакції синтезу гідразину з точки зору елементарної хімії більш повно описані в статті «Recuperation of bound nitrogen by processing into hydrazine sulfate in industrial wastewater» [11].

До сьогодні синтез гідразину з суміші аміаку та карбаміду не розглядалися. До того ж, в даних стоках міститься певна кількість (таблиця 1) розчиненого вуглекислого газу, кінетика впливу

якого на процес синтезу не досліджувалась. З урахуванням інертності вуглекислого газу в умовах ведення процесу, при моделюванні хімізму процесу синтезу гідразину з стічної води виробництва карбаміду вуглекислий газ не враховувався.

Не виключене і протікання атомарно-радикальних процесів (рівняння 5-8) під дією електромагнітного опромінення реакційного розчину, наприклад:



Для підтвердження процесу синтезу гідразину з стічної води виробництва карбаміду в лабораторних умовах було розроблено та спроектовано лабораторну установку синтезу гідразину з конденсатів сокової пари, утвореної в результаті концентрування плаву карбаміду. Створено аналітичну базу, з урахуванням всіх умов ведення процесу. Розроблено програму розрахунків складу вхідної сировини з урахуванням концентрацій вхідних компонентів у вхідній сировині. До початку синтезу гідразину проводилося визначення якісного та кількісного складу вхідної сировини.

На підставі попереднього огляду літератури [1,11,14] розроблена методика проведення синтезу гідразину, відповідно до якої: стічні води до стадії десорбції та гідролізу піддають обробці активним хлором (NaClO) в кількості 1 моль гіпохлориту натрію на 1 моль карбаміду з додаванням 1/78 молів гіпохлориту натрію на 1 моль аміаку, з додаванням 2 моля гіпохлориту натрію на 2 моля біурету, з додаванням їдкою натрію NaOH (98,5%) в кількості 2 моля гідроксиду натрію на 1 моль карбаміду, з додаванням 1 моля гідроксиду натрію на 1 моль біурету.

На рисунку 1 представлена блок-схема процесу синтезу гідразину з стічної води виробництва карбаміду.

Опис порядку проведення синтезу. Із збірника стічної води виробництва карбаміду (1) азотовмісні стоки через дозатор (3), змішуючись з сумішшю гіпохлориту та гідроксиду натрію (NaOCl + NaOH), що надходить зі збірника розчину суміші (NaOCl + NaOH) (2), направляються через дозатор (4) в реактор перетворення стоків в гідразин (5). Реактор перетворення стоків в гідразин (5) піддається дії електромагнітних хвиль довжиною від 1мм до 1 м ($\nu > 300$ МГц). Високочастотне випромінювання забезпечує безконтактний нагрів реакційної суміші. В даному процесі, нагрів відбувається по всьому об'єму реакційної суміші, так як вона містить полярні молекули. Це явище дає змогу забезпечити рівномірний розподіл температури в реакційному середовищі, а також інтенсифікує процес контакту компонентів реакційної суміші (перемішування), що обумовлюється

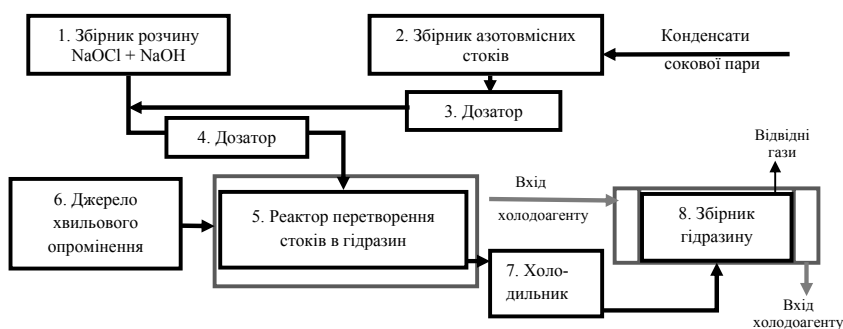


Рис. 1. Блок-схема синтезу гідразину

Таблиця 2

Результати дослідження процесу синтезу гідразину

Вміст N амідного у конденсатах сокової пари, % мас.	Вміст N амонійного у конденсатах сокової пари, % мас.	Вміст N загального у конденсатах сокової пари, % мас.	Температура конденсатів сокової пари до початку синтезу N ₂ H ₄ , °C	Температура розчину NaOCl з NaOH до початку синтезу N ₂ H ₄ , °C	Швидкість потоку реакційної суміші, см ³ /с	Коефіцієнт приведення виходу N ₂ H ₄ з урахуванням швидкості потоку реакційної суміші	Фактичний вміст N ₂ H ₄ , встановлений експериментально, % мас.	Вміст N ₂ H ₄ приведенний до спільного знаменника з урахуванням швидкості потоку реакційної суміші, % мас.	Ступінь перетворення N загального в N ₂ H ₄ , %
0,675	3,261	3,936	20	-10	0,78	1,28	0,106	0,083	4,26
			22	-8	0,87	1,15	0,097	0,084	4,27
			22	-8	1,00	1,00	0,082	0,082	4,17
			20	-9	0,96	1,04	0,085	0,082	4,19
0,699	3,558	4,257	19	-8	0,94	1,06	0,085	0,080	3,75
			20	-8	0,81	1,23	0,105	0,085	3,99
			20	-10	0,70	1,43	0,120	0,084	3,94
0,699	3,557	4,256	22	-8	0,95	1,05	0,088	0,084	3,95
0,755	3,591	4,346	21	-9	0,57	1,75	0,152	0,087	3,96
			21	-10	0,57	1,75	0,156	0,089	4,14
			21	-9	0,52	1,92	0,174	0,091	4,18
			20	-8	0,58	1,72	0,155	0,090	4,05
			20	-3	0,78	1,28	0,111	0,087	3,95
			21	-6	1,06	0,94	0,080	0,085	3,93

пришвидшенням руху молекул. Реактор перетворення стоків в гідразин (5) поміщено в захисний корпус, в якому мікрохвилі, відбиваючись від стінок, розігрівають реакційну суміш до температури 85÷96°C.

Після синтезу гідразину реакційна суміш, за рахунок капілярного ефекту підсиленого різницею температур за рахунок холодильника (7), самовільно надходить в збірник (8). Збірник (8) оснащено мішалкою, температура у збірнику підтримується за рахунок теплообміну між стінкою збірника та холодоагентом. Збірник (8) є ускладненою моделлю теплообмінника «труба в трубі».

Результати досліджень. Проведено низку дослідів синтезу гідразину з конденсатів сокової пари виробництва карбаміду до стадії десорбції та гідролізу. Деякі результати наведено в таблиці 2.

Усереднені параметри синтезу гідразину наведено нижче :

- співвідношення гіпохлориту натрію (в перерахунку на Cl₂) до вмісту азоту загального в реакційній суміші до початку синтезу гідразину рівне 0,58 вагових частин Cl₂ до 1 вагової частини азоту;

- в'язкість реакційної суміші до початку синтезу гідразину ~1,8 м²/с;

- температура реакційної суміші на виході з реактора синтезу гідразину – (93÷95)⁰C;

- температура холодоагенту (води), що надходить в теплообмінники агрегату синтезу – 9⁰C;

Основним сталим параметром при відборі проби для визначення кількісного вмісту гідразину є досягнення температури суміші в збірнику (8) 20±2⁰C. Відбір проб та проведення аналізів відбувалося за нормальних умов.

В ході експерименту встановлена можливість синтезу гідразину з низькоконцентрованих розчинів амідного та амонійного азоту в присутності

розчиненого вуглекислого газу в кількості від 1 до 3% масових. Середня ступінь перетворення азоту загального в гідразин становила $4 \pm 0,3\%$.

В процесі визначення гідразину в реакційному розчині зі збірника (8) спостерігалось пришвидшення процесу окислення гідразину після розгерметизації збірника. Даний процес необхідний для відбору проби на визначення вмісту гідразину та залишкового вмісту непрореагованих компонентів реакційної суміші.

Так як гідразин - сильний відновник, він окислюється киснем повітря та багатьма сполуками, котрі містять метали. Виходячи з цього, в лабораторних умовах синтез гідразину додатково ускладнюється його подальшою стабілізацією та виведенням з процесу.

Для суміші, утвореної в результаті синтезу гідразину з азотовмісних конденсатів сокової пари виробництва карбаміду, встановлено залежність розкладання гідразину за нормальних умов в атмосфері від часу контакту реакційної суміші з повітрям (рисунок 2). Такі параметри, як: початкова температура вхідної сировини; концентрація амідного та амонійного азоту в конденсатах сокової пари; концентрація розчиненої вуглекислоти та домішок у вхідній сировині та мольне співвідношення усіх компонентів під час проведення даної серії дослідів були стабілізовані.

Параметри відбору проби для визначення кількісного вмісту синтезованого гідразину:

- зниження температури суміші в збірнику (8) до $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$;
- тиск – атмосферний.

Проведення аналізів відбувалося за нормальних умов за спеціально розробленою методикою визначення вмісту гідразину в лужному середовищі тетрометричним методом (в інтервалі 0,05-2,5% масових) або фотометричним методом (в інтервалі до 0,05% масових).

Після розгерметизації установки синтезу, а саме збірника гідразину (8), час контактування реакційної суміші з повітрям приймаємо за фактично 0,1 секунди.

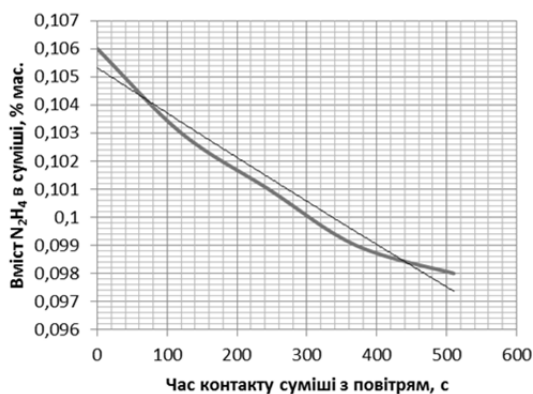


Рис. 2. Залежність окиснення новоутвореного гідразину киснем повітря в залежності від часу контакту реакційної суміші з повітрям

Проведено математичний аналіз результатів дослідження для виведення експоненціальної функції залежності концентрації гідразину в суміші після синтезу зі збірника (8) від часу контактування суміші після синтезу з повітрям за нормальних умов (рівняння 9):

$$C_{\text{N}_2\text{H}_4} = 0,1053 \cdot e^{-2E-0,4\tau}, \quad (9)$$

де $C_{\text{N}_2\text{H}_4}$ – значення масової концентрації гідразину в розчині після синтезу останнього, що окислюється на повітрі за нормальних умов, %;

τ – час контактування гідразину, який міститься в реакційній суміші з повітрям за нормальних умов, секунди.

За даними математичного аналізу результатів дослідження залежності окиснення новоутвореного гідразину в суміші киснем повітря від часу контакту реакційної суміші з повітрям, можна зробити наступний висновок: новоутворений гідразин в розчині зі збірника гідразину (8), водневий показник (рН) якого становить $10,5(\pm 0,1)$, за умови контактування з повітрям дуже швидко окислюється. Ступінь окислення за перші 2 хвилини в середньому становить 2,5% в 1 хвилину, далі знижується до 1% в хвилину, що за даних концентрацій новоутвореного гідразину – недопустимо, так як можна суттєво знизити загальну ступінь перетворення азоту загального в гідразин.

Дане явище пояснюється тим, що у молекулі гідразину між p -орбіталами азотної системи ($>\text{N}-\text{N}<$) існує відштовхування, котре робить зв'язок $\text{N}-\text{N}$ більш довгим ($1,40\text{\AA}$), ніж сума радіусів двох атомів азоту $\text{N}\equiv\text{N}$ ($0,53\text{\AA}$). Тому процес синтезу гідразину досить енергоємний та складний, так як система прагне до зменшення енергії, за рахунок утворення елементарного азоту. В елементарному азоті (N_2) p -орбіталі взаємно притягуються, що додатково стабілізує зв'язок між атомами, саме тому система прагне до утворення азоту [11].

Виходячи з цього, синтез гідразину додатково ускладнюється його подальшою стабілізацією та виведенням з процесу.

Для встановлення доцільності продовження роботи в даному напрямку у попередніх дослідженнях проведена економічна оцінка ефективності впровадження технології вторинної переробки відходів (конденсату сокової пари виробництва карбаміду) з метою встановлення відсотку заощадження на собівартості карбаміду при ліквідації стадії десорбції та гідролізу [17]. З урахуванням технологічної схеми синтезу карбаміду за проектом фірми «Уреа Казале», для коригування собівартості продукції шляхом впровадження утилізаційної технології переробки азотовмісних стічних вод, проведено розрахунок витрат електроенергії та пари, що використовуються на стадії десорбції та гідролізу конденсатів сокової пари, транспортування стоків на установки нитриденітрифікації (НДФ) та їх подальша очистка. Для цеху з виробництва карбаміду продуктивністю

330000т/рік при ліквідації стадії десорбції та гідролізу в середньому відсоток заощадження становить 2,2 %, що в грошовому еквіваленті дорівнює 130 грн з 1 тонни карбаміду або 4901 грн/годину роботи агрегату станом на останній квартал 2017 року.

До того ж, запропонований метод переробки конденсатів стічної води в виробництво карбаміду дає можливість зменшити навантаження на установки НДФ, в зв'язку з тим що процес забезпечення оптимальних умов функціонування останніх енергоємний та затратний. Потрібно враховувати той факт, що ефективність очищення стічних вод на каналізаційних очисних спорудах від амонійного азоту в середньому по Україні, складає 77%, при середній концентрації амонійного азоту на вході на рівні 30 мг/дм³. Таким чином, щороку в поверхневі водні об'єкти України потрапляє близько 20 тис. тонн зв'язаного азоту. Тому запропонований спосіб переробки низько концентрованих відходів, що містять в своєму складі амідний та амонійний азот (конденсатів сокової пари виробництва карбаміду) є актуальним.

Висновки:

1. Встановлена та підтверджена можливість використання конденсатів сокової пари, утворених в процесі концентрування розчину карбаміду, в якості вторинної сировини в процесі синтезу гідразину.

2. Встановлена можливість синтезу гідразину з суміші амідного та амонійного азоту низьких концентрацій у хвильовому реакторі.

3. Економічно доведено зменшення собівартості карбаміду, за рахунок ліквідації стадії очищення конденсатів сокової пари, на 2,2%, що відбудеться при переробці стоків в гідразин.

4. В результаті створення утилізаційної технології синтезу гідразину з конденсатів сокової пари азавтоматично знизиться навантаження на установки НДФ.

Література

1. Коровин Н.В. Гидразин. М. Москва: Химия, 1980. 272 с.
2. Багал Л.И. Химия и технология инициирующих взрывчатых веществ. М. Москва: Химия, 1975. 362 с.
3. Audrieth L.F., В.А. Ogg. The chemistry of hydrazine. New York: Research Associate University of Illinois, 1951. 237 p.
4. Куценко С.А., Бутомо Н.В., Гребенюк А.Н. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита СПб.: Фолиант, 2004. 525 с.
5. Богданов Н.А. Вопросы токсикологии ракетного топлива. Л.: Изд. ВМА им. С.М. Кирова, 1961. 132 с.
6. Абдурахманов Э.И., Сагтарова М. Д. Полупроводниковый сенсор гидразина. Вестник науки и образования 2015. Серия: Научно-методический журнал. 2015. Вып. 2. С. 9-13.
7. Иванова Л.А. Влияние ракетного топлива на организм человека на объектах его использования, хранения и утилизации. Россия молодая 2015. Серия: Передовые технологии в промышленности. Вып. 3. С. 153-158.
8. Сергеев С.А. Жидкие ракетные топлива [Электронный ресурс]: Сергеев С.А. Жидкие ракетные топлива.

Информационный бюллетень пресс-центра космодрома. Плесецк, 1991. Вып. 4. Режим доступа: <http://www.plesetzk.ru/index.php?d=doc%2Finf&p=inf004>. – Название с экрана (дата обращения: 10.05.2018).

9. TongJiu Hydrazine Hydrate Industry Co., Ltd. News. Current technology for the production of hydrazine hydrate. [Electronic resource]: TongJiu Hydrazine Hydrate Industry Co., Ltd. News. Current technology for the production of hydrazine hydrate. 2008. Access mode: <http://ru.hydrazine-hydrate.org/profile/News131030.html>. – The name of the screen (reference date: 03.07.2018).
10. Агентство промышленных новостей. Экспресс анализ рынка «производные гидразина или гидроксилamina органические». [Электронный ресурс]: Агентство промышленных новостей. Исследование рынков & Бизнес аналитика. Номенклатура и классификаторы продукции. Экспресс анализ рынка «производные гидразина или гидроксилamina органические» М. 2001-2016. Режим доступа: <http://www.apn-ua.com/dkpp/21584>. – Название с экрана (дата обращения: 01.08.2018).
11. Demchuk I.M., Stolyarenko G.S., Tupytska N.I. Recuperation of bound nitrogen by processing into hydrazine sulfate in industrial wastewater. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2016. Вип. 4. С. 114–120.
12. Patent №4239741 Process for producing hydrazine sulfate. Tomiya Isshiki, Tetsuo Tomita, Toshiaki Kozaki, Osamu Aoki, Mitsuo Abe, Norio Takeda, Mitsuo Miura, Yoshiyuki Aoki, Takao Kondo, Kaoru Tsuyuki Process for producing hydrazine sulfate. USA. Date 16.11.1980.
13. Демчук І.М., Демчук Б.Д., Столяренко Г.С. Реутилізація атвмісних конденсатів виробництва карбаміду шляхом переробки в гідразин-сульфат. Хімічна технологія: тези доп. VI міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Том I, 13-15 квітня 2013. Дніпропетровськ: УДХТУ, 2013. С. 91-92.
14. Демчук І.М., Демчук Б.Д., Столяренко Г.С. Реутилізація азотсодержащих конденсатів виробництва карбамида путем переработки в гидразин сульфат. Интеграция результатов Международного проекта «Водная гармония» в евразийское образование. Сборник статей Международного научно-практического семинара, апрель 2013. Черкаси: Вертикаль 2013. С 135-141.
15. Джандосова Ф.С., Забияк В.Г., Шаехов М.Ф., Цой А.Н., Цой Л.А. Использование СВЧ-излучения в процессе глубокой переработки нефти и нефтепродуктов на основе технологии радиационно-волнового крекинга. Сборка научных работ. Вестник Казанского технологического университета. Серия: Физика. 2013. Т. 16. Вып. 10. С. 179–182.
16. Patent №7118655 Direct synthesis of hydrazine through nitrogen fixation by means of two-photon absorptions, Takao Kondo, Kaoru Tsuyuki. Issue. Date 10.10.2006.
17. Демчук І.М., Столяренко Г.С. Економічна оцінка ефективності впровадження технологій вторинної переробки відходів виробництв на прикладі утилізації азотовмісних стоків агрегату синтезу карбаміду. Збірник наукових праць Вісник ЧДТУ. Серія: Економічні науки. 2017. Україна, Черкаси, Вип. 48. С. 37 – 44.

References

1. Korovyn N.V. (1980) Hidrazine. Moscow: Chemistry, 272 p. [in Russian].
2. Bahal L.Y. (1975) Chemistry and technology of initiating explosives. Moscow: Chemistry, 362 p. [in Russian].

3. Audrieth L.F., B.A. Ogg. (1951) The chemistry of hydrazine. New York: Research Associate University of Illinois, 237 p.
 4. Kutsenko S.A., Butomo N.V., Hrebenuk A.N. (2004) Military toxicology, radiobiology and medical protection: Foliant, 525 p. [in Russian].
 5. Bohdanov N.A. (1961) Issues of toxicology of rocket fuel. Leningrad: Publishing House. The SMA named after S.M. Kirova, 132 p. [in Russian].
 6. Abdurakhmanov E.Y., Sattarova M. D. (2015) Semiconductor sensor of hydrazine. Bulletin of Science and Education Series: Scientific and methodical journal (2), pp. 9-13 [in Russian].
 7. Yvanova L.A. (2015) Influence of rocket fuel on the human body on the objects of its use, storage and utilization. Russia young Series: Advanced technology in the industry (3), pp. 153-158 [in Russian].
 8. Sergeyev S.A. (1991) Liquid rocket fuels [Electronic resource]: Sergeyev S.A. Liquid rocket fuel. Information bulletin of the press center of the cosmodrome. Plesetsk (4). URL: <http://www.plesetzk.ru/index.php?d=doc%2Finf&p=inf004> (10.05.2018) [in Russian].
 9. TongJiu Hydrazine Hydrate Industry Co., Ltd. News. Current technology for the production of hydrazine hydrate (2008) [Electronic resource]: TongJiu Hydrazine Hydrate Industry Co., Ltd. News. Current technology for the production of hydrazine hydrate. URL: <http://ru.hydrazine-hydrate.org/profile/News131030.html> (03.07.2018).
 10. Industrial News Agency (2001-2016) Express market analysis "derivatives of hydrazine or hydroxylamine organic". [Electronic resource]: Industrial News Agency. Market Research & Business Analytics. Nomenclature and classifiers of products. Express market analysis "derivatives of hydrazine or hydroxylamine organic" URL: <http://www.apn-ua.com/dkpp/21584>. - Name from the screen (01.08.2018) [in Russian].
 11. Demchuk I.M., Stolyarenko G.S., Tupytska N.I. (2016) Recuperation of bound nitrogen by processing into hydrazine sulfate in industrial wastewater. Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky, (4), pp. 114–120.
 12. Patent №4239741 Process for producing hydrazine sulfate. Tomiya Isshiki, Tetsuo Tomita, Toshiaki Kozaki, Osamu Aoki, Mitsuo Abe, Norio Takeda, Mitsuo Miura, Yoshiyuki Aoki, Takao Kondo, Kaoru Tsuyuki Process for producing hydrazine sulfate. USA. Date 16.11.1980.
 13. Demchuk I.M., Demchuk B.D., Stolyarenko G.S. (2013) Re-utilization of the open-cell condensates of urea production by processing into hydrazine sulfate. Khimichna tekhnolohiia: tezy dop. VI mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh. (I), Dnipropetrovsk: UDKhTU, pp. 91-92 [in Ukrainian].
 14. Demchuk I.M., Demchuk B.D., Stolyarenko G.S. (2013) Reutilization of nitrogen-containing condensates of carbamide production by processing into hydrazine sulfate. Integration of the results of the International Project "Water Harmony" into Eurasian Education. Collection of articles of the International Scientific and Practical Seminar, Cherkasy: Vertical, pp. 135-141 [in Russian].
 15. Dzhandosova F.S., Zabyniak V.H., Shaekhov M.F., Tsoi A.N., Tsoi L.A. (2013) Use of microwave radiation in the process of deep processing of oil and petroleum products on the basis of radiation-wave cracking technology. Sbornka nauchnykh rabot. Vestnyk Kazanskogo tekhnolohycheskoho unyversyteta. Seryia: Fyzyka. T. 16. (10), pp. 179–182 [in Russian].
 16. Patent №7118655 Direct synthesis of hydrazine through nitrogen fixation by means of two-photon absorptions, Takao Kondo, Kaoru Tsuyuki. Issue. Date 10.10.2006.
 17. Demchuk I.M., Demchuk B.D., Stolyarenko G.S. (2013) Economic appraisal of the efficiency of introduction of technologies of recycling of wastes production on the example of utilization of nitrogen-containing effluents of carbamide synthesis unit Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Ekonomichni nauky (48), pp. 37 – 44 [in Ukrainian].
- Демчук І.М., Столяренко Г.С. Исследования процесса синтеза гидразина в электромагнитном реактора с конденсатов сокового пара производство карбамида.**
- В статье кратко рассмотрены методы синтеза гидразина, аргументированно целесообразность создания новых утилизационных технологий вторичной переработки конденсата сокового пара до стадии десорбции и гидролиза в гидразин и его производные. Представлены результаты работы установки синтеза гидразина с азотсодержащего сырья в волновом реакторе, выведена кривая зависимости окисления основного продукта (гидразина) в процессе полного контакта новообразованного гидразина с воздухом при нормальных условиях.*
- Ключевые слова:** гидразин, карбамид, аммиак, синтез, конденсат, электромагнитный реактор.
- Demchuk I.M., Stolyarenko G.S. Studies of the process of synthesis of hydrazine in an electromagnetic reactor with condensates of juice vapor production of urea.**
- The article briefly examines the existing methods for the synthesis of hydrazine. Agumentation is the expediency of creating new recycling technologies for the secondary processing of the condensate of juice vapor up to the desorption and hydrolysis stage. The possibility of using sewage as a raw material for the production of hydrazine and its derivatives has been established. The results of the operation of the hydrazine synthesis plant with a nitrogen-containing feedstock in a wave reactor are presented. The degree of conversion of total nitrogen to hydrazine was determined, which amounted to about 4%. A curve showing the dependence of the oxidation of the main product (hydrazine) during the complete contact of the newly formed hydrazine with air under normal conditions is derived. The necessity of conducting the process of hydrazine synthesis in a wave reactor in isolated space is established.*
- Key words:** hydrazine, urea, ammonia, synthesis, condensate, electromagnetic reactor.
- Демчук І.М.** – аспірант Черкаського державного технологічного університету; пров. інженер центральної лабораторії ПАТ «АЗОТ», м. Черкаси, Україна. e-mail: ivannademcuk19@gmail.com
- Столяренко Г.С.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри хімічних технологій та водоочищення Черкаського державного технологічного університету, м. Черкаси, Україна. e-mail: radikal@ukr.net
- Рецензент:* д. т. н, проф. **Суворін О.В.**