

**Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет  
ім. Олеся Гончара**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
ЗА ТЕМОЮ  
«ВИРОБНИЦТВО АМОНІЙНОЇ СЕЛІТРИ»**

**2014**

**Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет  
ім. Олеся Гончара**

---

**Кафедра хімії та хімічної технології високомолекулярних сполук**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
ЗА ТЕМОЮ  
«ВИРОБНИЦТВО АМОНІЙНОЇ СЕЛІТРИ»**

**Дніпропетровськ  
РВВ ДНУ  
2014**

Наведено властивості амонійної селітри, викладено коротку характеристику її виробництва включно з описом промислової технологічної схеми, методики лабораторного моделювання процесу її синтезу та виконання розрахунків. Призначено для методичного забезпечення дисциплін «Загальна хімічна технологія», «Екотехнологія».

Для студентів ДНУ, які навчаються за напрямками «Хімічна технологія» та «Хімія».

Темплан 2014, поз. 26

**Методичні вказівки  
до лабораторних та практичних занять  
за темою  
«Виробництво амонійної селітри»**

Укладачі: канд. техн. наук, доц. М.А.Поджарський  
студ. О.С.Парілов

Редактор О.В.Бец  
Техредактор Л.П.Замятіна  
Коректор Т.А.Белиба

---

Підписано до друку 18.02.14. Формат 60×84/16.Папір друкарський.  
Друк плоский. Ум. друк. арк. 1,2. Ум. фарбовідб. 1,2. Обл.-вид. арк. .  
Тираж 100 пр. Зам. №

---

РВВ ДНУ, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010.  
Друкарня «Ліра», пл. Десантників,1, м. Дніпропетровськ, 49038.  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
серія ДП №14 від 13.07.2000 р.

## ВСТУП

Аміачна селітра – високоефективне концентроване мінеральне амонійно-нітратне добриво з високою розчинністю. Вона містить 34,4 % азоту, добре засвоювана рослинами, придатна для будь-яких ґрунтів і сільськогосподарських культур. На ґрунт справляє підкислювальну дію. Для сільського господарства аміачну селітру випускають у вигляді гранул сферичної форми. Серед всіх добрив вона займає перше місце за частотою використання в сільському господарстві, що становить 55-60% від наявних на ринку мінеральних добрив.

Аміачну селітру також використовують як вибухову речовину. Її критичний діаметр (найменший діаметр циліндричного заряду, за якого можливе поширення детонації) такий великий (для сирової нездрібненої селітри – близька декількох метрів), а сприйнятливість до детонації настільки незначна, що з чистою селітрою можна працювати так само, як з інертними солями.

Найбільше поширені в промисловості й гірничій справі суміші аміачної селітри з різними видами вуглеводневих горючих матеріалів, інших вибухових речовин, а також багатоконпонентні суміші:

- суміші типу аміачна селітра/дизельне паливо (АСДП);
- рідка суміш аміачна селітра/гідразин (астроліт);
- водонаповнені промислові вибухові речовини (акванал, акваніт, емульсійні тощо);
- суміші з іншими вибуховими речовинами (амоніт, детоніт та ін.);
- суміш з алюмінієвою пудрою (амонал).

Мета вивчення теми «Виробництво амонійної селітри» – засвоїти основи технології виробництва цієї речовини. При цьому слід навчитися моделювати синтез амонійної селітри в лабораторних умовах та визначати основні кількісні характеристики процесу й отриманого продукту.

## 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА АМОНІЙНОЇ СЕЛІТРИ

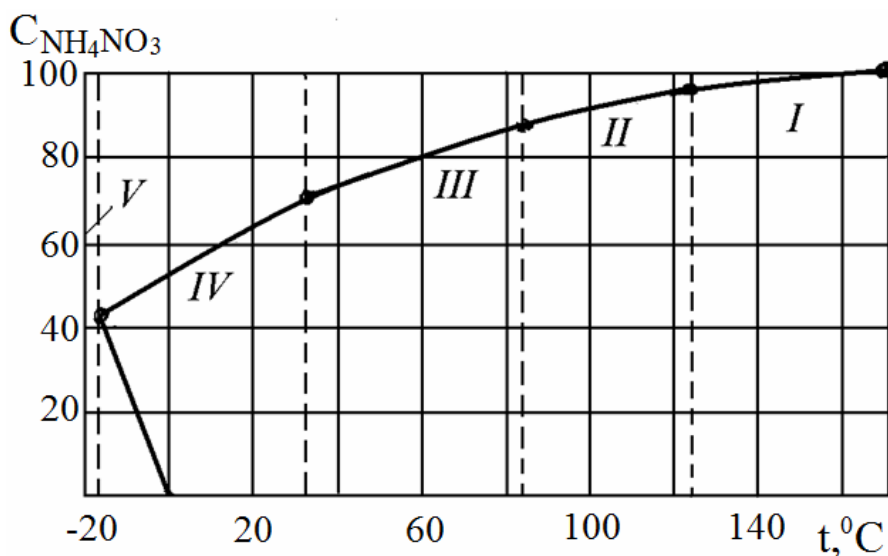
### Фізико-хімічні властивості амонійної селітри

Амонійна селітра має такі властивості:

- зовнішній вигляд – біла кристалічна речовина;
- формула –  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ;
- відносна молекулярна маса – 80,043;
- густина –  $1725 \text{ кг/м}^3$ ;
- теплоємність –  $1766,8 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  за температури  $20\text{--}28 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура плавлення –  $169,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- теплота плавлення –  $67830 \text{ Дж/кг}$ ;
- температура кипіння –  $235 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура розкладу –  $210 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- стандартна ентальпія утворення –  $365,1 \text{ кДж/моль}$ .

Амонійна селітра дуже добре розчиняється у воді (рис. 1). Розчинення відбувається з поглинанням великої кількості теплоти, тому з підвищенням температури розчинність  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  значно зростає. У процесі розчинення нітрату

амонію в однаковій за об'ємом кількості води температура розчину знижується приблизно на 25 °С. Крім води, нітрат амонію добре розчиняється в рідкому аміаку.



**Рис. 1. Розчинність NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> у воді для різних модифікацій кристалів:**

*I* – кубічна; *II* – тригональна; *III* – моноклінічна; *IV* – ромбічна; *V* – тетрагональна

Амонійна селітра існує в п'яти кристалічних модифікаціях (*I-V*), що мають різну структуру й густину кристалів. Перехід однієї модифікації в іншу супроводжується виділенням або поглинанням теплоти і стрибкоподібною зміною питомого об'єму, теплоємності, ентропії й ін. Кристали ромбічної форми (модифікація *IV*), стійкі за температур від -16,9 до 32,27 °С, не злежуються і є найкращою формою нітрату амонію у випадку використання його як добрива.

Амонійна селітра відрізняється високою гігроскопічністю. Вона поглинає вологу з повітря, коли тиск водяних парів у ньому за певної температури вищий тиску парів над насиченим розчином солі.

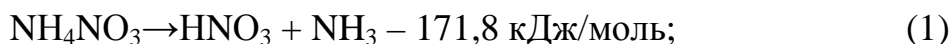
Через велику розчинність і здатність до поліморфних перетворень амонійна селітра сильно злежується й втрачає сипкість під час зберігання, може перетворюватися на монолітну масу, яку важко здрібнювати. Для запобігання злежуваності амонійної селітри в процесі її виробництва:

- додають у плав амонійної селітри розчинні неорганічні солі (наприклад, сульфат амонію);
- охолоджують гранули амонійної селітри за температури, нижчої температури поліморфного перетворення модифікація *IV* – модифікація *III*, тобто нижчої 32,27 К;
- застосовують кондиціонувальні добавки, що вводять у розчин амонійної селітри до його кристалізації для зниження його розчинності (наприклад, продукти азотнокислого розкладу доломіту або фосфатів);
- використовують герметичну упаковку (поліетиленові мішки).

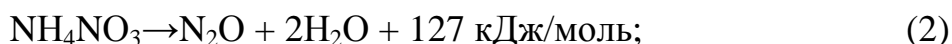
У великих кількостях амонійна селітра здатна до детонації. У замкненому об'ємі її розклад може перейти у вибух. У випадку забруднення селітри твердими домішками (піском, окалиною) або в разі дуже великої пожежі розклад селітри може перейти у вибух навіть у незамкненому об'ємі.

Розклад амонійної селітри залежно від температури здійснюється за реакціями:

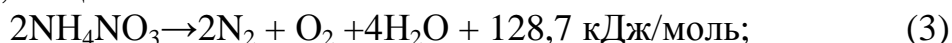
– за температури 110 °С:



– за 185–200 °С:



– за температури, вищої 230 °С

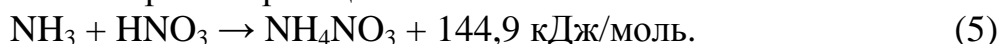


– за температури 400 °С і вищої:



### **Коротка характеристика технології виробництва амонійної селітри**

Амонійну селітру виробляють із газоподібного синтетичного аміаку і розчину нітратної кислоти, отримуючи розчин нітрату амонію. Проходить практично необоротна екзотермічна реакція:



Швидкість цієї хімічної реакції в системі газ–рідина дуже висока, тому в цілому гетерогенний процес лімітований швидкістю підведення реагентів і відбувається в дифузійній області. Теплота, яка виділяється у великій кількості, використовується для випаровування води і концентрування одержаного розчину. Концентрація  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в отриманому розчині зростає зі збільшенням концентрації вихідної нітратної кислоти і температури початкових реагентів. Зазвичай у виробництві амонійної селітри використовують розведену 47–60%-ну нітратну кислоту. Отриманий розчин піддають додатковому випарюванню з одержанням плаву з вмістом  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  99,7–99,8%, з якого далі отримують гранули продукту.

*Технологія виробництва амонійної селітри* включає такі стадії:

- нейтралізація нітратної кислоти газоподібним аміаком в апараті використання теплоти нейтралізації (ВТН);
- випарювання розчину амонійної селітри;
- гранулювання плаву селітри;
- охолодження гранул;
- покриття гранул плівками, що зменшують їх злежуваність, наприклад поверхнево-активними речовинами (ПАР);
- пакування, зберігання і відвантаження селітри;
- очищення газових викидів і стічних вод.

*Функціональна схема виробництва амонійної селітри з випарюванням розчинів* показана на рис. 2. До реактора – апарата ВТН – подають підігріті аміак та розчин нітратної кислоти. У нижній частині апарата ВТН відбувається реакція нейтралізації з одержанням розчину  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . У верхній частині апарата водяна пара, яка випаровується з розчину (сокова пара), відмивається від бризок розчину

амонійної селітри і парів нітратної кислоти і подається на очищення.

Отриманий розчин  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  піддають донейтралізації аміаком, який подають у такій кількості, щоб нейтралізувати надлишкову кислотність розчину амонійної селітри.

Випарювання розчину  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  з одержанням плаву відбувається за допомогою гарячого повітря, яке барботує через цей розчин, та водяної пари, що передає свою теплоту через стінки трубок випарного апарата.

Гранулювання відбувається в грануляційній башті в результаті розбризкування плаву амонійної селітри на окремі краплі і застигання крапель у потоці повітря, яке піднімається догори по башті.

Охолодження гранул здійснюється в апараті з псевдозрідженим («киплячим») шаром холодним повітрям, яке подається під ґратку апарата і далі надходить у грануляційну башту.

Охолоджені гранули для зменшення їх злежуваності обробляють поверхнево-активними речовинами, наприклад диспергатором НФ. Далі селітру пакують у паперові або поліетиленові мішки і відвантажують споживачеві або подають для зберігання на склад.

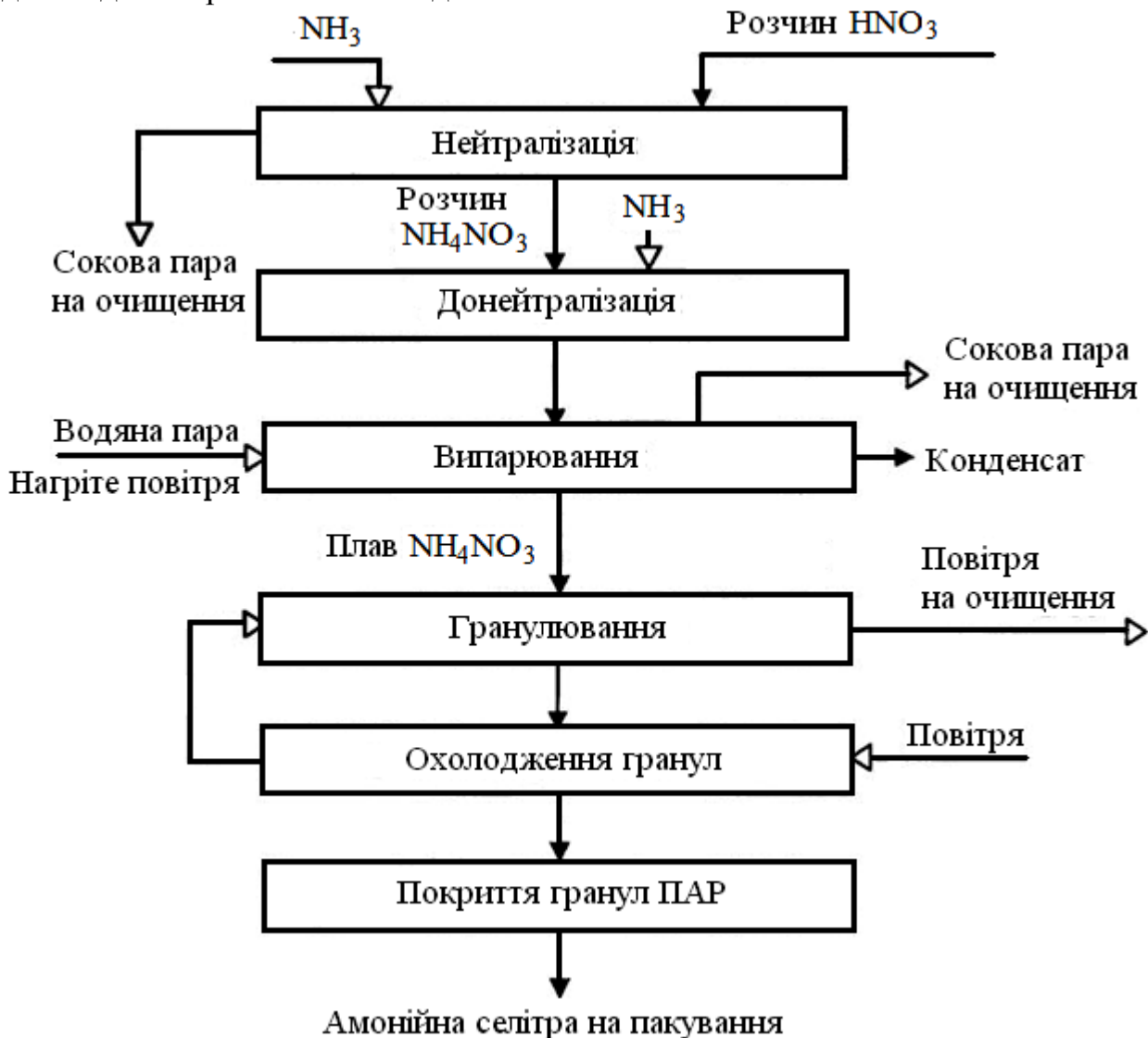
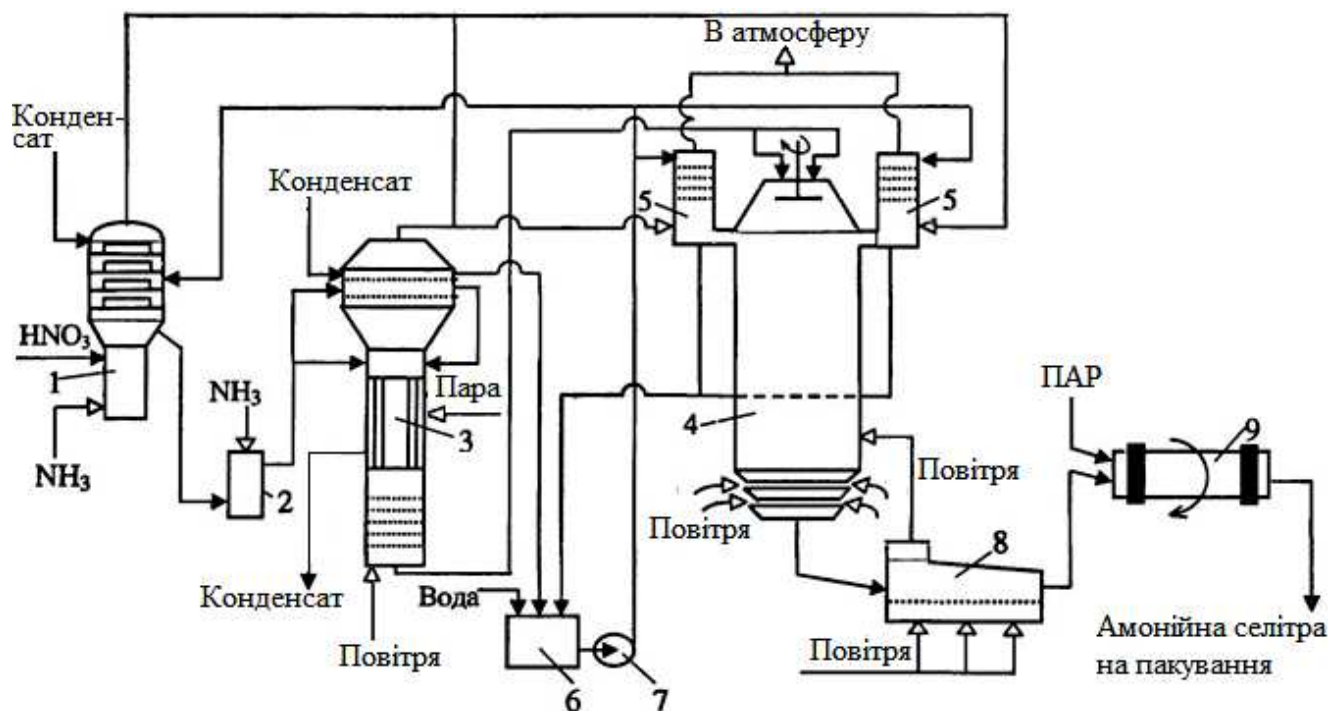


Рис. 2. Функціональна схема виробництва амонійної селітри

Технологічна схема виробництва амонійної селітри зображена на рис. 3. Розчин нітратної кислоти з концентрацією 58–60% попередньо підігрівають до температури 70–80 °С і додають до нього у невеликій кількості фосфатну і сульфатну кислоти для зменшення гігроскопічності готового продукту. Далі його та газоподібний аміак, підігрітий до температури 120–130 °С, подають в апарат ВТН 1.



**Рис. 3. Технологічна схема виробництва амонійної селітри:**

1 – апарат ВТН; 2 – донейтралізатор; 3 – комбінований випарний апарат; 4 – грануляційна башта; 5 – скрубери для промивання повітря; 6 – збирач; 7 – насос; 8 – охолоджувач із псевдозрідженим шаром гранул; 9 – барабан для покриття гранул ПАР

У нижній частині апарата відбувається реакція нейтралізації за температури 155–170 °С з одержанням розчину, який містить 91–92 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Сокова пара відмивається від крапель амонійної селітри і парів  $\text{HNO}_3$  у верхній частині апарата на чотирьох ковпачкових тарілках, дві нижні з яких зрошуються 20 %-м розчином амонійної селітри, а на верхню подається конденсат сокової пари. Розчин, який виводиться з апарата ВТН, для унеможливлення втрат аміаку з соковою парою містить невеликий надлишок (2–5 г/л) нітратної кислоти, тому його подають у донейтралізатор 2, де надлишкову кислоту нейтралізує відповідна кількість аміаку. Після цього розчин подають у випарний апарат 3 на випарювання, яке здійснюється в трубках, що обігріваються водяною парою з тиском 1,4 МПа. Далі розчин доупарюється в нижній частині випарного апарата на барботажних тарілках за допомогою повітря, нагрітого до температури 180 °С.

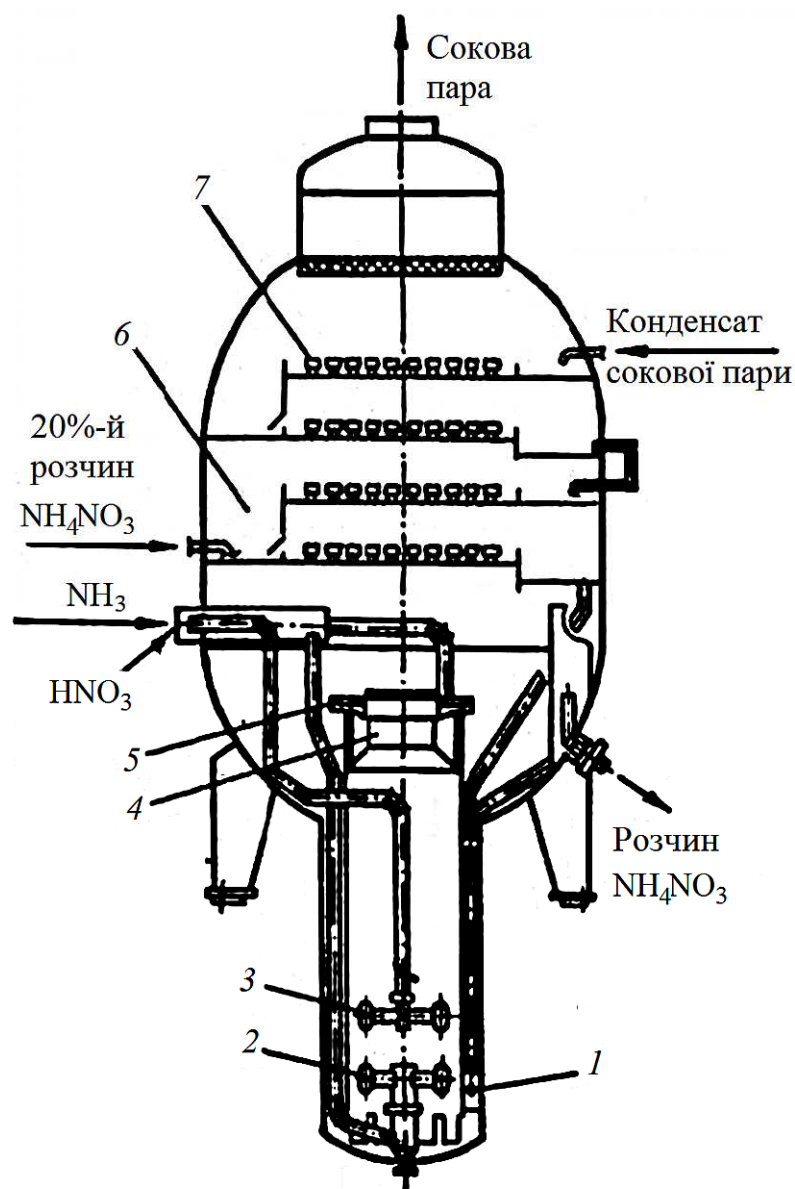
Одержаний плав, який містить 99,7–99,8%  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , подають у грануляційну башту 4 висотою 50–55 м. У верхній частині башти розташовані гранулятори, які забезпечують розбризування плав у вигляді окремих крапель. Знизу башти



подають повітря, яке охолоджує ці краплі, що перетворюються при цьому на гранули. Температура гранул на виході з башти дорівнює 90–110 °С, тому вони надходять на охолодження в апарат з псевдозрідженим («киплячим») шаром 8, під ґратку якого подається повітря. Відбувається інтенсивне охолодження гранул до температури 40 °С. Повітря з апарата 8 надходить в нижню частину грануляційної башти.

Гранули амонійної селітри подають в обертовий барабан 9, де вони покриваються ПАР. Потім їх пакують у паперові або поліетиленові мішки.

Апарат ВТН (рис. 4) улаштований таким чином, що теплота, яка виділяється в ході хімічної реакції нейтралізації нітратної кислоти аміаком, використовується для попереднього випарювання розчину амонійної селітри, що утворюється.



**Рис. 4. Апарат ВТН-72:**

- 1 – реакційний стакан; 2 – барботер аміаку;
- 3 – барботер нітратної кислоти; 4 – дифузор;
- 5 – завихрювач; 6 – промивач; 7 – ковпачкові тарілки

Апарат ВТН-72 складається з реакційної й сепараційної частин. У нижній, реакційній, частині розташований реакційний стакан 1 з отворами в нижній частині. У реакційному стакані знаходяться барботер аміаку 2 і барботер нітратної кислоти 3. Верхня частина реакційного стакана закінчується дифузором 4. Вивід парорідинної суміші відбувається через завихрювач 5, занурений у розчин. Завдяки отворах у нижній частині реакційного стакана й підйомній силі, що створюється в реакційній частині в результаті пароутворення, здійснюється циркуляція розчину.

Верхня частина апарата являє собою промивач 6 із ковпачковими тарілками 7. На нижніх тарілках сокова пара відмивається від аміаку в процесі барботування через шар нітратної кислоти й 20–25%-го розчину амонійної селітри. На верхніх тарілках сокова пара відмивається від  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  і парів  $\text{HNO}_3$  в процесі її контакту з конденсатом сокової пари. Апарат працює під надлишковим тиском 0,02 МПа за температури в реакційній частині близько 180 °С.

## 2. РЕАКТИВИ Й ОБЛАДНАННЯ

Реактиви, необхідні для виконання роботи, такі:

- аміак водний (ч.д.а.) за ГОСТ 3760-79;
- кислота нітратна (ч.д.а.) за ГОСТ 11125-84;
- гідроксид натрію (ч.д.а.) за ГОСТ 4328-77;
- кислота соляна за ГОСТ 857-95;
- формалін (ФМ; технічній; вищій сорт) за ГОСТ 1625-89;
- фенолфталеїн (ч.д.а.) за ТУ 6-095360-87;
- папір індикаторний універсальний за ГОСТ 6-09-1181-76;
- хлорид кальцію за ГОСТ 10652-73;
- вода дистильована за ГОСТ 6709-72.

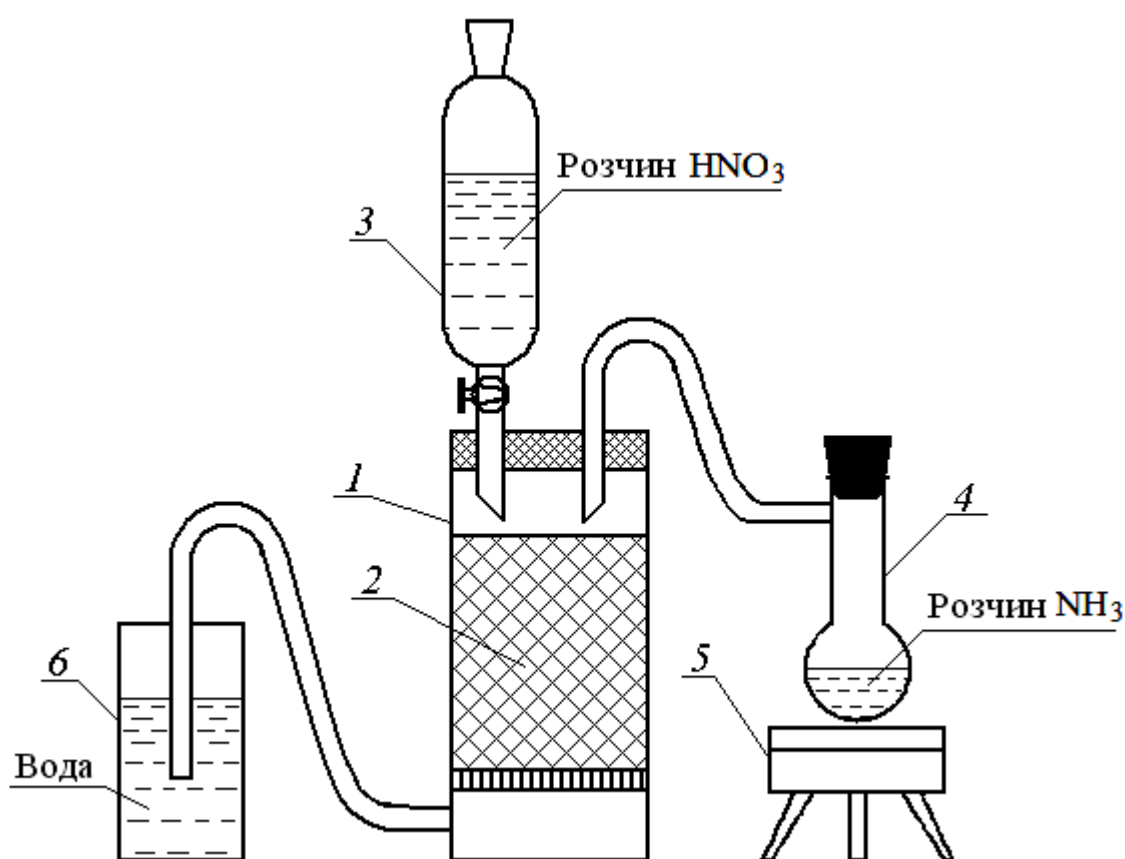
Обладнання та посуд, потрібні для виконання роботи, такі:

- ваги аналітичні – 1 шт.;
- ваги технічні – 1 шт.;
- набір різноваг Г-2-210 за ГОСТ 7328-82 – 1 шт.;
- ексикатор 2-150 за ГОСТ 25336-82 – 1 шт.;
- краплинна лійка ВК-100-ТС за ГОСТ 25336-82 – 1 шт.;
- колба мірна 1-250 за ГОСТ 1770-74 – 1 шт.;
- колба конічна Кн-1-250-29/32 ТС за ГОСТ 25336-82 – 4 шт.;
- колба Вюрца на 50 см<sup>3</sup> за ГОСТ 25336-82 – 1 шт.;
- бюретка 3-2-25-0,1 за ГОСТ 29251-91 – 2 шт.;
- піпетка мірна (Мора) 2-2-5 за ГОСТ 29169-91 – 2 шт.;
- піпетка 2-2-25 за ГОСТ 29169-91 – 1 шт.;
- мірний циліндр 3-50-2 за ГОСТ 1770-74 – 2 шт.;
- крапельниця 2-50 ХС за ГОСТ 25336-82 – 1 шт.;
- лійка В-36-50 ХС за ГОСТ 25336-82 – 2 шт.;
- годинникове скло – 1 шт.

### 3. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка (рис. 5) складається з реактора 1, що містить скляну насадку 2, до верхньої частини якого приєднана краплинна лійка 3 з розчином нітратної кислоти і колба Вюрца 4 з розчином аміаку, яка встановлена на колбонагрівнику 5. Нижня частина реактора 1 з'єднана з гідрозатвором 6.

Установка працює таким чином. Після ввімкнення колбонагрівника 5 аміак починає випаровуватися з розчину і з колби Вюрца 4 потрапляє в реактор 1. Там він змішується з розчином нітратної кислоти, який капає із краплинної лійки 3. У реакторі на поверхні насадки 2 відбувається реакція (5). Надлишок аміаку та повітря, яке він витісняє з реактора 1, надходять у гідрозатвор 6, де аміак розчиняється у воді. Розчин амонійної селітри, що утворився, збирається в нижній частині реактора 1.



**Рис. 5. Лабораторна установка для моделювання виробництва амонійної селітри:**

1 – реактор; 2 – скляна насадка; 3 – краплинна лійка; 4 – колба Вюрца; 5 – колбонагрівник; 6 – гідрозатвор.

### 4. ПИТАННЯ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Під час лабораторних занять заборонено:

- розпочинати роботу без дозволу викладача;
- вмикати та вимикати колбонагрівник вологими руками;
- залишати без нагляду ввімкнену установку.

Усі роботи, окрім аналізів, необхідно проводити тільки під витяжкою.  
Кожну рідину належить відбирати за допомогою окремого мірного посуду.  
Особливої обережності слід дотримуватися в процесі роботи з нітратною кислотою. У випадку потрапляння її на відкриті ділянки шкіри треба негайно промити їх рясним струменем води та обробити содовим розчином.

## 5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

У ході виконання роботи необхідно:

- уважно ознайомитися із завданням;
- не захарашувати своє робоче місце предметами, що не стосуються виконуваної роботи;
- не відволікатися та не заважати товаришам, нічого не брати з іншого столу – все необхідне для виконання роботи наявне на вашому робочому місці;
- у разі виникнення будь-яких ускладнень звертатися за роз'ясненням до викладача або лаборанта;
- після закінчення роботи навести порядок на робочому місці.

Обов'язково потрібно дотримуватися наведених у розд. 4 вимог техніки безпеки.

### Попередні визначення та розрахунки

1. Визначити титр розчину нітратної кислоти  $T_{HNO_3}$  за формулою (8).
2. За вихідним об'ємом нітратної кислоти  $V_{HNO_3}$ , заданим викладачем, розрахувати початкову масу нітратної кислоти:  
(6)
3. Визначити титр розчину аміаку  $T_{NH_3}$  за формулою (9).
4. За рівнянням реакції (5) обчислити необхідний для досліду об'єм розчину аміаку:

$$V_{NH_3} = 1,5 \cdot \frac{17}{63} \cdot \frac{m_{HNO_3}}{T_{NH_3}}, \text{ см}^3, \quad (7)$$

де 1,5 – коефіцієнт запасу, який враховує втрати аміаку.

5. Зважити на технічних вагах з точністю до 0,02 г випарну чашку для амонійної селітри. Результат занести в табл. 1 як .

### Хід досліду

1. Переконатися, що всі з'єднання лабораторної установки герметичні.
2. Відміряти мірним циліндром та залити в краплинну лійку 3 (рис. 5) за закритого крана задану викладачем кількість розчину нітратної кислоти.
3. Відміряти мірним циліндром та залити в колбу Вюрца 4 розраховану кількість розчину аміаку. Колбу Вюрца щільно закрити пробкою.
4. Ввімкнути колбонагрівник 5.
5. Поява пухирчиків повітря з кінця гумової трубки в гідрозатворі 6 означає, що в реактор 1 почав надходити аміак, який виділяється з розчину в колбі Вюрца 4. Слід обережно відкрити кран краплинної лійки 3 так, щоб у реактор 1 падала не більш ніж 1 крапля розчину кислоти за секунду.

6. Після того як у краплинній лійці 3 закінчиться кислота, її кран закрити й продовжувати дослід ще протягом 5–10 хв.

7. Зняти гумову трубку з нижньої частини реактора 1 і вилити з нього розчин амонійної селітри у випарну чашку.

8. Перевірити кислотність розчину амонійної селітри за допомогою індикаторного паперу. Якщо розчин має кислу реакцію, залити його в краплинну лійку 3 і повторити всі дії згідно з пп. 6-7.

9. Краплинну лійку 3 і реактор 1 промити приблизно 20 см<sup>3</sup> дистильованої води. Промивні води долити до розчину аміачної селітри у випарній чашці.

10. Коли реакція розчину амонійної селітри стане нейтральною або лужною, його у випарній чашці поставити на піщану баню та, помішуючи скляною паличкою, упарити до появи твердих кристалів. Після цього упарювання негайно припинити, щоб температура кристалів не досягла межі їх розкладу (210 °С).

11. Вимкнути колбонагрівник 5.

12. Випарну чашку з кристалами амонійної селітри поставити в ексікатор для охолодження.

13. Охолоджену випарну чашку з кристалами зважити на технічних вагах з точністю до 0,02 г. Результат занести в табл. 1 як . Після зважування чашку поставити в ексікатор.

## 6. МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ

### Визначення титру розчину нітратної кислоти

Титр розчину нітратної кислоти визначити титруванням останнього 0,5 н розчином NaOH.

Пробу розчину кислоти об'ємом 5 см<sup>3</sup> відібрати мірною піпеткою і перенести в конічну колбу на 250 см<sup>3</sup>, додати близько 50 см<sup>3</sup> дистильованої води, індикатор (фенолфталеїн або метиловий оранжевий) і титрувати 0,5 н розчином NaOH до стійкої зміни забарвлення.

Величину титру розчину нітратної кислоти обчислити згідно з рівнянням

$$T_{HNO_3} = \frac{63}{1000} \frac{V_{NaOH} \cdot N_{NaOH}}{V_{HNO_3}}, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \quad (8)$$

де  $V_{HNO_3}$  – об'єм розчину нітратної кислоти, взятого для аналізу, см<sup>3</sup>;

$V_{NaOH}$  – об'єм розчину NaOH, витрачений на титрування, см<sup>3</sup>;

$N_{NaOH}$  – нормальність розчину NaOH, г-екв/дм<sup>3</sup>.

### Визначення титру розчину аміаку

Титр розчину аміаку визначити титруванням останнього 0,5 н розчином HCl.

Пробу розчину аміаку об'ємом 5 см<sup>3</sup> відібрати мірною піпеткою і перенести в конічну колбу на 250 см<sup>3</sup>, додати близько 50 см<sup>3</sup> дистильованої води, індикатор (фенолфталеїн або метиловий оранжевий) і титрувати 0,5 н розчином HCl до стійкої зміни забарвлення.

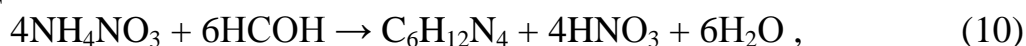
Величину титру розчину аміаку обчислити за рівнянням

$$T_{NH_3} = \frac{17}{1000} \frac{V_{HCl} \cdot N_{HCl}}{V_{NH_4OH}}, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \quad (9)$$

де  $V_{NH_4OH}$  – об'єм розчину аміаку, взятого для аналізу,  $\text{см}^3$ ;  
 $V_{HCl}$  – об'єм розчину HCl, витрачений на титрування,  $\text{см}^3$ ;  
 $N_{HCl}$  – нормальність розчину HCl, г-екв/дм<sup>3</sup>.

### Визначення вмісту амонійної селітри та амонійного азоту в отриманому продукті

Вміст амонійного азоту визначити формальдегідним методом. Його суть полягає в тому, що в процесі взаємодії формальдегіду з аміачною селітрою відбувається реакція



в ході якої утворюються гексаметилентетрамін і нітратна кислота. Останню відтитрувати розчином лугу.

Визначення вмісту амонійного азоту здійснити таким чином.

1. На аналітичних вагах з точністю до 0,0002 г зважити годинникове скло.
2. Насипати на фільтр 1,5–2,0 г отриманого продукту та зважити годинникове скло з продуктом. Результати зважування занести до таблиці як  $m_{\text{скла}}$  та  $m_{\text{скла+продукту}}$  відповідно.

3. Наважку продукту через лійку змити з годинникового скла дистильованою водою в мірну колбу на 250  $\text{см}^3$ , перемішати до повного розчинення кристалів. Довести розчин до позначки дистильованою водою та ретельно перемішати.

4. Відміряти мірним циліндром 50  $\text{см}^3$  розчину формальдегіду (40%), перенести у конічну колбу на 250  $\text{см}^3$ , додати 3–5 крапель фенолфталеїну.

5. Якщо розчин формальдегіду має кислу реакцію, нейтралізувати його 0,1 н розчином NaOH, додаючи останній із бюретки, до появи рожевого забарвлення.

6. Із мірної колби відібрати піпеткою 25  $\text{см}^3$  розчину продукту і перенести в конічну колбу на 250  $\text{см}^3$ , додати 3–5 крапель фенолфталеїну.

7. Якщо розчин солі має кислу реакцію, нейтралізувати його 0,1 н розчином NaOH, додаючи останній із бюретки, до появи рожевого забарвлення.

8. До нейтралізованого розчину солі додати 10  $\text{см}^3$  нейтралізованого розчину формальдегіду, 3–5 крапель фенолфталеїну, перемішати, витримати протягом 1–2 хв.

9. Витриманий розчин відтитрувати розчином 0,1 н NaOH до слабо-рожевого забарвлення.

10. Вміст  $NH_4NO_3$  в продукті розрахувати за формулою

де  $V_{NaOH}$  – об'єм 0,1 н розчину NaOH, витраченого на титрування,  $\text{см}^3$ ;  
0,008 – маса нітрату амонію, відповідна масі гідроксиду натрію, що міститься в 1  $\text{см}^3$  0,1 н розчину, г;

– маса наважки продукту, г.

11. Вміст амонійного азоту в продукті визначити згідно з формулою

де 0,0014 – маса амонійного азоту, відповідна масі гідроксиду натрію, що міститься в 1 см<sup>3</sup> 0,1 н розчину, г.

## 7. МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКІВ

### Розрахунок відносного виходу амонійної селітри

Відносний вихід амонійної селітри визначити за формулою

$$\Phi_{NH_4NO_3} = \frac{x_{NH_4NO_3} m_{\text{продукту}}}{m_{NH_4NO_3}^{\text{теор.}}} \cdot 100, \% , \quad (13)$$

де – маса отриманого продукту:

$$, \text{ г}; \quad (14)$$

– теоретичний вихід амонійної селітри, г, розрахований за рівнянням реакції (5) за умови, що реакція пройшла до кінця:

де  $m_{HNO_3}$  – маса азотної кислоти, взятої для досліду, г.

### Розрахунок ступеня перетворення нітратної кислоти та аміаку на готовий продукт

Величину ступеня перетворення нітратної кислоти на готовий продукт обчислити згідно з формулою

Величину ступеня перетворення аміаку на готовий продукт обчислити за формулою

## 8. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДУ

Усі експериментальні результати, отримані в ході виконання досліду, а також результати розрахунків занести в табл. 1.

Таблиця 1. Результати досліду

Величина	Значення
<b>Визначення титру розчину нітратної кислоти</b>	
Об'єм розчину нітратної кислоти, взятого для аналізу, см <sup>3</sup>	$V_{HNO_3} =$
Нормальність розчину NaOH, г-екв/дм <sup>3</sup>	$N_{NaOH} =$
Об'єм розчину NaOH, витраченого на титрування, см <sup>3</sup>	$V_{NaOH} =$
Титр нітратної кислоти, г/см <sup>3</sup>	$T_{HNO_3} = \frac{63}{1000} \frac{V_{NaOH} \cdot N_{NaOH}}{V_{HNO_3}} =$

*Продовження табл. 1*

Величина	Значення
<b>Визначення титру розчину аміаку</b>	
Об'єм розчину аміаку, взятого для аналізу, см <sup>3</sup>	$V_{NH_3OH} =$
Нормальність розчину HCl, г-екв/дм <sup>3</sup>	$N_{HCl} =$
Об'єм розчину HCl, витраченого на	$V_{HCl} =$

титрування, см <sup>3</sup>	
Титр розчину аміаку, г/см <sup>3</sup>	$T_{NH_3} = \frac{17}{1000} \frac{V_{HCl} \cdot N_{HCl}}{V_{NH_4OH}} =$
<b>Попередні розрахунки</b>	
Вихідний об'єм нітратної кислоти, см <sup>3</sup>	$V_{HNO_3} =$
Маса азотної кислоти, взятої для досліду, г	$m_{HNO_3} = V_{HNO_3} \cdot T_{HNO_3} =$
Необхідний для досліду об'єм розчину аміаку, см <sup>3</sup>	$V_{NH_3} = 1,5 \cdot \frac{17}{63} \cdot \frac{m_{HNO_3}}{T_{NH_3}} =$
<b>Визначення вмісту амонійної селітри та амонійного азоту в отриманому продукті</b>	
Маса годинникового скла, г	$m_{скла} =$
Маса годинникового скла з наважкою продукту, г	$m_{скла+продукту} =$
Маса наважки продукту, г	$m_{наважки} = m_{скла+продукту} - m_{скла} =$
Об'єм 0,1 н розчину NaOH, витраченого на титрування, см <sup>3</sup>	$V_{NaOH} =$
Вміст NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> в продукті, %	=
Вміст амонійного азоту в продукті, %	=
<b>Розрахунок відносного виходу амонійної селітри</b>	
Маса пустої випарної чашки, г	=
Маса випарної чашки з продуктом, г	
Маса продукту, г	=
Теоретичний вихід амонійної селітри, г	$m_{NH_4NO_3}^{теор.} = \frac{80}{63} m_{HNO_3} =$
Відносний вихід амонійної селітри, %	$\Phi_{NH_4NO_3} = \frac{x_{NH_4NO_3} m_{продукту}}{m_{NH_4NO_3}^{теор.}} 100 =$
<b>Розрахунок ступеня перетворення нітратної кислоти та аміаку</b>	
Ступінь перетворення нітратної кислоти у готовий продукт	
Ступінь перетворення аміаку у готовий продукт	

## 9. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ЛАБОРАТОРНОГО РЕАКТОРА

За даними табл. 1, а також дод. 1 і дод. 2 скласти матеріальний баланс лабораторного реактора (табл. 2).

Таблиця 2. Матеріальний баланс лабораторного реактора.

ПРИХОД			ВИТРАТИ		
Стаття	Маса, г	%	Стаття	Маса, г	%
Розчин нітратної кислоти			Продукт		



HNO <sub>3</sub>	$m_{HNO_3} =$		NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	=	
H <sub>2</sub> O	$m_{H_2O}^{HNO_3} = V_{HNO_3} \cdot \rho_{HNO_3} - m_{HNO_3} =$		Доміш- ки	=	
Розчин аміаку					
NH <sub>3</sub>	$m_{NH_3} = 1,5 \cdot \frac{17}{63} \cdot m_{HNO_3} =$		H <sub>2</sub> O	$m_{H_2O} = m_{H_2O}^{HNO_3} + m_{H_2O}^{NH_3} =$	
H <sub>2</sub> O	$m_{H_2O}^{NH_3} = V_{NH_3} \cdot \rho_{NH_3} - m_{NH_3} =$		Втрати	$\Sigma_1(\text{втраг.}) = K = \Sigma X_1 \text{ приход} -$ $+ m_1(H_2O) =$	
<b>Разом:</b>	=	100	<b>Разом:</b>		100

## 10. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Звіт про виконання лабораторної роботи повинен містити такі дані.

1. Визначення титру розчину нітратної кислоти.
2. Визначення титру розчину аміаку.
3. Визначення вмісту амонійної селітри й амонійного азоту в отриманому продукті.
4. Розрахунок відносного виходу амонійної селітри та ступеня перетворення нітратної кислоти й аміаку на готовий продукт.
5. Матеріальний баланс лабораторного реактора.
6. Висновки.

## 11. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ Й ЗАВДАННЯ

1. У чому полягає необхідність виробництва амонійної селітри?
2. Наведіть основні фізико-хімічні властивості амонійної селітри.
3. Які особливості має зберігання та використання амонійної селітри?
4. Що є сировиною для виробництва амонійної селітри?
5. Поясніть хімізм утворення амонійної селітри.
6. Опишіть технологічну схему виробництва амонійної селітри й поясніть її функціонування.
7. Опишіть будову апарата ВТН і поясніть принцип його роботи.
8. Опишіть будову лабораторної установки для моделювання виробництва амонійної селітри і поясніть її роботу.
9. Дайте характеристику якості змодельованого в ході виконання лабораторної роботи технологічного процесу виробництва амонійної селітри.
10. Чим обумовлена величина відносного виходу амонійної селітри, отриманої в процесі виконання лабораторної роботи?
11. Оцініть якість продукту, отриманого в ході виконання лабораторної роботи.
12. Поясніть структуру матеріального балансу лабораторного реактора для отримання амонійної селітри
13. Охарактеризуйте похибки, допущені в ході виконання лабораторної роботи.
14. Які достоїнства та недоліки має лабораторна установка?
15. Запропонуйте ваш варіант будови лабораторної установки для

модельовання виробництва амонійної селітри і/або конструкцію лабораторного реактора.

### СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Алексеев, В.Н. Количественный анализ [Текст]: в 2 т. Т. 2 / В.Н. Алексеев. – 2-е изд., перераб. – М.: Госхимиздат, 1958 . – 559 с.

Загальна хімічна технологія [Текст] / В.Т.Яворський, Т.В.Перекупко, З.О.Знак, Л.В.Савчук. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. – 552 с.

Кутепов, А.М. Общая химическая технология [Текст]: учеб. для техн. вузов / А.М.Кутепов, Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. – М.: Высш. шк., 1985. – 448 с.

Определение содержания аммиачной и кальциевой селитры в растворе окислителя МТ-12-2006 [Текст]: методика. – Павлоград: ГП «НПО«ПХЗ», 2006. – 40 с.

Позин, М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот) [Текст]: в 2 т. Т. 1 / М.Е.Позин. – Л.: Химия, 1974. – 768 с.

Справочник азотчика [Текст] / под. ред. Е.Я.Мельникова. – М.: Химия., 1969. – 444 с.

Справочник химика-аналитика [Текст] / А.И.Лазарев, И.П.Харламов, П.Я.Яковлев, Е.Ф.Яковлева. – М.: Металлургия, 1976. – 184 с.

Технология связанного азота [Текст] / В.И.Атрощенко [и др.]; под ред. В.И.Атрощенко. – К.: Вища шк., 1985. – 327 с.

## ДОДАТКИ

**Додаток 1. Густина і концентрація розчинів нітратної кислоти (20°C)**

Густина, г/см <sup>3</sup>	Вміст		Густина, г/см <sup>3</sup>	Вміст		Густина, г/см <sup>3</sup>	Вміст		Густина, г/см <sup>3</sup>	Вміст	
	%	г/дм <sup>3</sup>		%	г/дм <sup>3</sup>		%	г/дм <sup>3</sup>		%	г/дм <sup>3</sup>
1,3040	49	639	1,3769	62	853,7	1,4337	75	1075	1,4773	88	1300
1,3100	50	655	1,3818	63	870,5	1,4375	76	1093	1,4800	89	1317
1,316	51	671,2	1,3866	64	887,4	1,4413	77	1110	1,4826	90	1334
1,3219	52	687,4	1,3913	65	904,3	1,4450	78	1127	1,4850	91	1351
1,3278	53	703,7	1,3959	66	921,3	1,4486	79	1144	1,4873	92	1368
1,3336	54	720,1	1,4004	67	938,3	1,4521	80	1162	1,4892	93	1385
1,3393	55	736,6	1,4048	68	955,3	1,4555	81	1179	1,4912	94	1402
1,3449	56	753,1	1,4091	69	972,3	1,4589	82	1196	1,4932	95	1419
1,3505	57	769,8	1,4134	70	989,4	1,4622	83	1214	1,4952	96	1435
1,3560	58	786,5	1,4176	71	1006	1,4655	84	1231	1,4974	97	1452
1,3614	59	803,2	1,4218	72	1024	1,4686	85	1248	1,5008	98	1471
1,3667	60	820	1,4258	73	1041	1,4716	86	1266	1,5056	99	1491
1,3719	61	836,9	1,4298	74	1058	1,4745	87	1283	1,5129	100	1513

**Додаток 2. Густина і концентрація розчинів аміаку (20°C)**

Густина, г/см <sup>3</sup>	Вміст		Густина, г/см <sup>3</sup>	Вміст	
	%	г/дм <sup>3</sup>		%	г/дм <sup>3</sup>
0,9939	1	9,939	0,9362	16	149,8
0,9895	2	19,79	0,9328	17	158,6
0,9853	3	29,56	0,9295	18	167,3
0,9811	4	39,24	0,9262	19	175,8
0,9770	5	48,85	0,9229	20	184,6
0,9730	6	58,38	0,9196	21	193,1
0,9690	7	67,83	0,9164	22	201,6
0,9651	8	77,21	0,9132	23	210,0
0,9613	9	86,52	0,9101	24	218,4
0,9575	10	95,75	0,9070	25	226,8
0,9538	11	104,9	0,9040	26	235,0
0,9501	12	114,0	0,9010	27	243,3
0,9465	13	123,0	0,8980	28	251,4
0,9430	14	132,0	0,8950	29	259,6
0,9396	15	140,9	0,8920	30	267,6

### Додаток 3. Основні властивості технічної амонійної селітри

Залежно від призначення випускають амонійну селітру двох марок: А – для промисловості, Б – для сільського господарства. Допустимим є застосування селітри марки Б в промисловості. Для зменшення гігроскопічності та злежування у марку Б вводять різні кондиціонувальні добавки (доломітну, сульфатну або магнієву). Доломітна добавка – подвійна вуглекисла сіль кальцію і магнію та осадова карбонатна гірська порода, що цілком або переважно складається з мінералу доломіту (приблизно 95%), звичайно з домішками кальциту, іноді гіпсу, ангідриту та оксидів заліза.

#### Фізико-хімічні показники амонійної селітри за ГОСТ 2-85

Показник	Норма для марки та сорту			
	А	Б		
		вищий	перший	другий
Сумарна масова частка нітратного та амонійного азоту в перерахунку: – на $\text{NH}_4\text{NO}_3$ у сухій речовині, %, не менша – на азот в сухій речовині, %, не менша	98  Не нормується	Не нормується 34,4	Не нормується 34,4	Не нормується 34,0
Масова частка води, %, не більша: – з сульфатною та сульфатно-фосфатною добавками – з добавками нітратів кальцію та магнію	0,2  0,3	0,2  0,3	0,2  0,3	0,3  0,3
Рівень рН 10%-го водного розчину, не менший: – з сульфатно-фосфатною добавкою	5,0 4,0	5,0 4,0	5,0 4,0	5,0 4,0
Масова частка речовин, нерозчинних в 10%-му розчині азотної кислоти, %, не більша	0,2	Не нормується		
Гранулометричний склад: – масова частка гранул розміром 1–3 мм, %, не менша – масова частка гранул розміром 1–4 мм, %, не менша – масова частка гранул розміром, меншим 1 мм, %, не більша – масова частка гранул розміром понад 6 мм, %	93  Не нормується  40,0	Не нормується 95 80 30,0	Не нормується 95 50 30,0	Не нормується 95 Не нормується 40,0
Статична міцність гранул, Н/гранулу (кг/гранулу), не менша: – з сульфатною та сульфатно-фосфатною добавками – з добавками нітратів кальцію та магнію	  5 (0,5)	10 (1,0) 8 (0,8)	 7 (0,7)	 5 (0,5)
Розсипчастість, не менша	100	100	100	100

## ЗМІСТ

Вступ	3
1. Теоретичні основи виробництва амонійної селітри	3
2. Реактиви й обладнання	9
3. Опис лабораторної установки	10
4. Питання техніки безпеки	10
5. Порядок виконання роботи	11
6. Методики аналізу	12
7. Методики розрахунків	14
8. Результати досліду	14
9. Матеріальний баланс лабораторного реактора	16
10. Вимоги до оформлення звіту	16
11. Контрольні запитання й завдання	16
Список рекомендованої літератури	17
Додатки	18