

ВОЛОШИН М.Д., д.т.н, професор  
МАХОВСЬКА Ю.О., здобувач  
МАХОВСЬКИЙ В.О., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА АМОФОСУ В УМОВАХ ВІБРОГРАНУЛЯЦІЇ

**Вступ.** Хімічна промисловість розвивається та збільшує виробництво потрібних і важливих для народного господарства продуктів. Мінеральні добрива, отрутохімікати для боротьби зі шкідниками сільськогосподарських рослин, пластичні маси, каучук і гума, штучні волокна і тканини, кислоти, луги, медичні препарати й замітники харчових продуктів – ось далеко не повний перелік багатств, що створюються хімією [1].

Ринок мінеральних добрив розвивається високими темпами, чому сприяв ріст аграрного виробництва в цілому і зростання попиту на світовому ринку зокрема. У результаті пропозиція мінеральних добрив на ринку, що формується за рахунок власного виробництва й імпорту продукції, зростала [2].

Хімічні підприємства з урахуванням існуючої кон'юнктури переорієнтувалися із внутрішнього неплатоспроможного ринку на світовий, внаслідок чого означений сегмент впродовж останнього десятиліття забезпечував, поряд із металургійною галуззю, значну частку валютних надходжень держави. Мінеральні добрива є важливим джерелом повернення поживних речовин у ґрунт і основою забезпечення сучасних інтенсивних технологій та прибуткового ведення агробізнесу [3].

Останніми роками в Україні відзначається ріст використання основних видів мінеральних добрив, а також збільшення обсягів внесення комплексних добрив. Попит на добрива в Україні формують господарства різних організаційно-правових форм і розмірів землекористування, в тому числі великі агрохолдинги, де значну увагу приділяють інтенсифікації сільськогосподарського виробництва [4].

**Постановка задачі.** Удосконалити процес виробництва амофосу за рахунок встановлення насадок апарату барабанних грануляторів-сушарок (БГС).

**Результати роботи.** Амофос – вискоєфективне гранульоване комплексне азотно-фосфорне добриво. Застосовується в сільському господарстві для вирощування зернових, плодкових, овочевих, ягідних і декоративних культур у відкритому і захищеному ґрунті. Використовується для різних ґрунтів в якості основного, передпосівного і припосівного добрива, а також річної підгодівлі розсипом і розчинами [5].

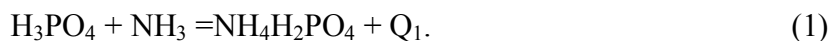
Амофос може бути використаний для отримання складних і комплексних добрив.

Сировиною для отримання амофосу є екстракційна фосфорна кислота, отримана з фосфориту і аміак (рідкий, газоподібний) [6]. Аміак у відділення амофосу на ділянку сатурації подається по трубопроводу з складу. Фосфорна кислота або її суміш з відпрацьованим абсорбентом подається насосом безпосередньо в апарат ШАВ (швидкісний амонізатор-випарник).

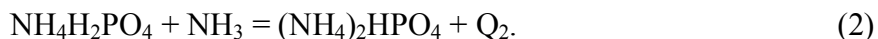
При звичайному технологічному режимі нейтралізація фосфорної кислоти в апараті ШАВ ведеться рідким аміаком. Рідкий аміак в апараті ШАВ спочатку випаровується, а потім газоподібний аміак взаємодіє з фосфорною кислотою.

У результаті процесу нейтралізації виходить амофосна пульпа низької концентрації [7].

Взаємодія аміаку з фосфорною кислотою спочатку йде по екзотермічній реакції з утворенням моноамонійфосфату:

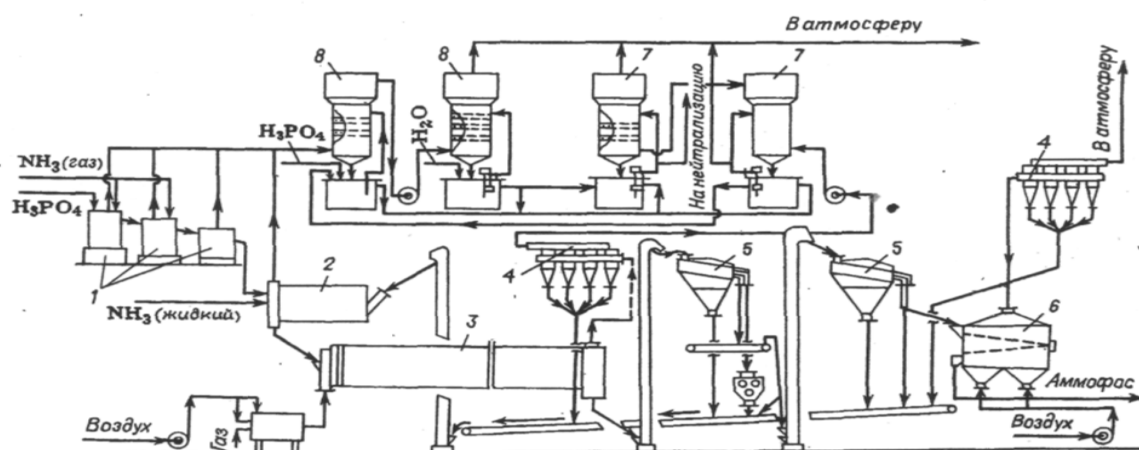


При подачі на стадію нейтралізації аміаку більше, ніж необхідно за стехіометрією для реакції протікає екзотермічна реакція з утворенням діамонійфосфату:



Принципова схема виробництва гранульованого амофосу з фосфорної кислоти, отриманої на основі фосфориту, складається з наступних стадій (рис. 1):

1. Нейтралізація фосфорної кислоти аміаком з отриманням пульпи амофосу.
2. Підупарювання амофосної пульпи у випарному апараті.
3. Сушка, грануляція амофосної пульпи в барабанних грануляторах-сушарках (БГС), класифікація висушеного продукту і абсорбція газів, що відходять.
4. Охолодження готового продукту.



- 1 – нейтралізатори; 2 – амонізатор-гранулятор; 3 – сушильний барабан;  
4 – циклони; 5 – грохоти; 6 – охолоджувач гранул; 7,8 – абсорбери

Рисунок 1 – Схема виробництва гранульованого амофосу з амонізатором-гранулятором

Фосфорна кислота зі сховищ відділення екстракції горизонтальним насосом подається у відділення амофосу на абсорбцію у витратні баки. Регулювання подачі проводиться клапанами за рівнем в баках. Після абсорбції фосфорна кислота з витратних баків зануреними насосами з бака 12 перекачується в сатуратор 3, а звідти горизонтальним насосом абсорбційна рідина подається в циркуляційну трубу апарату ШАВ. Також в нижню частину циркуляційної труби через форсунку подається рідкий аміак. У результаті взаємодії аміаку з фосфорною кислотою в апараті ШАВ відбувається реакція нейтралізації, що супроводжується великим виділенням тепла з отриманням амофосної пульпи. Залежно від кількості подаваного аміаку реакція йде з утворенням солей моноамонійфосфату або діамонійфосфату.

Якщо мольне співвідношення  $\text{NH}_3:\text{H}_3\text{PO}_4 = 1:1$ , то весь продукт (пульпа) виходить у вигляді солі моноамонійфосфату. Для більш глибокої нейтралізації фосфорної кислоти на практиці аміак подають з надлишком, при цьому частина солі моноамонійфосфату нейтралізується до солі діамонійфосфату. Співвідношення солей моно-і діамонійфосфату в готовому продукті становить 4:1, які утворюють складову частину амофосу. Сіль діамонійфосфату має більшу розчинність проте сіллю моноамонійфосфату і забезпечується рухливість пульпи в ході процесу нейтралізації, і збільшується вміст азоту в готовому продукті. Для коригування вмісту  $\text{P}_2\text{O}_5$  в готовому продукті зі сховищ насосами відділення екстракції, через витратомір в ШАВ подається гідролізна сірчана кислота. У верхню частину ШАВ (при необхідності) подається газоподібний аміак.

У ході процесу нейтралізації протікає ряд побічних реакцій, обумовлених наявністю у фосфорній кислоті сполук кальцію, фтору, заліза, алюмінію.

Інтенсивне перемішування пульпи в апараті ШАВ відбувається за рахунок різниці температур у нижній і верхній частині апарата. Отримана амофосна пульпа з рН 3,7-4,5, через верхній бічний штуцер апарату ШАВ переливається в видатковий бак пульпи, з'єднаний нижнім перетіканням з видатковим баками пульпи.

За рахунок великого виділення тепла в ході процесу нейтралізації в апараті ШАВ температура пульпи піднімається до 100-115°C, при цьому 15% вологи, що надходить з фосфорною кислотою випаровується. Разом з парами води в газову фазу частково виділяється аміак і газоподібні сполуки фтору.

Новоутворена парогазоповітряна суміш, відсмоктується з апарату ШАВ вентилятором ШАВ подається на абсорбцію в скрубєр.

Зрошення в скрубєрі проводиться фосфорною кислотою насосом з бака. Абсорбційна рідина відокремлюється від пароповітряної суміші і надходить через нижній штуцер скрубєра в бак, утворюючи замкнутий цикл з виведенням з бака в сатуратор. Після чого очищені гази у складі організованого газоподібного викиду виводяться в атмосферу через вихлопну трубу. З витратного бака амофосна пульпа занурювальним насосом перекачується в випарний апарат або безпосередньо у видатковий бак. З бака зануреними насосами пульпа подається на форсунки, встановлені в апаратах БГС (барабана грануляційна сушарка). З витратного бака амофосна пульпа занурювальним насосом б перекачується в випарний апарат або безпосередньо у видатковий бак. З бака зануреними насосами пульпа подається на форсунки, встановлені в апаратах БГС. Контроль за станом повітряного середовища в приміщенні проводиться газоаналізатором. При підвищенні вмісту аміаку вище ПДК (20 мг/м<sup>3</sup>) газоаналізатор включає світлову, звукову аварійну сигналізацію, спрацьовує відсічення подачі газоподібного і рідкого аміаку у виробництво.

Включається аварійна вентиляція.

*Доупарювання пульпи в випарному апараті.* Випарний апарат являє собою ємність трапецієдальної форми, в якій підтримується постійний рівень пульпи. Топкові гази, що одержують при згорянні природного газу в ГВК з температурою до 920°C ( $t_{вх}$ ) подаються в випарний апарат через барботажну трубу, заглиблену під шар пульпи на 30 ... 40 мм, де контактує з пульпою. Пульпу доупарюють до вмісту вологи 35...40% при цьому її щільність 1280 ... 1350 кг/м<sup>3</sup>. Потім пульпа самопливом через переливний кишень з випарного апарату переливається в прийомний бак упареної пульпи.

Для зменшення заростання барботажної труби і газоходу випарного апарату, вихідна пульпа подається безпосередньо на барботажну трубу і на зрошення вертикального ділянки газоходу після, а для ліквідації заростання стелі, стеля апарату омивається циркуляційною пульпою від горизонтального насоса.

Для зливу пульпи і осаду в нижній частині випарного апарату розташований зливний (донний) кран. Для зменшення заростання днища випарного апарату передбачена подача пари через барботажні труби.

Відходить парогазоповітряна суміш від випарного апарату з температурою до 90°C відсмоктується вентилятором і проходить очищення від аміаку, фторовмісних з'єднань і бризок пульпи в зрошуваному абсорбційної рідиною газоході. Зрошення в газоході створюється відцентровим занурювальним насосом з бака та здійснюється двома розпилювальними форсунками, встановленими безпосередньо в газоході таким чином: одна – по стелі, інша – проти потоку парогазоповітряної суміші. Абсорбційна рідина відокремлюється від парогазоповітряної суміші в краплевіддільники і надходить в бак, утворюючи замкнутий цикл з виведенням з бака у випарний апарат. Підживлення бака здійснюється технічною водою.

Очищені гази у складі організованого газоподібного викиду виводяться в атмосферу через вихлопну трубу.

Робота випарного апарату передбачає автоматику безпеки на газоповітряному калорифері, тобто припинення подачі газу в наступних випадках:

- зрив факела;
- падіння тиску первинного повітря, нижче  $20 \text{ кгс/м}^2$ ;
- падіння тиску вторинного повітря, нижче  $166 \text{ кгс/м}^2$ ;
- падіння тиску природного газу нижче  $65 \text{ кгс/м}^2$ ;
- підвищення тиску природного газу вище  $580 \text{ кгс/м}^2$ ;
- падіння розрідження в газоході перед хвостовим вентилятором менш  $(-2) \text{ кгс/м}^2$  (зупинка хвостового вентилятора). Грануляція та сушка амофосної пульпи в апаратах БГС, класифікація продукту. Грануляція та сушка амофосної пульпи здійснюється в апаратах барабанного типу БГС.

Упарена пульпа із вмістом вологи 35-40% або не упарена пульпа із вмістом вологи 50-55% з витратного бака пульпи занурювальним насосом через витратомір подається на форсунку розпилю пульпи, де стисненим повітрям розбризкується на дрібні краплі і наноситься на частинки ретур, що знаходиться в БГС.

Апарат БГС всередині має підйомно-лопатеву насадку, зворотний шнек, підпірне кільце, відбійні пластини. При обертанні БГС за рахунок лопатної насадки висушуваний продукт безперервно пересипається, утворюючи потужну завісу. Зворотний шнек безперервно переміщує частину продукту в головну частину барабана, а підпірне кільце підтримує в ньому постійний рівень продукту. Безперервно конвеєром в головну частину БГС подається зовнішній ретур (дрібна фракція продукту). Дрібнодисперсна пульпа з форсунки безперервно зрошує частинки завіси, таким чином збільшуючи їх.

При обертанні апарату БГС також протікає процес обдавання частинок. Одночасно з утворенням укрупнених гранул продукту в БГС здійснюється їх сушка. Для цієї мети в БГС прямою до рухомого гранульованому матеріалу з газоповітряного калорифера ГВК подається теплоносій (суміш продуктів згоряння газоподібного палива з повітрям). Температура теплоносія на вході в БГС не більше  $850^\circ\text{C}$  за час перебування продукту в апараті він висушується до кінцевої вологості не більше 1%, температура топкових газів при цьому знижується і на виході з БГС вона повинна бути не більше  $110^\circ\text{C}$ .

Висушений продукт за рахунок кута нахилу БГС рівного  $1,5^\circ$  його обертання, переміщається до розвантажувальної камері. З розвантажувальної камери сухий продукт за тічці надходить на елеватор, яким подається для класифікації на гуркоту (на кожній системі по 2 гуркоту).

На грохотах відбувається поділ на велику, дрібну і товарну фракції.

Велика фракція (більше 4 мм) з верхніх сит надходить на дробарки (під кожним гуркотом 1 дробарка). Частинки, отримані в результаті дроблення великої фракції, надходять на елеватор і далі знову повертаються на гуркоту для повторної класифікації.

Дрібна фракція (менше 1 мм) продукту з грохотів через проміжний бункер по тічці надходить на конвеєр і далі конвеєром в якості зовнішнього ретур направляється в головну частину апарату БГС. Товарна фракція (від 1 до 4 мм) з нижніх сит грохотів надходить на конвеєр і прямує в охолоджувач гранул.

Для запобігання виділенню в повітря робочої зони запиленого повітря від працюючого обладнання вузла класифікації передбачені ущільнення грохотів та елеваторів з відсмоктуванням з них запиленого повітря. Відсмоктування здійснюється хвостовим вентилятором. Запилене повітря перед викидом його на свічку проходить через систему мокрої пилогазоочистки в похилому зрошуваному газоході і в абсорбері.

У процесі сушіння амофосу одночасно з випаровуванням вологи в газову фазу відбувається виділення аміаку і фторовмісних сполук. Аміак виділяється в газову фазу внаслідок терморозпаду діамонійфосфату до моноамонійфосфату.

Фторовмісні сполуки надходять в газову фазу внаслідок терморозпаду кремнефто-

рідів з виділенням  $\text{SiF}_4$  в газову фазу. Із збільшенням температури продукту в апараті БГС збільшується виділення аміаку і фтору, тому процес сушіння в БГС ведуть з температурою відхідних газів – не більше  $110^\circ\text{C}$ , а продукту з БГС – не більше  $95^\circ\text{C}$ . Відходять газу на виході з апарату БГС виносять з собою також і пилоподібні частки продукту.

Перед викидом відходять топоквих газів в атмосферу проводять їх мокру очистку. Для цієї мети забруднені газу простягаються хвостовим вентилятором через зрошувачу газохід і абсорбер пінний швидкісний (АПС).

В якості вузлів 1-й ступені очищення використовується похила ділянка газоходу після БГС (ухил  $7^\circ$  в сторону АПС) з трьома форсунками (перша по потоку, друга і третя – проти потоку парогазоповітряні суміші) зрошують абсорбентом в циклі, подається насосом та з бака та відповідно. В якості абсорбенту на цих стадіях використовується фосфорна кислота. На цій стадії вловлюється пил продукту і аміак.

Друга і третя ступені використовуються для очищення газів від фтору в двохступінчастому абсорбері пінному швидкісному (АПС) із застосуванням в якості абсорбенту абсорбційної рідини з бака. Процес роботи апарату АПС: газ надходить у нижню частину камери і проходить в контактний патрубок. Рідина з кільцевої камери по переливним трубам надходить під нижній обріз контактного патрубку, газорідинний шар проходить сепаруючий елемент, за допомогою якого рідина відокремлюється від газу, стікає по внутрішній стінці корпусу і збирається в нижній частині кільцевої камери, звідки її надлишок зливається в баки. Газ через штуцер виходить з апарату і вентиляторами спрямовується на свічку. *Охолодження готового продукту.* Товарна фракція гранул готового продукту, після вузла класифікації, конвеєром подається в охолоджувач гранул для забезпечення, перед відправкою споживачеві, вимог до продукту по температурі (не вище  $60^\circ\text{C}$ ). Охолодження гранул відбувається при їх контакті з потоком повітря, нагнітається в апарат вентилятором. За рахунок наявності в апараті перфорованої решітки у 2 яруси, досягається рівномірний розподіл повітря по перетину апарату із створенням ефекту «киплячого шару», сприяючого охолодженню матеріалу і пересуванню продукту до місця розвантаження, з використанням шлюзових живильників.

Нагріте повітря, разом виноситься з охолоджувачів пилом продукту проходить мокру очистку в зрошувальному пристрої (з двома зрошувачими форсунками) працює в циклі з баком оснащеним занурювальним насосом. В якості абсорбенту використовується технічна вода і конденсат з вихлопних труб. Конденсат, що збирається в баку, перекачується горизонтальним насосом в бак. З бака абсорбційна вода подається насосом на верхню тарілку АПС. Очищені газу у складі організованого викиду виводяться в атмосферу через вихлопну трубу.

Охолоджений продукт через ваговимірювач надходить на конвеєр 1, звідки самохідним розвантажувальним візком розподіляється по бункерах, або через конвеєр направляється на підлогу західного боку вузла зберігання готового продукту (ВЗГП).

Основними розрахунковими параметрами для вибору конструкційного матеріалу та розрахунку елементів матеріалу на міцність є температура і тиск робочого процесу.

Розрахункова температура стінки апарату залежить від температури робочого середовища, методів обігріву або охолодження апарату і його елементів. Розрахункову температуру визначають на підставі теплових розрахунків або результатів випробувань.

При позитивних температурах за розрахункову температуру стінки апарату приймають найбільшу температуру середовища, стикається із стінкою.

Сучасні апарати хімічної промисловості виготовляють з окремих елементів методом зварювання. Тому при розрахунку апаратів на міцність в розрахункові формули вводяться коефіцієнти міцності зварного шва. При розрахунку хімічних апаратів на міцність вихідними величинами є робоче  $[P]$  і розрахункове  $P$  тиску. Під робочим тиском розуміється максимальний внутрішній надлишковий або зовнішній тиск, який є в апараті при нормальному протіканні технологічного процесу.

У пристрої забезпечується отримання більш вузької фракції гранульованого продукту, переробка нестандартного продукту в продукт першої та вищої категорії якості і підвищення міцності гранул продукту. Таким чином, запропонований пристрій для гранулювання мінеральних добрив дозволяє отримувати гранульований продукт більш вузької фракції, переробляти нестандартний продукт в продукт першої та вищої категорії якості за гранулометричним складом, значно підвищити міцність гранул і знизити їх стиранність (руйнування) у процесі транспортування.

**Висновок.** Під час виконання досліджень виробництва амофосу в умовах віброгрануляції удосконалено технологічний процес, за рахунок встановлення більш оптимальних насадок апарату БГС.

Проаналізовано характеристику сировини, готового продукту та допоміжних матеріалів; фізико-хімічні основи процесу. Підібрана технічна характеристика основного та допоміжного обладнання. За результатами дослідження запропоновано встановити транспортуючу насадку, вдосконалити оптимальні умови технологічного процесу, конструктивні елементи основних апаратів.

Зроблені розрахунки ефективності продукту, в яких кінцевий продукт є економічно вигідним 31,6 грн/т (0,67%), обсяги виробництва збільшуються на 6200 т (5%); рентабельність реалізації продукції становитиме 21,66 %, запас фінансової стійкості 65,8% і, як результат, скорочення імпорту сировини обернеться збільшенням імпорту кінцевої товарної продукції.

За останні 50 років світовий ринок мінеральних добрив збільшився практично в 5 разів, його обсяг наближається до 80 млрд. Його розвиток носить стабільний поступальний характер без істотних спадів, що викликано такими факторами, як скорочення ресурсу вільних світових посівних площ, зростання чисельності світового населення, підвищення вимог до якості продукції, проникнення сільськогосподарської продукції на ринок енергоресурсів. Все це вимагає підвищеної віддачі від сільгоспугідь і тягне зростаюче споживання добрив всіх типів. Обсяг світового виробництва мінеральних добрив в 2019 р. був на рівні 166 млн. т у перерахунку на вміст поживних речовин, що на 4,1% вище від рівня 2018 р.

Світовий ринок добрив сильно постраждав від кризи. Значно скоротилося споживання, але головна проблема – низькі ціни на сільгосппродукцію. Які склалися під час кризи. Такі ціни не дозволяли фермерам купувати добрива за вищою ціною. Тому єдиний варіант для постачальника – адаптуватися до нових умов.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Фосфорные удобрения. Альтернативные пути производства в Украине *Хімічна промисловість України*, 2003, №3. С. 54-55.
2. Ринок мінеральних добрив. *Хімічна промисловість України*. 2012, №4. С. 14-15.
3. Внутрішній товарний ринок хімічної продукції. *Хімічна промисловість України*. 2012, №3. С.10-11.
4. Левченко А.Л., Волошин Н.Д., Иоффе В.А. Дипломное проектирование по химико-технологическим специальностям. Черкассы, 1993. 125 с.
5. Дохолова А.Н., Кармышов В.Ф., Сидорина Л.В. Производство и применение аммофоса. М.: Химия, 1977. 240 с.
6. Технология фосфорных и комплексных удобрений. / Под редакцией С.Д. Эвенчика, А.А. Бродского. М.: Химия, 1987. 464 с.
7. Кононов А.В., Стерлин В.Н., Евдокимова Л.И. Основы технологии комплексных удобрений. М.: Химия, 1988. 320 с.

Надійшла до редколегії 19.11.2020.