

*У статті дано опис процесу гранулоутворення в барабанному грануляторі сушарки та визначено ключові технологічні параметри. Наведено результати дослідження впливу їх на розмір гранул та обґрунтовано значення, при яких вихід товарної фракції буде максимальний*

*Ключові слова: грануляція і сушка, товарна фракція*

*В статье дано описание процесса гранулообразования в барабанном грануляторе сушилки, определены ключевые технологические параметры. Приведены результаты исследования влияния их на размер гранул и обоснованы значения, при которых выход товарной фракции будет максимальный*

*Ключевые слова: грануляция и сушка, товарная фракция*

*The article describes the process of granule formation in a drum granulator of the dryer and identifies the key technological parameters. Results of their influence on granule size are given, values of maximum yield of the commodity fraction are justified*

*Keywords: granulation and drying, commodity fraction*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛЯЦИИ И СУШКИ В ТЕХНОЛОГИИ УДОБРЕНИЙ МАРКИ «СУПЕРАГРО N:P 10:40»

**С. В. Дудка**

Ведущий инженер

ПАО «Укрхимпроект»

Отдел МТ-1

ул. Ильинская, 13, г. Сумы, 40009

Контактный тел.: (0542) 61-04-67, 099-733-26-64

E-mail: svd-sumy@mail.ru

**В. И. Тошинский**

Доктор технических наук,

профессор, заведующий кафедрой

Кафедра Автоматизации химико-технологических систем

и экологического мониторинга

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел.: (057) 707-66-87

### Введение

В настоящее время в Украине производство и применение фосфорсодержащих минеральных удобрений значительно сократилось из-за высокой себестоимости и недостаточно высокой агрохимической эффективности.

В связи с этим на ПАО «Сумыхимпром» разработана рецептура нового высокоэффективного комплексного удобрения Суперагро N:P 10:40 с содержанием 40% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 10% азота и 5% серы.

Широкомасштабный выпуск удобрений этой марки сдерживается существующим аппаратно-технологическим оформлением производства, которое не позволяет добиться однородного гранулометрического состава продукта и приводит к увеличению соотношения ретур-продукт более чем в 2 раза и дополнительным энергозатратам.

В общем случае процесс гранулообразования минеральных удобрений состоит из двух основных стадий: пульпообразования, грануляции и сушки.

В данной статье авторами приводятся данные по исследованию влияния технологических параметров на стадии грануляции и сушки на фракционный состав.

**Целью** данной работы является определение влияния таких технологических параметров как темпера-

тура сушильного агента, разрежение, диаметр капли на процесс гранулообразования сложных минеральных удобрений марки Суперагро N:P 10:40.

### Материалы и результаты исследований

Для проведения экспериментов использована промышленная установка получения гранулированного суперфосфата в барабанных грануляторах сушилках (БГС) на ПАО «Сумыхимпром» рис.1

Аппарат представляет собой наклоненный в сторону выгрузки барабан, вращающийся со скоростью 3—5 об/мин. Аппарат БГС оборудован подъемно-лопастной насадкой для создания завесы ретура, возвратным шнеком и подпорным кольцом, для распыления пульпы на форсунку БГС постоянно подается сжатый воздух.

Физико-механические процессы, протекающие в аппарате, принципиально описываются следующим образом. По внутреннему шнеку непрерывно возвращается часть высушенного продукта в головную часть аппарата БГС. Кроме того, в головную часть аппарата подается скребковым конвейером внешний ретур, полученный в процессе классификации некондиционных гранул. При вращении барабана внутри его образуется мощная завеса из смеси ретурных частиц

высушенного материала. Капли пульпы напыляются на указанные частицы и одновременно теряют влагу. При этом происходит рост зародышей гранул и образование новых.

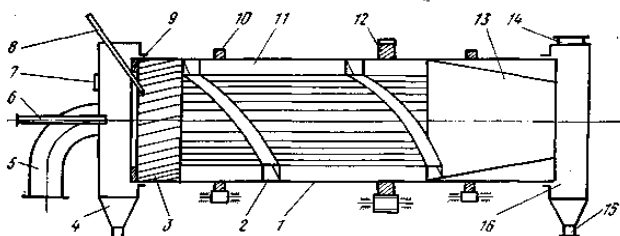


Рис. 1. Схема барабанного гранулятора-сушилки (БГС): 1 — корпус барабана; 2 — обратный шнек; 3 — лопастная насадка; 4 — загрузочная камера; 5 — патрубок для подвода сушильного агента; 6 — форсунка для распыливания пульпы; 7 — смотровое окно; 8 — патрубок для подачи внешнего рецикла; 9 — подпорное кольцо; 10 — бандаж; 11 — полочная насадка; 12 — венцовая шестерня; 13 — конус-классификатор; 14 — патрубок для отвода отработанного сушильного агента; 15 — патрубок для выгрузки гранул; 16 — выгрузочная камера.

На стадии грануляции и сушки решающими параметрами, влияющими на гранулометрический состав, является температура сушильного агента, разрежение в аппарате, диаметр капли распыляемой пульпы [1]. Исследования проводились при постоянных величинах на стадии пульпообразования (табл.1.)

Таблица 1

Технологические параметры на стадии пульпообразования

| Параметр        |                              |     |                           |                            |   |   |   |                                   |   |
|-----------------|------------------------------|-----|---------------------------|----------------------------|---|---|---|-----------------------------------|---|
| Температура, °С | Плотность, г/см <sup>3</sup> | рН  | Влажность пульпы, % масс. | Массовая доля СаО, % масс. | Массовая доля Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> , % масс. | Массовая доля SO <sub>3</sub> , % масс. | Соотношение P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / SO <sub>3</sub> | Соотношение СаО / SO <sub>3</sub> | Эквивалентный диаметр кристалла гипса, мм |
| 93              | 1,35                         | 4,1 | 43                        | 5,5                        | 24  | 2,88                                    | 8,6   | 1,91                              | 0,09                                      |

Так как температура сушильного агента и разрежение в аппарате не связаны между собой физическим смыслом, то можно говорить о влиянии каждого параметра на процесс гранулирования отдельно. Температура сушильного агента изменялась в диапазоне 93-105° С, разрежение от 0,01-0,06 кПа, а диаметр капли 0,1-0,27 мм. Эти зависимости представлены на рис. 2, 3.

Как видно, с увеличением разрежения растет эквивалентный диаметр гранул и падает содержание товарной фракции. В БГС разрежение, создаваемое хвостовым вентилятором, поддерживается в диапазоне 0,01-0,06 кПа для обеспечения отсоса дымовых газов и предотвращения отрыва пламени в горелке топки. При этом действительная скорость газов в аппарате составляет  $w_d=0,7$  м/с. Согласно данным [3,4] скорость витания частиц определяется по зависимости 1 и равняется для частиц 0,09 мм  $w_{св}=0,67$  м/с. Так как  $w_d > w_{св}$  то в аппарате будет происходить унос большого количества влажных частиц от зоны подачи теплоносителя, что приводит к тому, что в зоне контакта теплоносителя с неорошаемой частью завесы вследствие отсутствия влаги происходит перегрев материала и возможно его плавление и разложение. Вследствие ухудшается завеса, уменьшается количество центров гранулообразования происходит плавление продукта и забивается система пылегазоочистки.

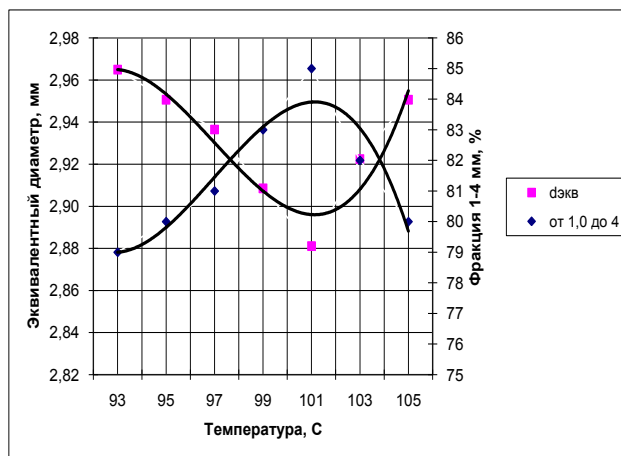


Рис. 2. Зависимость эквивалентного диаметра и фракционного состава гранул от температуры на выходе из БГС. Разрежение 0,06 кПа, диаметр капли 0,3 мм.

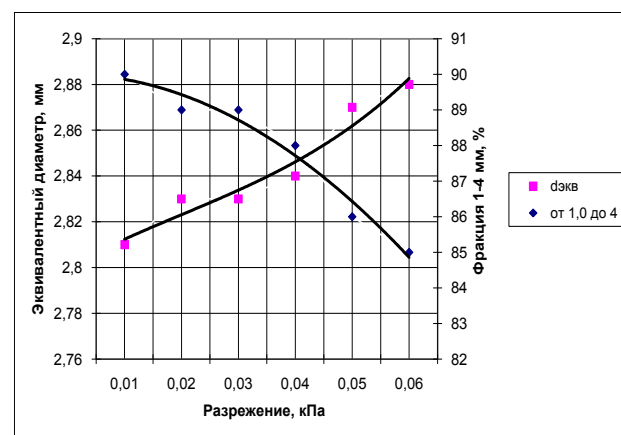


Рис. 3. Зависимость эквивалентного диаметра и фракционного состава гранул от разрежения в БГС. Температуре на выходе из БГС 101° С, диаметр капли 0,3 мм.

$$\omega_{св} = \frac{\mu_{ср}}{d \cdot \rho_{ср}} \left( \frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}} \right) \quad (1)$$

где:  $\mu_{ср}$  и  $\rho_{ср}$  - вязкость и плотность сушильного агента при средней температуре;  $d$ - наименьший диаметр частиц материала;  $A_{\Gamma}$ - критерий Архимеда.

Для предотвращения уноса необходимо снизить действительную скорость газов до 0,6 м/с, что соответствует разрежению 0,01 кПа, при этом выход товарной фракции достигнет максимального значения 90%.

Одним из наиболее важных параметров гранулирования является диаметр капель пульпы распыливаемых на поверхность ретур, т.к чем крупнее капля, тем меньше интенсивность удаления жидкости, тем более вероятен рост гранул на ее поверхности [2]. Это утверждение подтверждается на практике (рис.4).

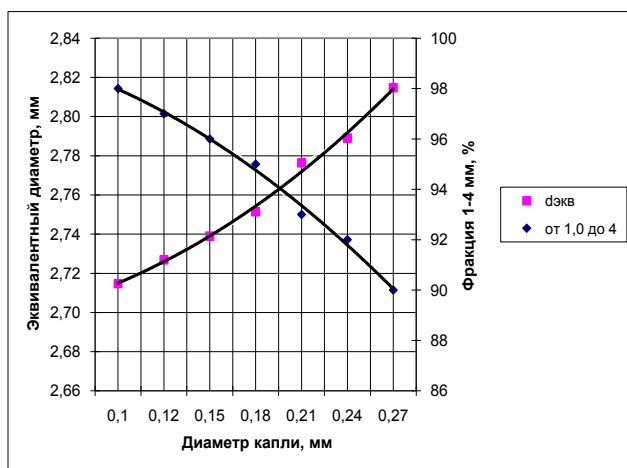


Рис. 4. Зависимость диаметра эквивалентного от диаметра капли

Так, с увеличением диаметра капли увеличивается эквивалентный диаметр гранул на выходе из аппарата БГС и уменьшается содержание товарной фракции. Оптимальным значением диаметра капли будет 0,1мм, т.к. выход товарной фракции будет максимальный 98%. Однако диаметр капли зависит от давления сжатого воздуха, подаваемого на распыл пульпы и конструкции самой форсунки [5]. Эта зависимость представлена на рис.5.

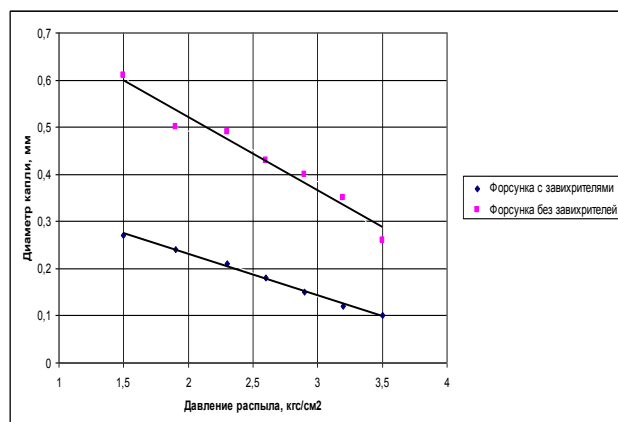


Рис. 5. Зависимость диаметра капли от давления распыла и типа форсунки

Как видно из рис.5, форсунка без завихрителя может получить каплю в диапазонах 0,25-0,6 мм. По-

этому авторы рекомендуют использовать форсунку с завихрителями. При этом при одном и том же давлении воздуха капли пульпы получаются меньшего диаметра. Следует отметить, что увеличение давления воздуха свыше 3,5 кгс/см<sup>2</sup> приводит к пробиванию завесы ретур и забивке лопастной насадке пульпой. Общий вид форсунки с завихрителями представлена на рис.6. Это пневматическая форсунка с установленными 5-ю завихрителями наклоненными по ходу движения пульпы под углами 45° и 30°.

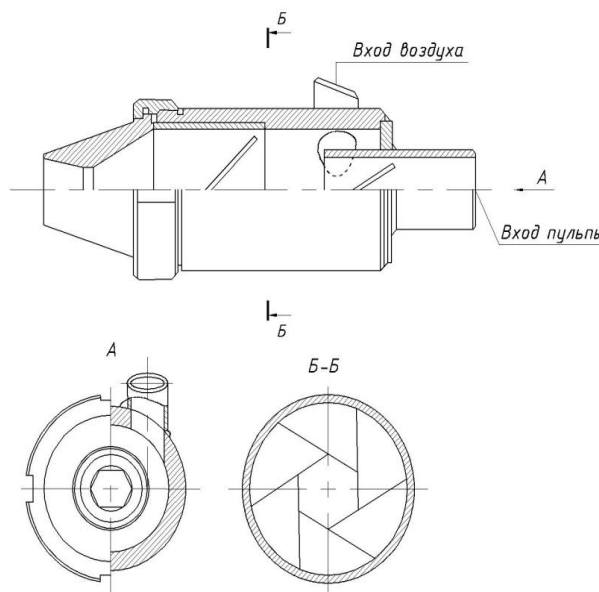


Рис. 6. Форсунка с завихрителями

Эффективная работа форсунок с завихрителями связана с особенностью их гидродинамики, так как в них создается дополнительное гидросопротивление, что ведет к увеличению разности скоростей жидкости и газа, вследствие чего струя жидкости дробится на более мелкие капли [5]. Это видно из зависимости 2,

$$d = d_0 \cdot A \left( \frac{\rho(V_1 - V_2)^2 d_0}{\sigma} \right)^{-0,45} \quad (2)$$

где  $d$  - средний диаметр капли, м;  
 $d_0$  - диаметр жидкостного сопла, м;  
 $V_1$  - скорость воздуха на распыл, м/с;  
 $V_2$  - Скорость жидкости, м/с;  
 $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения, кГ/м;  
 $A$  - Опытный коэффициент для пневматических форсунок низкого давления равно 0,9.

Анализируя полученные результаты, видно, что изменяя технологические параметры на стадии грануляции и сушки увеличивается выход товарной фракции (рис.7)

Из диаграммы видно, что исходным значением товарной фракции является ее выход 75%, который достигается изменением параметров пульпообразования. С последующим изменением параметров гранулирования, таких как температура сушильного агента, разрежение, диаметр капли выход товарной фракции увеличился до 85%, 90%, 98% соответственно.

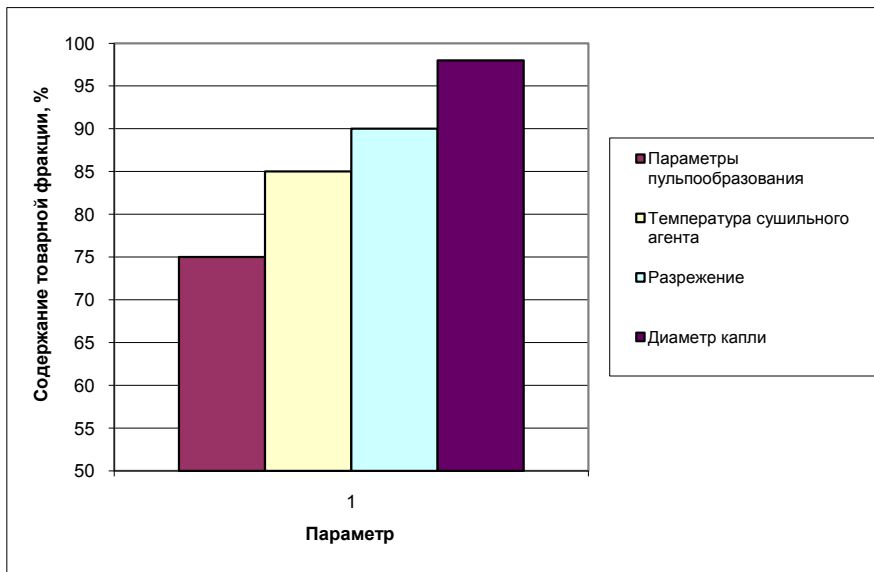


Рис. 7. Диаграмма изменения грансостава товарной продукции в зависимости от основных технологических параметров

**Выводы**

В ходе эксперимента были получены следующие выводы:

1. Влияние температуры сушильного агента на гранулометрический состав носит экстремальный характер. А температура 101° С является оптимальной, при которой товарная фракция на выходе из БГС равна 85%

2. С уменьшением разрежения увеличивается выход товарной фракции с 85% до 90 %.

3. С уменьшением диаметра капли увеличивается выход товарной фракции до 98 %. Для достижения оптимального размера капли 0,1 мм необходимо пульпу распылять пневматической форсункой с завихрителями при давлении сжатого воздуха 3,5 кгс/см<sup>2</sup>.

**Литература**

1. Классен П.В. Основы техники гранулирования [Текст]/ П.В. Классен, И.Г. Гришаев.- М.: Химия, 1982.-272с.
2. Классен П.В. Гранулирование [Текст]/ П.В.Классен, И.Г. Гришаев, И.Н.Шомин.- М.: Химия, 1991. – 240с
3. Кочетков В.Н.Гранулирование минеральных удобрений. [Текст]/ В.Н. Кочетков - М.: Химия, 1975. – 224с
4. Козакова Г.А. Гранулирование и охлаждение азотсодержащих удобрений. Г.А Козакова. - М.: Химия, 1980. – 288с-
5. Витман Л.А. Распыливание жидкости форсунками. [Текст]/ Л.А.Витман, Б.Д. Кацнельсон. – Л.: Государственное энергетическое издательство, 1962. – 265 с

УДК 541.128.13

# ОДЕРЖАННЯ МЕТАКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ НА ВАНАДІЙВМІСНИХ КАТАЛІЗАТОРАХ В ГАЗОВІЙ ФАЗІ

**В.В. Івасів**

Кандидат технічних наук,  
провідний науковий співробітник  
Кафедра технології органічних речовин  
Національний університет  
«Львівська політехніка»  
вул.С.Бандери, 12, м.Львів, Україна, 79013  
Контактний тел.: (032) 258-26-81,  
(091) 909-63-58  
E-mail: el.spectre.x@gmail.com

*У статті розглянуто закономірності одержання метакрилової кислоти альдольною конденсацією пропионової кислоти з формальдегідом на  $V_2O_3-P_2O_5-V_2O_5$  каталізаторах в газовій фазі*

*Ключові слова: метакрилова кислота, гетерогенний катализ, альдольна конденсація*

*В статтє рассмотрены закономерности получения метакриловой кислоты альдольной конденсацией пропионовой кислоты с формальдегидом на  $V_2O_3-P_2O_5-V_2O_5$  катализаторах в газовой фазе*

*Ключевые слова: метакриловая кислота, гетерогенный катализ, альдольная конденсація*

*In the article regularities of methacrylic acid obtaining by the aldol condensation of propionic acid with formaldehyde in the presence of  $V_2O_3-P_2O_5-V_2O_5$  catalysts in gas phase have been investigated*

*Keywords: methacrylic acid, heterogeneous catalysis, aldol condensation*