
ПОДБОР И РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДИАММОНИЙФОСФАТА

Никитина К. В.,

студент направления подготовки «Химическая технология», Муромский институт (филиал) ВлГУ, (Россия, г. Муром), E-mail: ksusha.nikitina.06@mail.ru

Аннотация

В статье выполнен подбор и расчёт основного оборудования для производства диаммонийфосфата (ДАФ) производительностью 7 т/ч. Приведена технологическая схема, включающая смесители-нейтрализаторы, аммонизатор-гранулятор, сушильный барабан, вибрационные грохоты и охладитель гранул. Обоснован выбор аппаратов для стадий нейтрализации, грануляции и сушки с учётом агрессивной среды и требований энергоэффективности. Рассчитан камерный смеситель-нейтрализатор с трёхъярусной турбинной мешалкой: объём 2,8 м³, диаметр 1,4 м, высота 2,2 м, мощность привода 7,5 кВт. Предложенная схема обеспечивает непрерывность процесса, высокую однородность пульпы и промышленную безопасность. Выполнен расчет аммонизатора-гранулятора. Рекомендуемые параметры аммонизатора: диаметр D = 1,8–2,0 м; длина L = 7,0–8,0 м, внутренний объем не менее 28–30 м³.

Ключевые слова: гранулированный диаммонийфосфат; смеситель-нейтрализатор; барабанная сушилка; фосфорная кислота; технологическая схема.

THE ROLE OF DOCUMENT AUTOMATION IN IMPROVING THE EFFICIENCY OF EDUCATIONAL ORGANIZATIONS

Nikitina K. V.,

student of "Chemical Technology" training direction, Murom Institute (branch) of Vladimir State University, (Russia, Murom).

ABSTRACT

The article provides a selection and calculation of the main equipment for the production of diammonium phosphate (DAP) with a capacity of 7 t/h. It also includes a process flow diagram that includes neutralizer mixers, an ammonizer-granulator, a drying drum, vibrating screens, and a granule cooler. The article justifies the selection of equipment for the neutralization, granulation, and drying stages, taking into account the aggressive environment and energy efficiency requirements. A chamber mixer-neutralizer with a three-tiered turbine agitator has been designed: volume 2.8 m³, diameter 1.4 m, height 2.2 m, and drive power of 7.5 kW. The proposed scheme ensures continuous process, high pulp homogeneity and industrial safety. The calculation of the ammonizer-granulator has been performed. The recommended parameters for the ammonizer are as follows: diameter D = 1.8–2.0 m; length L = 7.0–8.0 m, and an internal volume of at least 28–30 m³.

Keywords: Granulated diammonium phosphate; mixer-neutralizer; drum dryer; phosphoric acid; process flow diagram.

Цели и актуальность исследования

Подбор технологического оборудования является одним из ключевых этапов, поскольку используемое оборудование должно обеспечивать необходимые условия для выполнения всех операций переработки сырья и получения продукции высокого качества. Подбор предполагает определение требуемого количества машин и аппаратов, их производительности и типа [1, 2]. Производство диаммонийфосфата является важным направлением химической промышленности, поскольку данный продукт широко применяется в различных отраслях: пищевой, химической, деревообрабатывающей промышленности, в сельском хозяйстве, металлургии.

Современные условия производства предъявляют повышенные требования к экономичности, энергоэффективности, экологической безопасности и надёжности оборудования. В связи с этим особую актуальность приобретает задача рационального подбора аппаратов, обеспечивающих стабильное протекание всех стадий технологического процесса. При этом выбор оборудования должен осуществляться с учётом конкретных параметров производства, прежде всего его производительности, а также характеристик исходного сырья и требований к качеству конечного продукта [3].

В данной статье рассматривается подбор конкретных типов аппаратов основного и вспомогательного оборудования для разных стадий процесса производства диаммонийфосфата.

Анализ технологической схемы производства

Диаммонийфосфат (ДАФ) получают реакцией фосфорной кислоты с аммиаком. Основной метод производства - с использованием аппарата аммонизатора-гранулятора [4]. В смесители-нейтрализаторы поступают исходные реагенты: газообразный аммиак и разбавленная аммонизированная фосфорная кислота, происходит реакция нейтрализации. Образовавшаяся пульпа передаётся в аммонизатор-гранулятор. Полученные гранулы сушат в прямоточном барабанном сушильном аппарате, используя дымовые газы от сжигания топлива. Далее высушенный материал подают на вибрационные грохоты для сортировки по размеру. Крупные гранулы направляют в валковую дробилку, где они измельчаются, а затем вместе с мелкой фракцией возвращаются в основной цикл. После контрольного отсева продукт поступает в охладитель, где его охлаждают атмосферным воздухом. Готовые охлаждённые гранулы отправляют на склад для хранения.

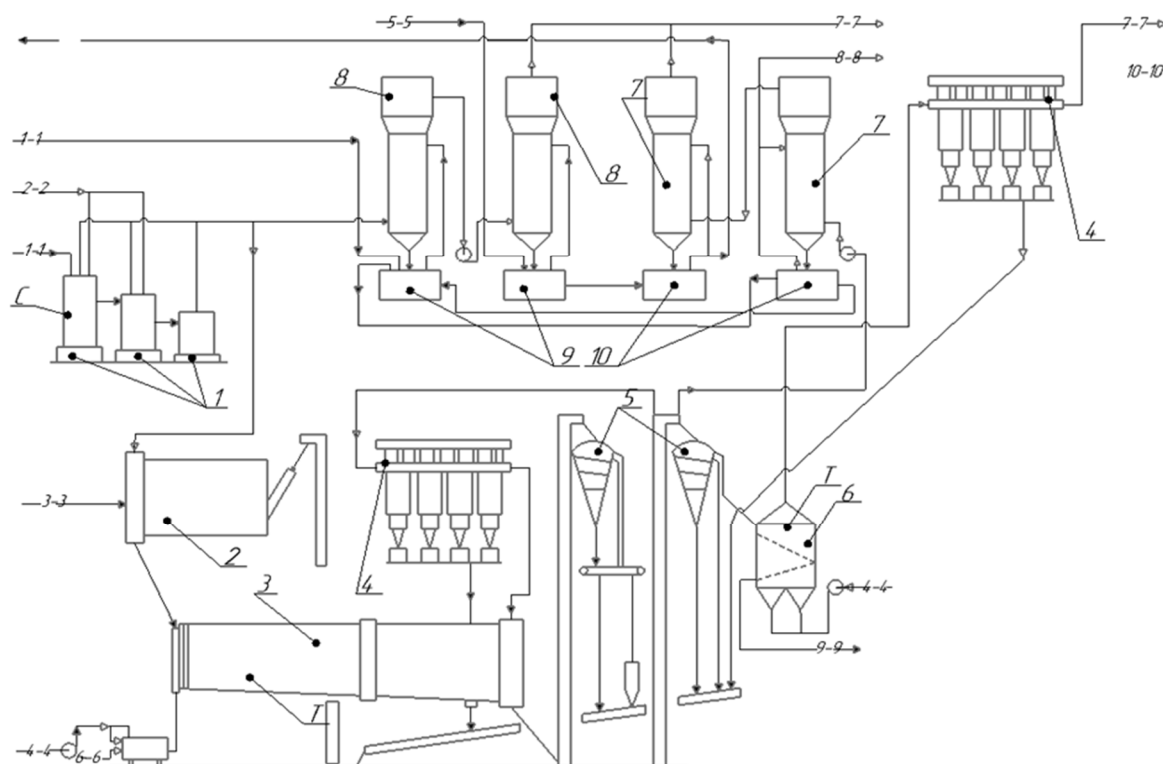


Рис. Технологическая схема производства диаммонийфосфата (рисунок создан автором с целью иллюстрации аппаратного оформления технологического процесса)

1 – смесители-нейтрализаторы, 2 – аммонизатор-гранулятор, 3 – сушильный барабан, 4 – циклоны, 5 – грохоты, 6 – охладитель гранул, 7, 8 – абсорберы, 9-10 приёмники кислых стоков абсорбции.

Обоснование выбора аппаратов для производства

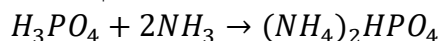
Выбор технологического оборудования и построение производственной схемы основывается на производительности предприятия. Расчет выполнен для обеспечения производительности 50 000 т диаммонийфосфата в год. Если принять, что предприятие работает 330 суток в году, то суточная производительность 151,5 т, а фактическая часовая производительность 6,31 т. При коэффициенте использования оборудования 0,9 необходима теоретическая производительность процесса 7,0 т/ч, на которую и будет произведен дальнейший расчет.

Проведен анализ классификации основного оборудования для производства. На основе анализа были выбраны подходящие для технологического процесса типы основных аппаратов.

1. Стадия нейтрализации. Рассмотрены колонные реакторы без перемешивающих устройств и аппараты с пневматическим барботажем. Колонные реакторы не обеспечивают достаточной гомогенизации пульпы, что приводит к локальным перепадам pH и снижению степени нейтрализации. Барботажные аппараты характеризуются интенсивным пенообразованием и низкой эффективностью при работе с вязкими суспензиями с высокой долей твёрдой фазы. Таким образом, выбор механического перемешивания обоснован необходимостью получения однородной реакционной массы и стабильного поддержания оптимального диапазона pH 2,8–3,2. Для стадии нейтрализации фосфорной кислоты аммиаком в качестве основного аппарата выбран смеситель-нейтрализатор камерного типа с трёхъярусной турбинной мешалкой. Обеспечивается высокая однородность образующейся пульпы фосфатов аммония. Преимущества использования смесителей-нейтрализаторов при производстве ДАФ:

Во-первых, использование нескольких смесителей-нейтрализаторов позволяет повысить производительность без привлечения дополнительных ресурсов за счёт оптимизации технологического цикла. Во-вторых, эффективно используется теплота реакции, которая частично упаривает пульпу прямо в зоне реакции и снижает потребность во внешних источниках энергии для последующего концентрирования раствора. В-третьих, обеспечивается точное регулирование параметров процесса, стабильное поддержание рН пульпы в оптимальном диапазоне 2,8-3,2. В-четвёртых, упрощается технологическая схема, исключаются отдельные стадии предварительной нейтрализации кислот, что повышает безопасность и стабильность процесса [5].

Расчет смесителя-нейтрализатора выполнен для производительности по готовому ДАФ 7 т/ч и уравнению нейтрализации:



Молярная масса ДАФ = 132 г/моль.

Для получения 1 т ДАФ требуется: H_3PO_4 : $98/132 = 0,7424$ т

NH_3 : $34/132 = 0,2576$ т

На 7 т/ч ДАФ:

100% H_3PO_4 : $7000 \cdot 0,7424 = 5196,8$ кг/ч

NH_3 : $7000 \cdot 0,2576 = 1803,2$ кг/ч

Т.к. используется аммонизированная разбавленная фосфорная кислота с массовой долей H_3PO_4 40%, то масса раствора кислоты:

$$m_{\text{кисл}} = \frac{5196,8}{0,4} = 12992 \text{ кг/ч}$$

Содержание воды в кислоте: $12992 - 5196,8 = 7795,2$ кг/ч.

Аммиак подается газообразным, полностью поглощается, выделяется теплота, часть воды испаряется. Влажность пульпы после нейтрализации $w = 15\%$, следовательно ее масса:

$$m_{\text{пульпы}} = \frac{G_{\text{ДАФ}}}{1 - w} = \frac{7000}{0,85} = 8235 \text{ кг/ч}$$

Объемный расход пульпы при плотности $\rho_{\text{пульпы}} = 1300$ кг/м³:

$$Q_v = \frac{8235}{1300} = 6,33 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,00176 \text{ м}^3/\text{с}$$

Среднее время пребывания пульпы в камерном смесителе-нейтрализаторе для обеспечения полноты реакции и гомогенизации $\tau = 20$ мин = 0,333 ч. Полезный объем реакционной зоны:

$$V_{\text{пол}} = Q_v \cdot \tau = 6,33 \cdot 0,333 = 2,11 \text{ м}^3$$

Коэффициент заполнения аппарата $\varphi = 0,75$. Полный геометрический объем:

$$V_{\text{апп}} = \frac{V_{\text{пол}}}{\varphi} = \frac{2,11}{0,75} = 2,81 \text{ м}^3$$

При выборе геометрических размеров принимаем цилиндрический корпус с эллиптическим днищем. Соотношение высоты цилиндрической части к диаметру $H_{\text{ц}}/D = 1,2$ (для аппаратов с мешалками). Объем цилиндрической части:

$$V_{\text{цил}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H_{\text{ц}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot 1,2D = 0,942D^3$$

Добавляем объем днища $V_{\text{дн}} \approx 0,13D^3$.

$$V_{\text{апп}} = 0,942D^3 + 0,13D^3 = 1,072D^3$$

Отсюда:

$$D = \left(\frac{V_{\text{апп}}}{1,072} \right)^{1/3} = \left(\frac{2,81}{1,072} \right)^{1/3} = (2,62)^{1/3} \approx 1,38 \text{ м}$$

Округляем до стандартного размера $D = 1,4$ м. Тогда $H_{\text{ц}} = 1,2 \cdot 1,4 = 1,68$ м. Общая высота аппарата с днищем и крышкой $H_{\text{общ}} \approx 2,2$ м.

При выборе мешалки принимаем трехъярусную турбинную мешалку с 6 лопатками, угол наклона 45° . Диаметр мешалки: $d_m = 0,33 \cdot D = 0,33 \cdot 1,4 = 0,46$ м. Высота установки первого яруса от днища: $h_1 = 0,5$ м; расстояние между ярусами: $\Delta h = 0,5$ м. Частота вращения мешалки: $n = 180$ об/мин.

Критерий Рейнольдса при динамической вязкости пульпы $\mu = 0,05$ Па·с:

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot d_m^2}{\mu} = \frac{1300 \cdot 3 \cdot 0,46^2}{0,05} = \frac{1300 \cdot 3 \cdot 0,2116}{0,05} = \frac{825,24}{0,05} = 16505$$

Режим – турбулентный.

Окружная скорость лопастей:

$$u = \pi \cdot d_m \cdot n = 3,14 \cdot 0,46 \cdot 3 = 4,33 \text{ м/с}$$

Мощность, потребляемая мешалкой с критерием мощности $K_N \approx 6,0$ [7, с.98]:

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 6,0 \cdot 1300 \cdot 3^3 \cdot 0,46^5 = 4,34 \text{ кВт}$$

С учетом КПД привода=0,85 и коэффициента на пуск (1,2) устанавливаем двигатель мощностью 7,5 кВт.

Теплота реакции нейтрализации:

$$Q_{\text{реак}} = G_{\text{ДАФ}} \cdot q = 7000 \cdot 1500 \text{ кДж/т} \approx 10,5 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$$

Для поддержания температуры 90–100 °С в смеситель-нейтрализатор необходимо построить змеевик с охлаждающей водой с поверхностью теплообмена:

$$F = \frac{0,3Q_{\text{реак}}}{K \cdot \Delta T} \approx \frac{3,15 \cdot 10^6}{300 \cdot 30} \approx 35 \text{ м}^2$$

Корпус аппарата выполняем из кислото- и коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т, лопатки мешалки из нержавеющей стали с твердым покрытием.

2. Стадия грануляции. Рассмотрены тарельчатые, вибрационные и ленточные грануляторы. Тарельчатые грануляторы обеспечивают высокую сферичность гранул и позволяют регулировать их размер за счёт изменения угла наклона и скорости вращения чаши. Однако их производительность недостаточна для обеспечения необходимой мощности производства. Вибрационные и ленточные грануляторы характеризуются повышенным энергопотреблением. Поэтому для непрерывного крупнотоннажного производства выбран барабанный аммонизатор-гранулятор, совмещающий процессы аммонизации и гранулирования [6]. Такое совмещение позволяет упростить технологию и снизить энергозатраты. Данный аппарат позволяет эффективно использовать теплоту экзотермической реакции нейтрализации для частичного подсушивания материала, что снижает нагрузку на последующую стадию сушки [7].

Выполнен расчет аммонизатора-гранулятора для производительности по готовому продукту 7т/ч. При расчете учтены начальная влажность шихты W_n 8-12%, конечная влажность готового продукта W_k 1-2%, максимальная температура топочных газов на входе $t_{\text{вх}}$ 550–600°С.

Массовый поток ретура, возвращаемого в процесс:

$$G_{\text{рет}} = G_{\text{пр}} \times R = 7000 \times 4 = 28000 \text{ кг/ч,}$$

где кратность рецикла $R = 4:1$

Общий поток шихты в барабане:

$$G_{\text{ших}} = G_{\text{пр}} + G_{\text{рет}} = 7000 + 28000 = 35000 \text{ кг/ч} = 9,72 \text{ кг/с}$$

Диаметр барабана определяем с учетом расхода шихты через поперечное сечение аппарата:

$$D = \sqrt{[4 G_{\text{ших}} / (\pi \varphi \omega_m \rho_n \cdot 3600)]}$$

где $G_{\text{ших}}$ – массовый поток шихты (продукт и ретур), кг/ч; φ – коэффициент заполнения барабана 0,12 (12%); ω_m – осевая скорость движения материала 0,02 м/с; ρ_n – насыпная плотность материала, 950 кг/м³.

$$D = \sqrt{[4 \times 35000 / (3,14 \times 0,12 \times 0,02 \times 950 \times 3600)]} = 2,33 \text{ м.}$$

Длина барабана при соотношении $L/D = 3$:

$$L = 3 \times D = 3 \times 2,33 = 7 \text{ м.}$$

Объем аппарата:

$$V = \pi D^2 L / 4 = 3,14 \times 2,33^2 \times 7 / 4 = 29,8 \text{ м}^3.$$

Таким образом, рекомендуемые параметры аммонизатора: диаметр $D = 1,8\text{--}2,0$ м; длина $L = 7,0\text{--}8,0$ м, соотношение $L/D = 3,5\text{--}4,0$, внутренний объем не менее $28\text{--}30 \text{ м}^3$, угол наклона барабана $2\text{--}4$ град, частота вращения барабана $4\text{--}8$ об/мин, время пребывания материала $10\text{--}15$ мин. Внутреннее устройство обеспечивает интенсивное перемешивание шихты и контакт с газовой фазой. При выборе окончательных габаритов следует ориентироваться на стандартный типоразмерный ряд оборудования.

3. Стадия сушки. Рассмотрены сушилки с псевдооживленным слоем и распылительные сушилки. Аппараты кипящего слоя обеспечивают интенсивный теплообмен, однако они чувствительны к изменению гранулометрического состава материала и требуют сложной системы газораспределения. При переработке гранул ДАФ, имеющих склонность к истиранию, псевдооживленный слой может приводить к повышенному пылеуносу. Распылительные сушилки предназначены преимущественно для пастообразных или жидких продуктов и не подходят для гранулированных материалов. Таким образом, сушильный барабан прямоточного типа является наиболее надёжным решением для удаления влаги из гранулированного продукта, обеспечивая стабильный режим при влажности продукта на выходе $0,5\text{--}1,5$ %. Габаритные размеры (высота 2 м, диаметр $3,6$ м) подбираются под производительность линии и свойства материала.

Заключение

В результате был выполнен подбор и расчет технологического оборудования для производства диаммонийфосфата, который обусловлен расчетной производительностью и агрессивным характером среды. Представлена технологическая схема производства диаммонийфосфата, обеспечивающая непрерывность процесса при минимальных потерях продукта. Для производительности $7,0$ т/ч ДАФ рассчитан смеситель-нейтрализатор камерного типа с трехъярусной турбинной мешалкой: объем аппарата $V = 2,8 \text{ м}^3$, диаметр $D = 1,4$ м, высота $H = 2,2$ м, мощность привода $N = 7,5$ кВт. Аппарат обеспечивает необходимое время контакта (20 мин), турбулентный режим перемешивания, однородность пульпы и стабильное поддержание pH.

Предложенная схема технологически реализуема, и отвечает требованиям промышленной безопасности при работе с агрессивными средами.

Список литературы:

1. Копылова К.А., Ермолаева В.А. Расчет и моделирование производства аммиачной селитры, Международный журнал гуманитарных и естественных наук, № 3-4 (90), 2024, с. 215-220
2. Ермолаева В.А., Лукмазова А.Р. Производство карбамида по стриппинг-процессу, Международный журнал гуманитарных и естественных наук, № 3-4 (90), 2024, с. 206-210.
3. Ермолаева В.А., Вереина К.К. Математическое моделирование химико-технологического процесса производства нитрата аммония, Естественные и технические науки, № 12, 2021, с.37-41.
4. Кочетков В. Н. Фосфорсодержащие удобрения. Справочник. – М.: Химия, 1982. – 400 с.
5. Норов, А. М., Малявин А. С., Овчинникова К. Н. и др. Разработка норм оптимального технологического режима производства гранулированного диаммонийфосфата из

неконцентрированной экстракционной фосфорной кислоты // Химическая технология, Т. 13, № 11, 2012, с. 641–647.

6. Высоцкая, Н. А. Применение барабанных грануляторов для получения сложносмешанных минеральных удобрений / Н. А. Высоцкая, В. С. Францкевич // Нефтехимия – 2021: материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск: БГТУ, 2021, с. 224–228.
7. Гришаев, И. Г. Производительность барабанного гранулятора-сушилки и качество фосфатов аммония / И. Г. Гришаев, А. М. Норов // Химическое и нефтегазовое машиностроение, № 5, 2011, с. 22–23.

References:

1. Kopylova K.A., Ermolaeva V.A. Calculation and modeling of ammonium nitrate production, International Journal of Humanitarian and Natural Sciences, No. 3-4 (90), 2024, pp. 215-220
2. Ermolaeva V.A., Lukmazova A.R. Urea production by stripping process, International Journal of Humanitarian and Natural Sciences, No. 3-4 (90), 2024, pp. 206-210.
3. Ermolaeva V.A., Vereina K.K. Mathematical modeling of the chemical-engineering process of ammonium nitrate production, Natural and Technical Sciences, No. 12, 2021, pp. 37-41.
4. Kochetkov V.N. Phosphorus-containing fertilizers. Handbook. – M.: Chemistry, 1982. – 400 p.
5. Norov, A. M., Malyavin A. S., Ovchinnikova K. N., et al. Development of standards for the optimal technological mode for the production of granulated diammonium phosphate from non-concentrated wet-process phosphoric acid // Chemical Technology, Vol. 13, No. 11, 2012, pp. 641–647.
6. Vysotskaya, N. A. Use of drum granulators for producing complex-mixed mineral fertilizers / N. A. Vysotskaya, V. S. Frantskevich // Petrochemistry – 2021: Proceedings of the IV International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Refining, Minsk: BSTU, 2021, pp. 224–228.
7. Grishaev, I. G. Productivity of a drum granulator-dryer and quality of ammonium phosphates / I. G. Grishaev, A. M. Norov // Chemical and oil and gas engineering, No. 5, 2011, pp. 22–23.