

УДК 66.0992.002.237

© Назаров В.И., Макаренков Д.А., 2011

ГРАНУЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ

Аннотация. Разработаны процессы гранулирования комплексных удобрений с учетом физико-химических и реологических свойств исходных компонентов. Гранулируемые порошки и шихты отличаются содержанием упругих, хрупких и гигроскопичных компонентов, а также наличием различных специальных добавок. Даны рекомендации по выбору конструктивных параметров оборудования и процесса гранулирования методами прессования и формования, которые учитывают природу материала и его структурно-деформационные свойства. Установлено, что изменение угла наклона лопаток гранулятора позволяет регулировать качество дополнительного измельчения и смешения компонентов шихты при максимальном выходе товарной фракции.

Ключевые слова: удобрения, свойства, прочность, плотность, дисперсный состав, оборудование.

© V. Nazarov, D. Makarenkov, 2011

COMPLEX FERTILIZERS PELLETIZING AND COMPONENTS' RHEOLOGICAL AND PHYSICAL PROPERTIES

Abstract. The article presents the results of the developed processes of pelletizing complex fertilizers taking into account the physical, chemical and rheological properties of their original components. The pelletized powders and blends differ in content by elastic, brittle and hygroscopic components, as well as the presence of various special agents. The most effective are the products which have granular form. The article gives recommendations on the choice of design parameters and equipment in particular pelletizing process by pressing and molding taking into account the nature of the material and its structural and deformation properties, in general. It is established that the change in the angle of the blades granulator from 50 to 100 allows of regulating the quality of additional grinding and mixing of the components of the charge with a maximum output of marketable fraction.

Key words: fertilizers, properties, durability, density, disperse structure, equipment.

В российском агрокомплексе в последние годы используются удобрения, включающие в себя азотные, фосфорные, калийные и смешанные с микроэлементами. Рост цен на энергоносители, энергоресурсы и горюче-смазочные материалы (ГСМ) привлек к поиску новых видов удобрений с использованием местных природных ресурсов. К ним относятся органоминеральные удобрения (ОМУ), содержащие торф, сапропели, цеолиты, маточные растворы и твердые отходы химических производств, содержащие микроэлементы. Приведем некоторые характеристики этих компонентов.

Торф содержит широкий класс органических соединений (битумов, углеводов, гуминовые вещества). В гидролизатах торфа обнаружен широкий спектр аминокислот: карбоновых, уроновых кислот, гуминовых веществ и других соединений. Они способны активировать или ингибировать биологические процессы в почвах и растениях.

Сапропель является органоминеральным озерным отложением из остатков планктонных и бентосных организмов. Большую роль играют бактериальные процессы, которые протекают в поверхностных слоях отложений при малом доступе кислорода. Отложения сапропеля содержат белки, жиры, витамины, стимуляторы роста, ферменты, гормоны, антибиотики и большой набор макро- и микроэлементов. Сапропели могут быть органические, кремнистые, силикатные, карбонатные, железистые и органо-силикатные.

Содержание органического вещества в сапропелях различных типов варьируется от 15 до 95% на сухое вещество. Гуминовые кислоты сапропелей являются соединениями алифатической структуры с повышенным содержанием водорода и азота. При этом в сапропелях содержание легкогидролизуемых веществ – гуминовых кислот изменяется от 6 до 70 % на органическое вещество. Они включают водно-белковый комплекс и гемилцеллюлозу. Особенностью сапропеля является высокое содержание азота (до 6 %), который входит в состав аминокислот. Микроэлементы в сапропелях входят в состав карбонатов, органоминеральных соединений, они сорбированы гелями кремнезема, глинозема и гидроксидными железами. В настоящее время идентифицировано более 30 микроэлементов.

Известняковая мука получается после дробления, помола, последующей сушки карбонатных минералов. Она нейтрализует вредную для большинства растений кислотность почв и повышает эффективность использования вносимых органических и минеральных удобрений.

В производстве ОМУ используется ряд традиционных минеральных удобрений, таких, как: суперфосфат-смесь $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и CaSO_4 , гранулированное фосфорное удобрение, содержащее 26% фосфора, из которого 88-98% усваиваемого растениями; аммиачная селитра (NH_4NO_3) – минеральное удобрение, содержащее не менее 34,4% азота; карбамид является высококонцентрированным гранулированным азотным удобрением и содержит 46,65% азота в амидной форме; аммофос – смесь гранул бело-желтого цвета с содержанием азота до 11%; калмагнезия ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$) – калийно-магниевое удобрение, содержащее (24÷26)% K_2O и (11÷18)% MgO ; так и побочные продукты переработки древесины – лигносульфонаты – смесь солей лигносульфоновых кислот.

В ряде марок ОМУ могут использоваться золы, шлаки, шламы и осадки сточных вод после анаэробного сбраживания в метантенках.

ОМУ являются многокомпонентными полидисперсными шихтами, и перевод их в гранулированное состояние является одним из факторов, влияющих на их физико-механические и агрохимические свойства. Такие удобрения лучше сохраняют сыпучесть, не пылят, легко вносятся в почву и не вымываются почвенными водами [1]. Гранулированные удобрения – удобрения пролонгированного действия.

В работе были исследованы способы получения ОМУ методами компактирования на валковом прессе и в роторном грануляторе с плоской матрицей и окатывания – в тарельчатых и скоростных грануляторах.

Одним из способов утилизации зол ТЭЦ является их использование в виде компонента ОМУ. Было проведено исследование гранулируемости золоторфяного удобрения при соотношении золы и торфа 1:3 и 1:2. Обычно низинный торф имеет влажность $W=(40\div50)\%$, зола поступает при влажности $W=(0,1\div0,2)\%$. При оптимальном смешении этих компонентов можно добиться влажности, обеспечивающей максимальную плотность и прочность.

При прессовании в закрытой матрице построены компрессионные кривые и определены плотность ρ ($\text{кг}/\text{м}^3$) и предел прочности на раскалывание σ_p (МПа) золоторфяных удобрений в диапазоне влажностей от 5% до 50% при удельных давлениях прессования от (17÷130) МПа.

Установлено, что при исходной насыпной плотности смеси $\rho_{см} = 350$ кг/м³ в диапазоне давлений от 30 до 70 МПа получают плотно-прочные прессовки ($\rho_{пр} = 900\text{--}1100$ кг/м³, $\sigma_{рас} = 0,04\text{--}0,06$ МПа). Влажность смеси при этом составляет 28-38%.

На основе этих исследований разработана технологическая схема получения гранулированных золоторфяных удобрений методом компактирования на валках с гладкой поверхностью. Установка состоит из бункера с исходными продуктами, смесителя, транспортеров, валкового пресса, сушильного барабана и узла очистки отходящих дымовых газов.

Переход на экологически чистые, бесхлорные удобрения, связанные с использованием местных ресурсов, требует применения новых технологических решений и оборудования, которое позволяет за счет грануляции минимизировать вредные выбросы газовой и жидкой фазы в атмосферу [4].

Был проведен комплекс исследований по получению гранулированного удобрения калимагнезии различными методами гранулирования. Исследовали особенности гранулирования шихты, состоящей из сульфата калия и шлама, содержащего соли Ca и Mg. В качестве связующего применялись маточники сульфата магния, сульфата калия, а также Лигнопан Б-1 (пластифицирующая добавка на основе лигносульфонатов). Грануляцию проводили методом окатывания в скоростном грануляторе и на тарели [2].

Так как исходное сырье для производства ОМУ и КМ является полидисперсным материалом, содержащим в своем составе частицы различной формы, то для получения гранулированного продукта использовали метод скоростного гранулирование (СГ). При этом обеспечивается возможность скоростного интенсивного воздействия на исходные зернистые и порошковые материалы в присутствии жидкой фазы (связующего). Воздействие осуществляется активными элементами (лопатками) при времени пребывания продукта от 3 до 5 секунд до нескольких минут с получением гранул диаметром (0,2÷4,0) мм. При СГ протекают процессы агломерирования, окатывания, упрочнения и измельчения. Если проводить предварительную механоактивацию исходной смеси, то можно при снижении энергозатрат на грануляцию повысить качество готовых гранул. Использование механоактивации позволяет повысить содержание лимонно-растворимого P₂O₅ в ОМУ [5]. Уменьшение исходной влажности смеси позволяет уменьшить расход тепла на сушку гранул.

Была разработана опытная установка для исследования скоростного гранулирования порошков (рис. 1). Установка включала горизонтальный турболопастной гранулятор, дозатор с приводом, раму и загрузочный бункер. Гранулятор содержит горизонтальный цилиндрический корпус, изготовленный из толстостенной трубы. Внутри корпуса установлен рабочий вал с закрепленными на нем плоскими лопатками. Лопатки гранулятора имели прямоугольную форму с размерами 20x40 мм. Угол наклона лопастей к поперечному сечению корпуса смесителя можно изменять от (0÷90)°. Лопасти в количестве 36 шт. закреплялись на валу по винтовой линии. Частота вращения лопастного вала регулировалась в пределах (150÷1500) об/мин при номинальной мощности 2,2 кВт и постоянном значении крутящего момента.

Исходная шихта для производства ОМУ содержала карбамид, аммофос, поташ, сернокислый магний, набор микроэлементов и низинный торф, при соотношении между органической и минеральной частью 1:2. Было установлено влияние влажности исходной смеси, частоты вращения вала, степени заполнения гранулятора и дисперсности исходного порошка.

Кинетику гранулообразования исследовали в лабораторном грануляторе роторного типа с $d_{вн} = 90$ мм. Зависимость выхода товарной фракции ОМУ от скорости вращения вала и производительности гранулятора представлена на рис. 2 и 3.

Из рис.2 видно, что при загрузке $G_{\text{загр}} = 200$ г с увеличением частоты вращения лопаток происходит укрупнение фракционного состава.

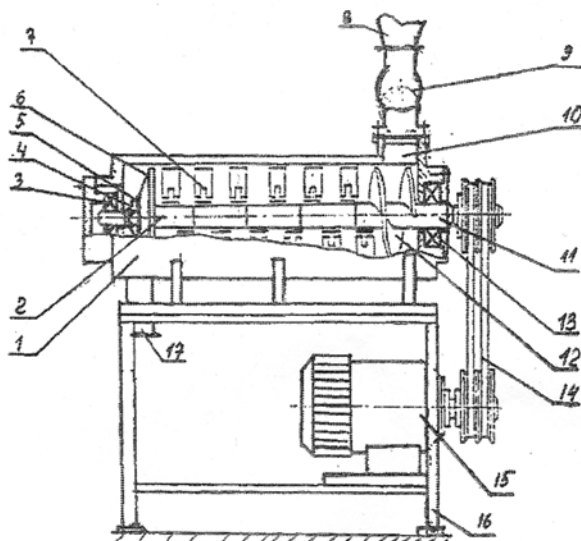


Рис. 1. Конструкция скоростного гранулятора: 1 – корпус; 2 – втулка; 3 – подшипник; 4 – гайка; 5 – стопорная шайба; 6 – отбойный диск; 7 – плоская лопатка; 8 – загрузочный бункер; 9 – секторный питатель; 10 – загрузочный патрубок; 11 – рабочий вал; 12 – транспортирующий шнек; 13 – подшипник; 14 – клиноременная передача; 15 – электродвигатель; 16 – рама; 17 – патрубок выгрузки.

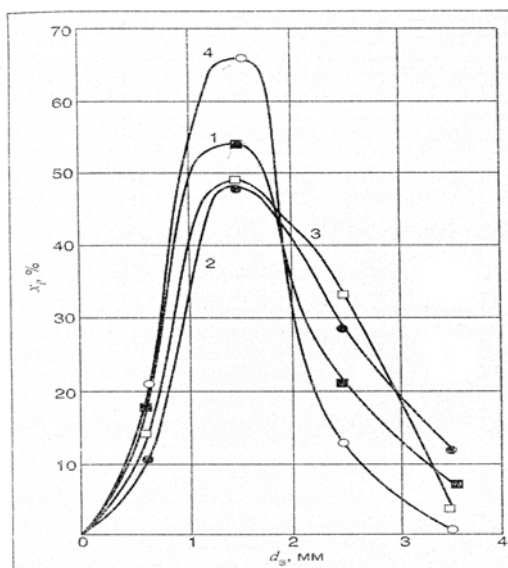


Рис. 2. Зависимость выхода товарной фракции ОМУ в роторном грануляторе от скорости вращения вала ($G_{\text{загр}} = 200$ гр, $W_{\text{исх}} = 37\%$): 1 – $n = 410$ мин⁻¹; 2 – $n = 560$ мин⁻¹; 3 – $n = 1000$ мин⁻¹; 4 – грансостав ретура.

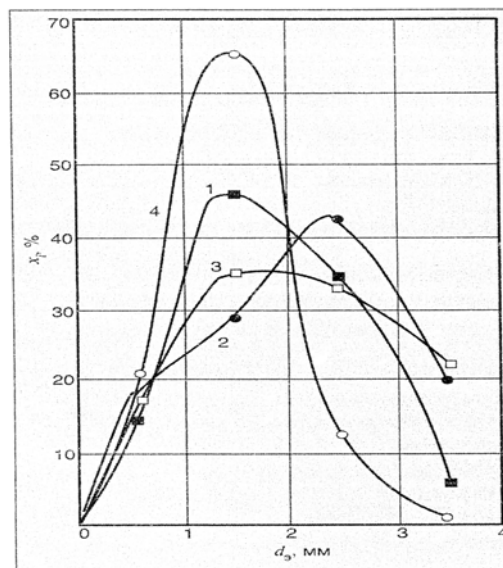


Рис. 3. Зависимость выхода товарной фракции ОМУ в роторном грануляторе от производительности ($W_{\text{исх}} = 37\%$): 1 – $G_{\text{загр}} = 200$ гр; $n = 570$ мин⁻¹; 2 – $G_{\text{загр}} = 500$ гр; $n = 410$ мин⁻¹; 3 – $G_{\text{загр}} = 1800$ гр; $n = (600-750)$ мин⁻¹; 4 – грансостав ретура.

Количество мелких частиц ($d_p = 0,63$ мм) уменьшается с 18 до 11%. При скорости вращения вала 1000 мин⁻¹ увеличивается количество фракций с размером частиц $d_p = 1,5-2,5$ мм, в то время как при увеличении скорости более 1000 мин⁻¹ происходит дезинтеграция крупных частиц.

Важным параметром, влияющим на эффективность гранулирования, является производительность гранулятора. При увеличении расхода и при постоянстве остальных параметров (n , $W_{исх}$) в диапазоне скоростей вращения ($400\div 700$) мин^{-1} увеличивается толщина динамического слоя частиц, перемещаемого лопастями. При $G_{загр} = 1800$ г (рис.3, кривая 3) количество фракций с диаметром частиц $d_3 = 3,5$ мм возросло с 5,5 до 22,6%. При более толстом динамическом слое крупные частицы к выгрузке измельчаются меньше.

Для данного типа скоростных грануляторов при $W_{исх} = 37\%$ в диапазоне пластической прочности $P_m = (10\div 14)$ кПа грануляция осуществляется следующим образом. В процессе предварительной подготовки шихты, заключающейся в совмещении процессов смешения и механоактивации, происходит предварительное распределение частиц торфа по всему объему, что ведет к увеличению пластической прочности смеси. При грануляции в движущемся динамическом слое на увлажненный торфом ретур агломерируются мелкодисперсные порошки и частицы других компонентов.

При движении слоя к выгрузке и при высоких динамических нагрузках происходит упрочнение агломерированных гранул. В процессе сушки осуществляется дальнейшее упрочнение гранул.

На лабораторном рамочном грануляторе также была исследована кинетика гранулообразования в зависимости от влажности исходной смеси, частоты вращения вала с мешалками и времени гранулирования. Как и на пилотной установке, при исследовании использовали заводской ретур, состав которого приведен на рис. 2. Ретур после барабанной сушилки содержит в основном фракции с $d_3 = 1,5$ мм и $d_3 = 0,63$ мм при исходной влажности $W_{исх} = (7\div 8)\%$. Остальные компоненты после измельчения и механоактивации в барабане с шарами имели размер частиц порядка $d_3 = 0,6$ мм. Производительность пилотного гранулятора составила около 170 кг/ч.

При проектировании скоростного гранулятора при заданных граничных условиях определено изменение во времени координаты и скорости движущегося пакета частиц и установлена траектория его движения в каждый момент времени. Для определения этих параметров была реализована программа для численного решения дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты [2].

Было проведено исследование процесса получения бесхлорных калимагниевого удобрений в тарельчатом грануляторе с $d_{тар} = 400$ мм. При исследовании использовали связующие вещества со следующими характеристиками. Маточник раствора сульфата магния (pH раствора=9,3), маточник раствора сульфата калия ($\text{pH}=5,8$) и Лигнопан Б-1 (пластификатор).

При добавлении жидкого K_2SO_4 окатывания на тарели не происходило, так как не наблюдалось адгезионного взаимодействия между частицами из-за того, что добавки отличаются структурными характеристиками. Кроме того, в рабочих условиях сульфат калия содержит гигроскопическую и свободную влагу. За счет поверхностной влаги частиц сульфата калия ускоряется процесс агломерирования только порошкового сульфата калия. Установлено, что распыл должен быть мелкодисперсным и проводиться пневматической форсункой. Используемый в качестве связующего сульфат калия подогревали до $(30\div 40)^\circ\text{C}$. При такой температуре маточник сульфата калия приобретает дополнительные пластически-вязкие свойства, что способствует образованию крупных агломератов шихты. Последующее уплотнение структуры гранул происходит при их дальнейшем взаимодействии друг с другом, со стенкой аппарата и при перекачивании через слой.

Затем при сушке удаляется влага и происходит кристаллизация твердой фазы или полимеризация. В результате гранулы приобретают необходимую прочность.

Также в качестве связующего была опробована добавка Лигнопан Б-1 в виде раствора 30%-концентрации, обладающая термостойкостью при сохранении ее активности

при нагревании. В процессе окатывания на тарели получались крупные гранулы, которые при последующей сушке набирали необходимую прочность.

В следующей серии опытов в качестве связующего применяли раствор $MgSO_4$ ($pH=9,3$). Предварительное смешение проводили в смесителе рамочного типа с активными органами. Шихту увлажняли до прекращения пыления, после чего перегружали в тарельчатый аппарат. Гранулообразование шихты проходило в две стадии: на первой стадии происходило образование мелких гранул, затем гранулы росли в размере без набора прочности. Такой механизм гранулообразования связан с высокой поглотительной способностью шихты. Увеличение количества связующего придает шихте пластические свойства, что затем приводит к образованию крупных агломератов, без набора прочности.

Было установлено, что в качестве связующего оптимально использовать маточник K_2SO_4 с температурой раствора $30-40^\circ C$ или Лигнопан Б-1. Показано, что грануляцию бесхлорной калимагнезии лучше проводить в скоростных роторных грануляторах горизонтального типа с лопатками. Изменение угла наклона лопаток позволяет регулировать качество дополнительного измельчения и смешения компонентов шихты.

Определено, что угол атаки плоскости лопаток в средней части гранулятора равен $5-10^\circ$, а угол наклона лопастей к поперечному сечению корпуса гранулятора может изменяться от 45° до 5° .

Была определена возможность получения гранулированного ОМУ методом прессования на роторном грануляторе [3]. Общая влажность смеси 7% масс. Установлено, что при исходной влажности $W_{исх}=7\%$ и насыпной плотности $\rho_{нас}=400 \text{ кг/м}^3$ при изменении удельных давлений прессования $P_{уд}$ от 30 до 120 МПа получают прессовки с плотностью $\rho_n=(1300-1500) \text{ кг/м}^3$. При этом предел прочности на раскалывание составил $(0,4-0,8) \text{ МПа}$.

На основе этих исследований разработан алгоритм расчета основных параметров процесса гранулирования на роторном грануляторе с плоской матрицей.

Анализ различных способов получения гранулированных ОМУ показал, что в зависимости от типа исходного состава, его физико-химических и реологических свойств выбирается способ гранулирования (методом компактирования, окатывания или прессования).

В соответствии с этим рекомендуется энергосберегающее оборудование, обеспечивающее максимальный выход товарной фракции.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. М.: Химия, 1991. 240 с.
2. Назаров В.И., Макаренко Д.А., Баринский Е.А. Вопросы грануляции органоминеральных удобрений на основе низинного торфа // Материалы V Международной научной конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности». Сумгаит, 2004.
3. Назаров В.И., Макаренко Д.А., Булатов И.А. Исследование процесса гранулирования дисперсных отходов на роторных прессах с плоской матрицей // Вестник МИТХТ. 2010. Т. 5. № 6. С. 13-16.
4. Петербургский А.В., Смирнов А.П. Минеральные удобрения. М.: Росагропромиздат, 1989. 95 с.
5. Скоробогатов В.А. Минеральные удобрения. Перегрузка на портовых терминалах. Справочное пособие. Эстония–Таллин, 2003. 530 с.