

УДК 66.0992.002.237

Макаренков Д.А., Назаров В.И.

Московский государственный университет инженерной экологии

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГРАНУЛИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ С УЧЕТОМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОНЕНТОВ

D. Makarenkov, V. Nazarov

Moscow State University of Environmental Engineering

STUDY OF PROCESSES OF GRANULATION OF COMPLEX FERTILIZERS TAKING INTO ACCOUNT PHYSICAL-CHEMICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF COMPONENTS

Аннотация. Разработаны процессы гранулирования комплексных органических и смешанных удобрений, шлаковых материалов с учетом физико-химических и реологических свойств исходных компонентов. Показано, что исследуемые материалы являются полидисперсными многокомпонентными шихтами, в состав которых входят местные сырьевые ресурсы. Для определения структурно-деформационных характеристик и режимных параметров процесса гранулирования материалов разработана опытная установка.

Определены кинетические параметры процесса гранулирования исследуемых материалов и определены режимы получения товарной фракции узкого грансостава.

Даны рекомендации по выбору типа связующего используемого в процессе получения гранул.

Ключевые слова: органические удобрения, реологические свойства, прочность, плотность, дисперсный состав, производительность, товарная фракция, оборудование.

Abstract. Processes of granulation of complex organic and mixed fertilizers, slag materials taking into account physical-chemical and rheological properties of initial components are developed. It is shown that these are polydisperse multi-component charge materials which include local raw materials. A special installation is developed for determining structural deformation characteristics and regime parameters of a materials granulation process. The kinetic parameters of the process of granulation of investigated materials and regimes for producing granulated materials are found. Recommendations on the choice of the type of the binding material used in the course of granulation are given.

Key words: fertilizers, rheological properties, durability, density, disperse structure, performance, marketable fraction, equipment.

В Российском агрокомплексе используются удобрения, включающие в себя азотные, фосфорные, калийные и смешанные с микроэлементами [5, с. 2]. Рост цен на энергоносители, энергоресурсы и горюче-смазочные материалы (ГСМ) привёл к поиску новых видов удобрений с использованием местных природных ресурсов. К ним относятся комплексные органоминеральные удобрения (ОМУ), содержащие торф, сапропели, цеолиты, маточные растворы и твердые отходы химических производств, содержащие микроэлементы. Приведем некоторые характеристики компонентов удобрений.

Торф – природное органическое соединение, содержащее в своем составе широкий класс органических соединений, таких, как битумы, углеводы, гуминовые вещества. Самое широкое применение торф находит в сельском хозяйстве для получения органических и органоминеральных удобрений. В гидролизатах торфа обнаружен широкий спектр аминокислот: карбоновых, урсонных кислот, гуминовых веществ и других соединений. Они способны активировать или ингибировать биологические процессы в почвах и растениях [2].

Сапропель является органоминеральным озерным отложением из остатков планктонных и бентосных организмов при большой роли бактериальных процессов, которые протекают в поверхностных слоях отложений при малом доступе кислорода. Наиболее широко сапропель применяется в качестве удобрений. Он характеризуется тонкодисперсной структурой, полихимическим составом и наличием биологической компоненты. Сапропели могут быть органические, кремнистые, силикатные, карбонатные, железистые и органо-силикатные [2].

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 гемицеллюлозу. Особенностью сапропеля является высокое содержание азота, до 6 %, который имеется в составе аминокислот. Микроэлементы в сапропелях входят в состав карбонатов, органоминеральных соединений, а также находятся в сорбированном гелями кремнезема, глинозема и гидроксидами железа. В настоящее время идентифицировано более 30 микроэлементов.

Известняковая мука используется для нейтрализации вредной для большинства растений кислотности почв и повышает эффективность использования вносимых органических и минеральных удобрений [5].

В производстве комплексных 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; **аммофос** – смесь гранул бело-желтого цвета с содержанием азота до 11%; **аммиачная селитра** (NH_4NO_3); **карбамид**; **калимагнезия** ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$) – калийно-магниевое удобрение, содержащее (24÷26)% K_2O и (11÷18)% MgO . В качестве связующего используются растворы сернокислого калия

и магния, а также побочные продукты переработки древесины – **лигносульфонаты**.

В ряде марок ОМУ могут использоваться золы, шлаки, шламы и осадки сточных вод после анаэробного сбраживания в метантенках [3].

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 органоминеральные удобрения – удобрения пролонгированного действия.

Нами были исследованы способы получения гранулированных ОМУ методом компактирования на валковом прессе и роторном грануляторе с плоской матрицей, и методом окатывания – на тарельчатых и скоростных грануляторах.

Было проведено исследование гранулируемости золоторфяного удобрения при соотношении золы и торфа 1:3 и 1:2. Необходимо отметить, что одним из способов утилизации зол ТЭЦ является их использование в виде компонента ОМУ. Обычно низинный торф имеет влажность $W=(40\div 50)\%$, зола поступает при влажности $W=(0,1\div 0,2)\%$. При оптимальном смешении этих компонентов можно добиться влажности, обеспечивающей максимальную плотность и прочность получаемых гранул.

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 $\rho_{\text{см}}=350 \text{ кг}/\text{м}^3$ в диапазоне давлений от 30 МПа до 70 МПа получают плотно-прочные прессовки ($\rho_{\text{пр}}=900\div 1100 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\sigma_{\text{рас}}=0,04\div 0,06$ МПа). Влажность смеси при этом составляет 28÷38%.

На основе этих исследований разработана технологическая схема получения гранули-

рованных 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.

Нами был проведен комплекс исследований по получению бесхлорного гранулированного удобрения калимагнезии (КМ) и ОМУ различными методами гранулирования. Исследовали особенности гранулирования шихты, состоящей из сульфата калия и шлама, содержащего соли Са и Mg. В качестве связующего применялись маточники сульфата магния, сульфата калия, а также водные растворы лигносульфонатов. Грануляцию проводили методом окатывания в скоростном грануляторе и на тарели.

Так как исходное сырье для производства ОМУ и КМ является полидисперсным материалом, содержащим в своем составе частицы разного вида и 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 сек. до нескольких мин. с получением гранул диаметром (0,2÷4,0) мм. При СГ протекают процессы агломерирования, окатывания, упрочнения и измельчения. Если проводить предварительную механоактивацию, например, помолом в шаровых мельницах, исходной смеси, то можно при снижении энергозатрат на саму грануляцию повысить качество готовых гранул. Это объясняется увеличением удельной поверхнос-

ти частиц, дефектности структуры, что позволяет, в частности, повысить содержание лимонно-растворимого P_2O_5 в ОМУ, форма которого в наибольшей степени усваивается растениями. Уменьшение исходной влажности смеси позволяет уменьшить расход тепла на сушку гранул.

Нами 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 $(0\div 90)^\circ$. 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 низинный торф, карбамид, аммофос, поташ, серноокислый магний, водный раствор микроэлементов, таких как бор, железо, марганец и молибден, с содержанием 0,11% по твердому веществу. Соотношение между органической и минеральной частью ОМУ составляло 1:2. Было установлено влияние влажности исходной смеси, дисперсности исходного порошка, частоты вращения вала, степени заполнения гранулятора на конечный размер гранул. Гранулометрический состав полученного сгранулированного ОМУ находился в диапазоне от 0,4мм до 5мм.

Исследование кинетики гранулообразования проводили в лабораторном грануляторе роторного типа с $d_{\text{вн}}=90$ 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.

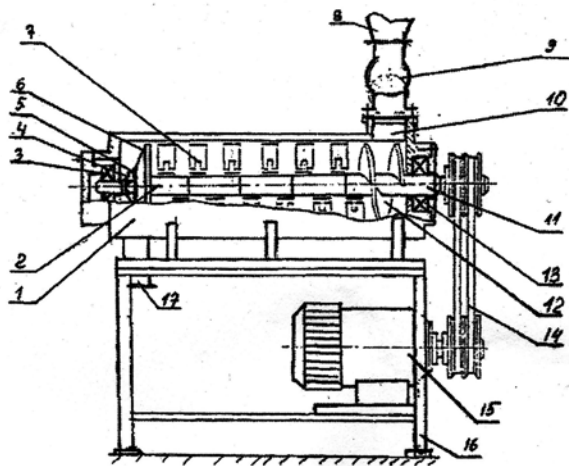


Рис. 1. Конструкция скоростного гранулятора: 1 – корпус; 2 – втулка; 3 – подшипник; 4 – гайка; 5 – стопорная шайба; 6 – отбойный диск; 7 – плоская лопатка; 8 – загрузочный бункер; 9 – секторный питатель; 10 – загрузочный патрубок; 11 – рабочий вал; 12 – транспортирующий шнек; 13 – подшипник; 14 – клиноременная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

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 $d_p = 3,5$ мм возросло с 5,5 до 22,6%. При более толстом динамическом слое крупные частицы к выгрузке измельчаются меньше. В качестве параметра характеризующего реологическое состояние шихты, был выбран критерий пластической прочности. Определена зависимость пластической прочности ОМУ от его гранулометрического состава.

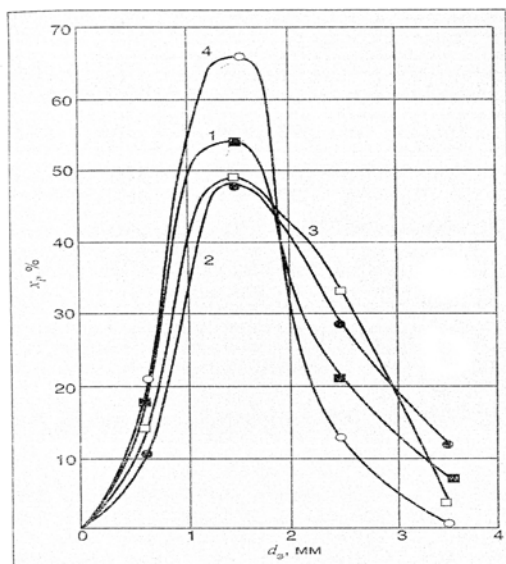


Рис. 2. Зависимость выхода товарной фракции ОМУ в роторном грануляторе от скорости вращения вала ($G_{загр} = 200$ гр, $W_{исх} = 37\%$): 1- $n = 410 \text{ мин}^{-1}$; 2- $n = 560 \text{ мин}^{-1}$; 3- $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; 4- грансостав ретура

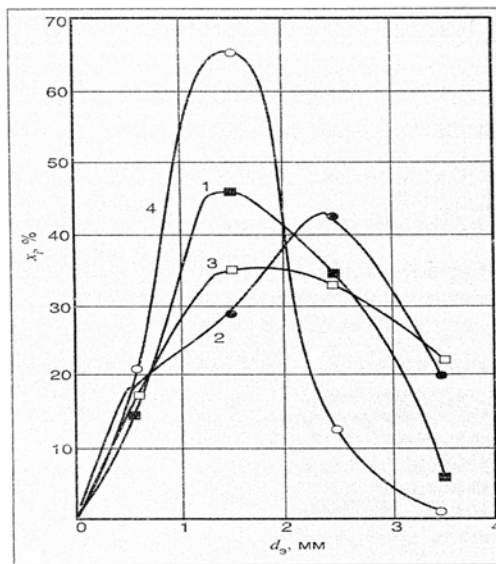


Рис. 3. Зависимость выхода товарной фракции ОМУ в роторном грануляторе от производительности ($W_{исх} = 37\%$): 1- $G_{загр} = 200$ гр; $n = 570 \text{ мин}^{-1}$; 2- $G_{загр} = 500$ гр; $n = 410 \text{ мин}^{-1}$; 3- $G_{загр} = 1800$ гр; $n = (600-750) \text{ мин}^{-1}$; 4- грансостав ретура

Установлено, что для данного типа скоростных грануляторов при $W_{исх}=37\%$ в диапазоне пластической прочности $P_m=(10\div 14)$ Па 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 роторном 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 $d_9=1,5$ мм и $d_9=0,63$ мм при исходной влажности $W_{исх}=(7\div 8)\%$. Остальные компоненты после измельчения и механоактивации в барабане с шарами имели размер частиц порядка $d_9=0,6$ 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.

Было проведено исследование процесса получения бесхлорных калимагниевого удобрений (КМ) в тарельчатом грануляторе с $d_{тар}=400$ мм. При исследовании использовали связующие вещества со следующими характе-

ристиками: маточник раствора сульфата магния ($pH=9,3$); маточник раствора сульфата калия ($pH=5,8$) и водный раствор лигносульфонатов ($pH=3,0$).

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 раствор сульфата калия подогревался до $(30\div 40)^\circ C$. При такой температуре маточник сульфата калия приобретает дополнительные вязкопластичные 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. В результате гранулы приобретают необходимую прочность.

Также в качестве связующего был опробована добавка на основе лигносульфонатов, в виде раствора 30%-й концентрации, обладающая термостойкостью с сохранением её 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 материала 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 пер-

вой 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 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°C или водный раствор лигносульфонатов. 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°, а угол наклона лопасти к поперечному сечению корпуса гранулятора может изменяться от 45 до 5°.

Также была определена возможность получения гранулированного ОМУ методом прессования на разработанном нами роторном грануляторе. Установлено, что при исходной влажности $W_{исх}=7\%$ и насыпной плотности $\rho_{нас}=400$ кг/м при изменении удельных давлений прессования $P_{уд}$ от 30 МПа до 120 МПа получают прессовки с плотностью $\rho_{п}=(1300\div 1500)$ кг/м³. При этом предел прочности на раскалывание составил (0,4÷0,8) МПа.

На основе этих исследований был разработан алгоритм расчета основных параметров процесса гранулирования на роторном грануляторе с плоской матрицей, описанный ранее в работе [4].

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– проведены исследования комплексных органоминеральных удобрений методами компактирования и окатывания на скоростном и тарельчатом грануляторе;

– определены диапазоны удельных давлений компактирования и режимные параметры процессов окатывания;

– разработана опытная установка скоростного гранулирования на которой наработаны опытные партии гранулированных ОМУ и выявлено влияние влажности исходной шихты, частоты вращения вала, степени заполнения гранулятора и дисперсности ретур;

– даны рекомендации для получения гранулированного бесхлорного удобрения при использовании различных типов связующего.

Для гранулирования ОМУ и бесхлорного КМ удобрения рекомендуются процессы компактирования на валковых прессах и окатывания в скоростных и тарельчатых грануляторах.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
2. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии. – М., 1988. – 284 с.
3. Назаров В.И., Макаренков Д.А., Баринский Е.А. Вопросы грануляции органо-минеральных удобрений на основе низинного торфа // Материалы V Международной научной конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности». – Сумгаит, 2004.
4. Назаров В.И., Макаренков 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.
5. Петербургский А.В., Смирнов А.П. Минеральные удобрения. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 95 с.