

Обґрунтовано можливість зменшення економічних і екологічних показників у процесах гранулювання мінеральних добрив за рахунок переробки та використання органічних відходів сільськогосподарського виробництва. Експериментально встановлено температурні режими гранулювання органічних суспензій. Отримано аналітичні залежності для визначення часу і температури прогріву гранул. Розроблено технологічну схему установки безперервної дії для отримання гранул на органічній основі

Ключові слова: гранулювання, апарат кипячого шару, суспензія, курячий послід, кавітатор, температурний режим

Обоснована возможность уменьшения экономических и экологических показателей в процессах гранулирования минеральных удобрений за счет переработки и использования органических отходов сельскохозяйственного производства. Экспериментально установлены температурные режимы гранулирования органических суспензий. Получены аналитические зависимости для определения времени и температуры прогрева гранул. Разработана технологическая схема установки непрерывного действия для получения гранул на органической основе

Ключевые слова: гранулирование, аппарат кипящего слоя, суспензия, куриный помет, кавитатор, температурный режим

УДК 661.152.4 : 66.096.5
DOI: 10.15587/1729-4061.2016.60314

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОРГАНИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

Р. А. Острога

Кандидат технических наук*

E-mail: ruslan-ostroga@yandex.ru

Н. П. Юхименко

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: yunp@ukr.net

Я. Э. Михайловский

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: yakov.mikhajlovskij@yandex.ru

А. В. Литвиненко

Ассистент*

E-mail: ravenatko@yandex.ru

*Кафедра процессов и оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств
Сумской государственной университет
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007

1. Введение

В ассортименте азотных удобрений, которые используются во всех почвенно-климатических зонах, преобладают аммиачная селитра и карбамид. Они трансформируются в системе почва-растение и активно включаются в общебиологический круговорот азота, обеспечивая потребности вегетирующих растений в азоте. Но наряду с известными преимуществами, эти формы азотных удобрений имеют существенные недостатки: высокую растворимость в воде, повышенную вымываемость из пахотного слоя, что приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод. Кроме того, использование высоких доз азотных удобрений часто связано с накоплением в основной сельхозпродукции, а также в почве, значительного количества нитратного азота, что приводит к деградации земель и снижению качества продукции [1].

Следовательно, актуальным является разработка и создание таких форм азотных удобрений, которые обладают пролонгированным действием, что обеспечивает эффективное использование азота в течение всего периода вегетации.

Большой практический интерес представляют методы улучшения качества удобрений, которые не столь

значительно усложняют технологический процесс их производства и не требуют использования дефицитных и дорогостоящих реагентов и кондиционирующих добавок. Нанесенная на поверхность частиц оболочка создает дополнительное сопротивление массопереносу в процессе растворения. Как результат, увеличивается коэффициент использования данных удобрений, что позволяет сократить их количественное внесение в почву.

Использование в качестве материала защитной оболочки органических отходов является актуальным, поскольку решает задачи получения органо-минеральных удобрений пролонгированного действия и одновременно проблему утилизации органических отходов. Однако эффективность применения техники псевдооживления в технологии получения органо-минеральных удобрений с заданными свойствами определяется особенностями температурного режима гранулирования и теплопереноса в кипящем слое.

Решение этих задач наталкивается на трудности, обусловленные недостаточной информацией экспериментальных и теоретических исследований в данном вопросе, а также отсутствием аналитических зависимостей для определения времени и температуры прогрева гранул. Знание указанных параметров является

важным при определении оптимального температурного режима гранулирования с целью получения удобрений требуемого качества.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для покрытия гранул минеральных удобрений могут применяться различные композиции. Так, например, автор [2] предлагает покрывать карбамид оболочкой из серы. Процесс покрытия осуществляется во вращающихся барабанах, где над слоем гранул карбамида распыляют расплавленную серу. После этого, на образовавшийся слой серы, наносят воск, который содержит небольшое количество антисептической смолы. Несмотря на то, что сера является микроудобрением, ее чрезмерное внесение в почву токсично, что пагубно сказывается на почвенных микроорганизмах. Также при использовании таких удобрений будет происходить вторичное загрязнение почвенной среды воском, который в добавок содержит антисептическую смолу.

Для капсулирования карбамида на ЧАО «Северодонецкое объединение Азот» (Украина) применяют карбамидоформальдегидную смолу марки КФС-К. Это же вещество автор [3] предлагает использовать для предотвращения гигроскопичности. Такой метод применим исключительно для веществ со сравнительно малым уровнем слеживаемости, таких как карбамид, нитрофоска и тому подобное. Еще одним недостатком является высокое содержание очень токсичного вещества – формальдегида.

Известно гранулированное удобрение [4], которое содержит минеральное ядро и покрыто оболочкой на основе неорганического вещества – глауконита. Недостатком этого изобретения является то, что глауконит представляет собой минерал, который вместе с ядром, также минерального происхождения, поступают в почву, а это способствует повышению кислотности почвы и созданию высокой концентрации питательных веществ, что отрицательно влияет на развитие растений.

Известен способ [5] получения капсулированных медленнодействующих удобрений путем нанесения на поверхность гранул суспензии фосфогипса в 20–50 %-ном растворе карбамидной смолы при температуре 70–90 °С в течение 2–3 минут. Однако этот способ не исключает слипание и слеживание гранул, а также гранулы с фосфогипсовым покрытием не отличаются высокими прочностными свойствами.

Образование сплошной оболочки на поверхности минеральных гранул может происходить в результате реакции двух или более веществ. Примером такой технологии является инкапсулированная частица [6], которая состоит из ядра и расположенной вокруг него оболочки. Ядро включает минеральное удобрение, а в качестве оболочки используется полиуретановый слой, который является продуктом реакции ароматического изоцианатного компонента и полиола. Основным недостатком получаемого таким образом удобрения является содержание полиуретана – химического вещества, которое очень долго разлагается в почве с выделением токсичных веществ, а также трудности в получении на поверхности гранул сплошной полимерной пленки.

В США авторами [7] был запатентован процесс покрытия гранулированных удобрений слоем жидкой серы и растворенным битумом, а сверху, для предотвращения слипания, гранулы дополнительно обрабатывались минеральным порошком. В качестве минерального порошка предлагается использовать извештняк, мел, тальк и кремнезем.

В качестве материала оболочки также используют парафиновый воск, синтетические и природные резины, полиолефины, растворы силиката натрия и хлористого кальция и так далее. Большинство капсулирующих материалов не растворяются под воздействием влаги, и с каждым внесением таких удобрений почва становится все более загрязненной, а, следовательно, ухудшается состояние окружающей среды. Такая тенденция наблюдается с каждым годом все больше и больше.

Основным и существенным недостатком капсулированных материалов, в сравнении с некапсулированными, является увеличение энергетических и материальных затрат на их производство. Для повышения конкурентоспособности капсулированных удобрений следует использовать дешевые материалы и композиции на их основе.

Вещество, используемое в качестве оболочки для нанесения на гранулы минеральных удобрений, должно:

- иметь природное происхождение, чтобы не вредить почвенным микроорганизмам;
- создавать на поверхности гранулы пористый защитный слой, который обеспечивает дозированное высвобождение питательных веществ;
- иметь достаточную твердость и прочность, чтобы не скалываться при транспортировке и внесении.

Следует отметить, что Украина является аграрным государством, однако в течение последних десятилетий наблюдается катастрофическое разрушение сельскохозяйственных угодий. Вследствие использования устаревших агротехнологий и несоблюдения правил сельскохозяйственной деятельности происходит стремительная деградация почв. Подсчитано, что Украина ежегодно теряет около 11 млн. тонн гумуса [8]. Большинство сельскохозяйственных производств Украины убыточны, а значительная часть сельскохозяйственной продукции и продуктов питания не соответствуют мировым стандартам качества, что приводит к уменьшению экспортного потенциала страны, и, как результат, к упадку сельских территорий. Учитывая европейскую ориентацию Украины, существует неотложная потребность разработки и внедрения удобрений, специально приспособленных для выращивания экологически безопасных продуктов питания. Следовательно, необходимо создавать новые производства, а также проводить реконструкцию действующих химических комбинатов для выпуска удобрений на органической основе.

В то же время, в Украине, да и во всем мире, существует проблема накопления органических отходов птицефабрик, которые в значительной степени превышают отходы бытовой деятельности человека. Это очень серьезная проблема, требующая увеличения площадей для их сбережения и захоронения. Вовлечение животноводческих отходов в биохимический круговорот способствует, с одной стороны, их утили-

зации, а с другой – расширению сырьевой базы для производства новых удобрений [9].

Следует отметить, что бесподстилочный куриный помет соответствует всем вышеперечисленным требованиям и может использоваться в качестве защитной оболочки для покрытия азотных удобрений. Полученный таким образом капсулированный продукт обладает пролонгированным действием и более продуктивно питает растение в течение длительного времени, а благодаря органическому происхождению материала оболочки – не загрязняет почву и окружающую среду.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является исследование процесса образования органических и капсулированных органо-минеральных гранул пролонгированного действия, а также разработка технологической схемы для получения гранулированных удобрений на органической основе.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- экспериментально установить рабочие температуры (температурный режим) процесса гранулирования суспензии куриного помета в аппарате кипящего слоя;
- установить закономерности теплообмена между тепловым агентом (воздухом) и слоем дисперсного материала при испарении органической суспензии с поверхности гранул;
- предложить технологическую схему установки для получения гранулированных удобрений на органической основе, которая учитывает физико-химические особенности используемых веществ.

4. Исследование закономерностей теплопереноса процесса гранулирования в кипящем слое

4. 1. Температурные режимы гранулирования органических суспензий

В промышленном птицеводстве используют два основных способа уборки помета – механический и гидросмыв. В связи с этим различают: природный бесподстилочный помет влажностью 65–70 %, полужидкий – 91–95 % и сточные воды – более 95 % воды. Таким образом, оптимальной технологией для получения органических и органо-минеральных гранул является их гранулирование в аппаратах кипящего слоя с форсуночным распылением [10]. Особенностью использования куриного помета является диспергирование в кипящий слой не раствора, как это происходит в случае гранулирования минеральных удобрений, а суспензии. В этом случае механизм укрупнения гранул неоднозначный и существенно зависит от специфики суспензии и режима процесса, которые и определяют характер взаимодействия суспензии с дисперсной твердой фазой. То есть скорость роста гранул зависит от соизмеримости двух факторов – времени растекания капли и интенсивности испарения жидкой фазы суспензии.

В процессе лабораторных исследований температура под решеткой регулировалась в пределах 50–100 °С,

при этом температура воздуха в слое гранул была в диапазоне 40–80 °С. Падение температуры объясняется тем, что в слой кипящих гранул постоянно подается влажная суспензия, которая, испаряясь, отбирает тепло. Следовательно, изменяя температуру воздуха под решеткой, а значит и в слое, можно регулировать протекание процесса. Экспериментально были установлены температурные режимы процесса гранулирования:

– оболочковый режим – при температуре воздуха в слое в пределах 60–65 °С суспензия растекается по поверхности гранулы и начинает интенсивно испаряться влага, образуя при высыхании тонкий прочный слой сухой органики;

– неравномерный оболочковый режим (с трещинами) – увеличение температуры воздуха в слое до 70–80 °С приводит к образованию неравномерной поверхности с глубокими трещинами. Это сопровождается скалыванием сухого вещества в некоторых местах гранулы, что способствует образованию новых органических центров грануляции.

Основным показателем качественного покрытия, в случае капсулирования гранул минеральных удобрений куриным пометом, является равномерно распределенная по поверхности гранулы оболочка определенной толщины, которая способствует полному заключению минеральных ядер в слой органики (рис. 1, а). Таким образом, рабочим является оболочковый режим, который позволяет дорастить все гранулы до товарного размера.

Если температуру воздуха поддерживать в пределах 70–80 °С, то в слое одновременно протекают два процесса – идет наращивание (укрупнение) гранул, а также образуются небольшое количество мелких частиц. Этот температурный режим является рабочим для получения органических удобрений и обеспечивает непрерывную работу аппарата в течение длительного времени с постоянным образованием товарных гранул. В результате получаются многослойные гранулы заданного гранулометрического состава, обладающие очень высокой плотностью и прочностью (рис. 1, б).

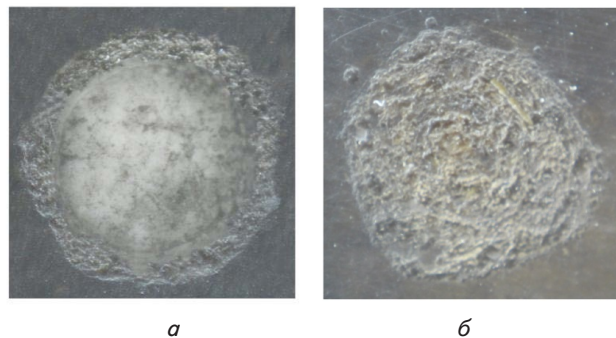


Рис. 1. Срезы гранул (увеличение в 20 раз):
а – двухкомпонентной органо-минеральной гранулы (карбамид + куриный помет); б – органической гранулы (куриный помет)

4. 2. Закономерности теплопереноса с потоками твердой фазы в слое дисперсного материала

Перенос тепла в выделенном объеме ΔV по направлению «х» осуществляется за счет:

1) тепла, которое поступает в объем с частицами из соседних ячеек;

2) тепла, которое покидает элементарный объем с гранулами;

3) тепла от сушильного агента, подводимого к поверхности твердых частиц за счет конвекции;

4) тепла, покидающего объем с мелкими частицами, которые выносятся газовым потоком в направлении «у».

Объемное количество частиц в слое (шт/м³) представлено:

$$N = \frac{n \cdot \rho_{ГР}}{V_B \cdot \rho_B}, \tag{1}$$

где n – количество частиц в единицу времени, с⁻¹; V_B – расход сушильного агента, м³/с; $\rho_{ГР}$, ρ_B – плотности дисперсных частиц и сушильного агента соответственно, кг/м³.

$$n = \frac{G_{ГР}}{\rho_{ГР} \cdot V_{ГР} \int_0^\infty f(D) dD}, \tag{2}$$

где $G_{ГР} = G_{РЕТ} + G_0$ – расход гранул, кг/с; $G_{РЕТ}$ – количество ретура, кг/с; G_0 – расход твердой фазы суспензии, кг/с; $V_{ГР}$ – объем исходных гранул, м³; $f(D)$ – функция распределения гранул по размерам.

Расходная концентрация взвешенного слоя, кг/кг:

$$G_{СЛ} = \frac{G_{ГР}}{V_B \cdot \rho_B} = \frac{G_{ГР}}{G_B}. \tag{3}$$

С учетом (2) и (3), уравнение (1) будет иметь следующий вид:

$$N = \frac{G_{СЛ}}{V_{ГР} \int_0^\infty f(D) dD}. \tag{4}$$

Удельная поверхность гранул в выделенном объеме, м²/м³:

$$F_{уд} = N \cdot F_T = \frac{6 \cdot (1 - \epsilon)}{D}, \tag{5}$$

где ϵ – порозность кипящего слоя; D – диаметр частицы, м.

Считаем, что во взвешенном слое, в результате активного перемешивания частиц, переноса тепла за счет конвективного перемещения твердых частиц в направлении «х» не происходит. Также пренебрегаем вынесением частиц газовым потоком.

При таких допущениях уравнение теплопереноса в потоке твердой фазы запишется в виде:

$$G_{СЛ} \cdot \rho_{ГР} \cdot c_{ГР} \frac{dt}{d\tau} = \frac{\alpha(D, w) \cdot 6 \cdot (1 - \epsilon) \cdot [t(D) - t_c]}{D}, \tag{6}$$

где $c_{ГР}$ – теплоемкость частиц, Дж/(кг·К); dt – изменение температуры частиц, °С; $d\tau$ – промежуток времени

проведения процесса, с; α – коэффициент теплоотдачи от теплового агента к поверхности частиц, Вт/(м²·К); w – скорость теплового агента, м/с; t_c – температура суспензии на поверхности частиц, °С.

Решая уравнение (6) при начальных и граничных условиях, получаем уравнение для определения температуры твердых частиц:

$$t(\Delta\tau) = t(\tau) \cdot \exp\left(\frac{\alpha(D, w) \cdot 6 \cdot (1 - \epsilon)}{G_{СЛ} \cdot \rho_{ГР} \cdot c_{ГР} \cdot D}\right) \cdot \tau, \tag{7}$$

или

$$t_K = t_{П} \cdot \exp\left(\frac{\alpha(D, w) \cdot 6 \cdot (1 - \epsilon)}{G_{СЛ} \cdot \rho_{ГР} \cdot c_{ГР} \cdot D}\right) \cdot \tau_{ПР}, \tag{8}$$

где $\tau_{ПР}$ – продолжительность прогрева частицы до заданной температуры начала испарения влаги с пленки суспензии на поверхности гранулы, с.

Анализ зависимости (8) показывает, что изменение температуры поверхности твердых частиц в выделенном объеме кипящего слоя, в первую очередь, зависит от коэффициента теплоотдачи со стороны теплового агента, величина которого обуславливается конкретными условиями процесса теплообмена в кипящем слое, а также площади поверхности и теплофизических свойств гранул.

4. 3. Закономерности распределения температур в середине гранулы при ее прогреве

В условиях гранулирования частиц в кипящем слое, при их одновременной сушке, особое значение приобретают вопросы, связанные с определением температурных полей в твердой, примерно шаровидной формы, частице. Также большую роль играет продолжительность прогрева гранулы до температуры испарения влаги из пленки суспензии, покрывающей эту гранулу. Такой процесс описывается дифференциальным уравнением нестационарной теплопроводности [11]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_{ГР} \cdot \left[\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \right], \tag{9}$$

де $a_{ГР}$ – коэффициент температуропроводности твердой частицы, м²/с; t – текущая температура частицы, °С; r – текущий радиус частицы, м; τ – время прогрева частицы, с.

Принимаем, что шарообразная частица внешним радиусом R представляет собой однородную и изотропную среду, характеризующуюся определенными значениями температуропроводности $a_{ГР}$, теплоемкости $c_{ГР}$ и плотности $\rho_{ГР}$. Температура сушильного агента t_B и коэффициент теплоотдачи α остаются постоянными в течение всего процесса прогрева гранулы.

Начальные условия, предусматривающие равномерное распределение температуры по объему гранулы в начальный момент времени τ_0 , представляются в виде:

$$\tau > \tau_0, \quad 0 < r < R, \quad t(r, \tau_0) = f(r). \tag{10}$$

Условия симметрии имеют вид:

$$t(0, \tau) \neq \infty, \quad \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial r} = 0. \quad (11)$$

Решение уравнения (9) методом разделения переменных [11], при граничных условиях третьего рода (равенство потоков тепла, подведенных от теплового агента к поверхности гранулы и от нее в середину частицы)

$$\alpha \cdot [t(r, \tau) - t_B] = \lambda \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r}, \quad (12) \quad t_{\text{ПР}} = (t_B - t_{\text{ТП}}) \cdot \left[1 - (0,47(\text{Bi}) + 0,01) \exp \left(- \left(\frac{\text{Bi}^2}{0,47(\text{Bi}) + 0,01} - \text{Bi}^2 + \text{Bi} \right) \text{Fo} \right) \right] + t_{\text{ТП}}. \quad (20)$$

представляется в виде

$$\frac{t_T - t_{\text{ТП}}}{t_B - t_{\text{ТП}}} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6}{\mu_n^2} B_n \exp(-\mu_n^2 \text{Fo}), \quad (13)$$

где t_T – среднеобъемная текущая температура гранулы, °С; $t_{\text{ТП}}$ – начальная температура гранулы, °С; Fo – критерий Фурье; B_n , μ_n – константа и корень уравнения соответственно.

Поскольку процесс прогрева считается достаточно продолжительным ($\text{Fo} \geq 0,3$), бесконечный ряд быстро сходится и можно ограничиться только первым членом ряда ($n=1$) в уравнении (13).

Тогда:

$$\frac{t_T - t_{\text{ТП}}}{t_B - t_{\text{ТП}}} = 1 - \frac{6 \cdot B_1}{\mu_1^2} \exp(-\mu_1^2 \text{Fo}). \quad (14)$$

Из выражения (15) определяется или температура прогрева гранулы $t_{\text{ПР}}$ (считая, что $t_T = t_{\text{ПР}}$) сушильным агентом до окончания процесса испарения влаги из пленки суспензии

$$t_{\text{ПР}} = (t_B - t_{\text{ТП}}) \cdot \left[1 - B_1 \exp(-\mu_1^2 \text{Fo}) \right] + t_{\text{ТП}}, \quad (15)$$

или время прогрева (сушки) гранулы $\tau_{\text{ПР}}$ до заданной температуры начала испарения влаги из пленки суспензии $t_{\text{ИСП}}$ (считая, что $t_{\text{ПР}} = t_{\text{ИСП}}$):

$$\tau_{\text{ПР}} = \frac{R^2}{a_{\text{ГР}} \mu_1^2} \ln \left[\frac{B_1}{1 - \frac{t_{\text{ИСП}} - t_{\text{ТП}}}{t_B - t_{\text{ТП}}}} \right]. \quad (16)$$

Константа B_1 и корень μ_1 в уравнениях (15) и (16) зависят от значения критерия Био:

$$B_1 = \frac{\text{Bi}^2}{\mu_1^2 + \text{Bi}^2 - \text{Bi}}, \quad (17)$$

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{\text{Bi}^2}{B_1} - \text{Bi}^2 + \text{Bi}}. \quad (18)$$

В работах [11, 12] для определения этих значений представляются громоздкие таблицы, которые очень сложно использовать при расчетах на ЭВМ. Поэтому для условий проведения данных исследований в диа-

пазоне изменения критерия Био $0,1 < \text{Bi} < 0,5$ методом наименьших квадратов были обработаны значения таблиц для константы B_1 и получено уравнение регрессии:

$$B_1 = 0,47(\text{Bi}) + 0,01. \quad (19)$$

Подставляя (18) и (19) в уравнения (15) и (16), получаем:

$$\tau_{\text{ПР}} = \frac{R^2}{a_{\text{ГР}} \cdot \left(\frac{\text{Bi}^2}{0,47(\text{Bi}) + 0,01} - \text{Bi}^2 + \text{Bi} \right)} \ln \left[\frac{0,47(\text{Bi}) + 0,01}{1 - \frac{t_{\text{ИСП}} - t_{\text{ТП}}}{t_B - t_{\text{ТП}}}} \right]. \quad (21)$$

Определение времени прогрева гранулы $\tau_{\text{ПР}}$ по зависимости (21) позволяет получить значения температуры твердых частиц в кипящем слое t_K по уравнению (8). Для предотвращения проникновения влаги через пограничный слой внутрь гранулы необходимо соблюдать условие: $t_K \geq t_{\text{ПР}}$. Значение температуры прогрева гранулы $t_{\text{ПР}}$ определяется по зависимости (20). Таким образом, аналитические выражения (20) и (21) позволяют значительно упростить алгоритм расчетов.

5. Разработка аппаратного оформления промышленной линии производства гранулированных удобрений на органической основе

Куриный помет в большом количестве содержит патогенную и условно-патогенную микрофлору: бактерии группы кишечных палочек – 10^4 – 10^6 , энтерококки – 10^6 , стафилококки – 10^{10} – 10^{12} , клостридии – 10^3 – 10^4 , сальмонеллы, яйца гельминтов. Кроме того, необработанный помет может быть фактором передачи множества инфекционных заболеваний (бруцеллез, туберкулез и т. д.). Поэтому он отнесен к III классу опасности, и прежде, чем его использовать в качестве удобрения, он должен пройти стадию подготовки (переработки).

Для решения этой проблемы предлагается использовать принципиально новый электромагнитный кавитатор (рис. 2).

Принцип действия кавитатора заключается в следующем [13]. Поток жидкого куриного помета подается через загрузочный бункер. Под действием электромагнитного поля в обрабатываемой суспензии идет зарождение гидродинамических колебаний, которые приводят к возникновению парогазовых пузырьков – возникает кавитация. Период жизни кавитационных пузырьков $\sim 10^{-6}$ с, после чего они лопаются, что сопровождается выделением больших импульсов энергии, при этом происходит резкое локальное повышение температуры и возникновение ударных волн. А это, в свою очередь, приводит к необратимым биохимическим процессам в микроорганизмах на клеточном уровне. То есть на выходе получаем гомогенизированную суспензию куриного помета без бактерий и яиц паразитов, а также без семян сорняков.

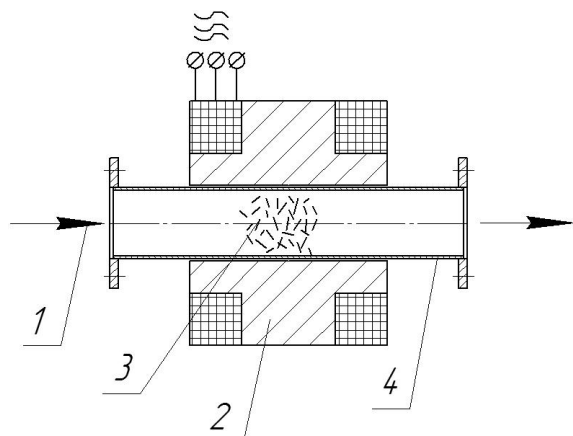


Рис. 2. Принципиальная схема кавитатора с вращающимся электромагнитным полем: 1 – поток обрабатываемого вещества; 2 – электромагнитный индуктор; 3 – ферромагнитные иглы; 4 – рабочая зона аппарата

На рис. 3 приведена структурная схема установки для получения гранулированных удобрений на органической основе, которая учитывает специфические свойства куриного помета.

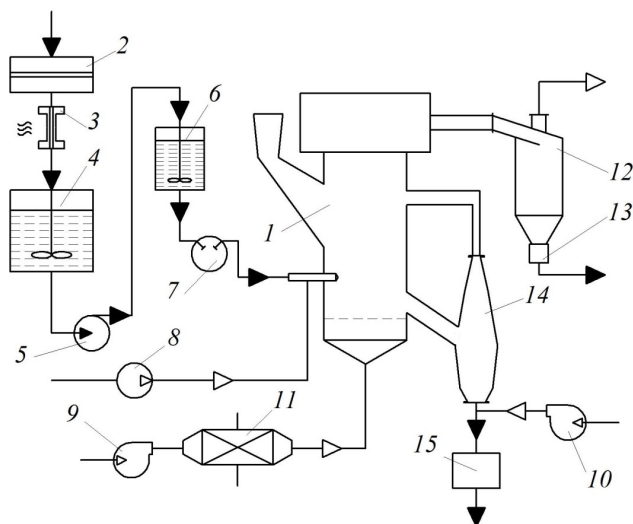


Рис. 3. Структурная схема установки для получения органических и капсулированных органо-минеральных гранул пролонгированного действия: 1 – аппарат кипящего слоя; 2 – дисковая мельница; 3 – электромагнитный кавитатор; 4 – емкость для гомогенной и обеззараженной суспензии куриного помета; 5 – насос; 6 – мерный бачок; 7 – насос-дозатор; 8 – компрессор; 9, 10 – газодувка; 11 – калорифер; 12 – циклон; 13 – сборник пыли; 14 – пневмоклассификатор; 15 – сборник товарных гранул

Установка работает следующим образом. Предварительно, исходная суспензия проходит стадию измельчения – куриный помет попадает в рабочую зону дисковой мельницы 2, где под действием срезающих и растягивающих сил происходит разрушение (истирание) твердых дисперсных включений. Полученная гомогенная масса направляется в кавитатор 3. Таким

образом, в емкость 4 уже поступает полностью подготовленное для работы обеззараженное сырье.

Далее, при помощи насоса 5, куриный помет попадает в мерный бачок 6, который оснащен перемешивающим устройством.

Непосредственно процесс гранулирования происходит в рабочей камере аппарата 1. Под газораспределительную решетку, проходя через калорифер 11, подается поток горячего воздуха в количестве, обеспечивающем устойчивый кипящий слой гранул. На пневматическую форсунку насосом 7 дозировано подается подготовленная органическая масса, распыл которой осуществляется сжатым воздухом, генерируемого компрессором 8.

Экологичность работы установки обеспечивается работой циклона 12, где происходит очистка отработанного воздуха от пыли, которая накапливается в сборнике 13, а очищенный воздух выводится за пределы установки.

Период действия капсулированных удобрений определяется временем высвобождения целевых компонентов из-под защитной оболочки, который, в свою очередь, зависит от физико-химических свойств материала и толщины покрытия. Экспериментально установлено, что скорость роста частиц в кипящем слое не зависит от их геометрического размера, то есть $dv/dD=0$. Это означает, что суспензия распределяется пропорционально площади поверхности частиц.

Таким образом, толщина органического покрытия зависит от соизмеримости двух факторов – количества пленкообразующей суспензии и общей площади поверхности гранул. При рабочем температурном режиме (60–65 °С), оптимизируя время проведения процесса, имеем возможность получить капсулированный продукт пролонгированного действия.

Процесс получения цельных органических гранул (рис. 1, б) заключается в следующем. На газораспределительную решетку аппарата 1 вносится так называемая затравка. В этом случае новые центры грануляции образуются как непосредственно из суспензии, которая распыляется в слой, так и за счет скалывания частиц с поверхности больших гранул. С уровня решетки организовывается постоянный отвод гранул. Отобранные гранулы попадают в пневмоклассификатор 14, в котором с помощью газодувки 10 происходит процесс пневмосепарации: мелкие гранулы (размером меньше 2 мм) по трубопроводу возвращаются в кипящий слой на доращивание, а гранулы товарного размера (рис. 4) – выводятся из процесса и накапливаются в сборнике 15.



Рис. 4. Общий вид товарных гранул

Следует также отметить, что вся сельскохозяйственная техника, используемая для внесения гра-

нулированных удобрений в почву, ориентирована на максимальный размер гранул до 5 мм. Поэтому товарная фракция будет состоять из гранул размером 2–5 мм.

6. Обсуждение результатов исследования влияния режимно-технологических параметров на процесс гранулирования органических суспензий

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить рабочие диапазоны температур для процессов гранулирования и капсулирования, которые влияют на структуру и свойства получаемых гранул.

Оболочковый режим позволяет получить двухкомпонентные удобрения, которые сочетают в себе полезные вещества органического и минерального происхождения в количестве, необходимом для их применения относительно агрономических условий региона. Нанесенная на поверхность минеральных гранул органическая оболочка в виде сухого куриного помета модифицирует их в продукт с новыми физико-химическими свойствами. При этом важным является срок действия капсулированных удобрений, который определяется временем высвобождения целевых компонентов из-под защитной оболочки. Таким образом, изменяя толщину органического покрытия, можем получать три разновидности капсулированных гранул: со сроком действия 3–4, 5–6 и 12–14 месяцев [14].

Если процесс гранулирования проводить при условиях, характерных для неравномерного оболочкового режима – это способствует протеканию бимодальных процессов: когда идет увеличение размеров частиц – нормальный рост, а также имеют место обратные процессы – за счет истирания и скалывания с поверхности гранул идет образования новых центров грануляции, что гарантирует долю мелких частиц в слое. Как раз гармоничное сочетание этих процессов способствует непрерывной работе аппарата и установки в целом. А получаемый многослойный

однокомпонентный продукт обладает повышенной прочностью и плотностью.

Полученные в работе аналитические зависимости позволяют определять параметры с достаточной для инженерных целей точностью. Однако они не учитывают сложную взаимосвязь ряда гидродинамических факторов в кипящем слое, которые могут влиять как на распределение температур гранул в слое, так и на продолжительность их прогрева. В дальнейшем планируется проведение исследований для получения закономерностей теплопереноса в процессе гранулирования с учетом особенностей гидродинамики кипящего слоя, уноса мелких частиц и условий образования новых центров грануляции.

7. Выводы

1. Экспериментально установлены рабочие температурные режимы капсулирования и гранулирования суспензий в кипящем слое, а именно: при температуре воздуха в слое гранул 60–65 °С на поверхности минеральной частицы образуется прочный слой органической оболочки; температура 70–80 °С обеспечивает непрерывность работы установки с получением полностью органических гранул.

2. Получены аналитические зависимости для определения времени и температуры прогрева гранул, которые позволяют прогнозировать энергетические затраты на создание гранулированных удобрений, увеличить экономические показатели данного производства и оптимизировать процесс.

Показано, что данные зависимости получены при граничных условиях третьего рода и являются функцией критерия Био.

3. Предложено аппаратное оформление промышленной линии производства гранулированных удобрений на органической основе, которая учитывает специфические свойства сырого куриного помета, а именно повышенная влажность и липкость, наличие жизнеспособных семян сорняков, яиц и личинок гельминтов и мух.

Литература

1. Jarchow, M. E. Nitrogen fertilization increases diversity and productivity of prairie communities used for bioenergy [Text] / M. E. Jarchow, M. Liebman // GCB Bioenergy. – 2013. – Vol. 5, Issue 3. – P. 281–289. doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01186.x
2. Patent US 6039781 A United States. Precoated controlled release fertilizers and processes for their preparation [Text] / Goertz H. M., Timmons R. J., Johnson W. R. – owner Oms Investments, Inc. – US 09/094, 329; fil. 21.03.2000; publ. 09.06.2008.
3. Gupta, S. K. Microencapsulation techniques and its application in pharmaceutical [Text] / S. K. Gupta, I. J. Singhvi, M. K. Shirsat, G. Karwani, A. Agarwal, Aditi // Asian Journal of Pharmaceutical Sciences and Clinical Research. – 2011. – Vol. 1, Issue 3. – P. 67–77.
4. Пат. 43789 Україна, МПК C05G5/00. Гранульоване мінеральне добриво [Текст] / Абрамов С. М., Абрамова М. С. – власник С. М. Абрамов, М. С. Абрамова. – №u200904604; заявл. 08.05.2009; опубл. 25.08.2009.
5. Patent 20080111269 United States, IPC A61K9/14, B27N3/00. Granules, tablets and granulation [Text] / Politi G., Heilakka E. – owner G. Politi, E. Heilakka. – №11/979530; fil. 05.11.2007; publ. 15.05.2008.
6. Пат. 2396237 Российская Федерация, МПК C05G3/00, C05G5/00, B01J13/00. Инкапсулированная частица [Текст] / Менте Д. Ч. – заявитель и патентообладатель БАСФ КОРПОРЕЙШН (US). – №2006145856/15; заявл. 11.05.2005; опубл. 10.08.2010.
7. Patent US 7674313 B2 United States. Controlled release fertilizer and system and method [Text] / Jordon S., Jordan J. – owner Dysart Corporation. – US 11/196, 768; fil. 04.09.2005; publ. 09.03.2010.
8. Лопушняк, В. І. Агротехнічне обслуговування сільськогосподарських формувань [Текст] / В. І. Лопушняк, І. О. Корчинський, М. М. Вислободська. – Львів: Новий Світ–2000, 2009. – 288 с.

9. Scialabbe, N. Organic agriculture and climate change [Text] / N. Scialabbe, M. Muller-Lindenlauf // Renewable Agriculture and Food Systems. – 2010. – Vol. 25, Issue 2. – P. 158–169.
10. Овчинников, Л. Н. Капсулирование минеральных удобрений во взвешенном слое [Текст]: монография / Л. Н. Овчинников, А. Г. Липин. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2011. – 140 с.
11. Юхименко, М. П. Апарати завислого шару. Теоретичні основи і розрахунок [Текст] / М. П. Юхименко, С. В. Вакал, М. П. Кононенко, А. П. Філонов. – Суми: Собор, 2003. – 304 с.
12. Лыков, А. В. Тепломассообмен [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1972. – 560 с.
13. Patent DE 20 2006 020 896.8, IPC B01J19/12. Prozessaktivierungseinheit [Text] / Vershinin, N. P., Rostovskaya. – EP 06 82 4454.0; tag der Anmeldung 24.10.2006; tag der Eintragung 30.09.2010.
14. Nawozy wolnodzialajace. Oznaczanie uwalniania skladnikow odzywczych. Metoda dla nawozow otoczkowanych. Norma europejska EN 13266:2001 [Text]. – Warszawa, 2003. – 12 p.

Досліджено кінетичні характеристики реакції відновлення нікелю гіпофосфітами в об'ємі розчину залежно від рН середовища, температури, вмісту окисника, природи і концентрації активатора, присутності водорозчинного полімеру. Доведено, що використання як активатора відновлення попередньо одержаних гідрозолів нікелю дає можливість значно скоротити тривалість індукційного періоду реакції відновлення за низьких температур

Ключові слова: метали, нікель, відновлення, хімічне осадження, гідрозоль, кінетика, швидкість реакції, полівінілпіролідон, гідрогелі, композит

Исследованы кинетические характеристики реакции восстановления никеля гипофосфитами в объеме раствора в зависимости от рН среды, температуры, содержания окислителя, природы и концентрации активатора, присутствия водорастворимого полимера. Доказано, что использование в качестве активатора восстановления предварительно полученных гидрозолей никеля позволяет значительно сократить продолжительность индукционного периода реакции восстановления при низких температурах

Ключевые слова: металлы, никель, восстановление, химическое осаждение, гидрозоль, кинетика, скорость реакции, поливинилпирролидон, гидрогели, композит

УДК 678.746:744

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59506

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ХІМІЧНОГО ОСАДЖЕННЯ НІКЕЛЮ

О. М. Гриценко

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: ogyrts@gmail.com

О. В. СуберлякДоктор хімічних наук,
професор, завідувач кафедри*

E-mail: suberlak@polynet.lviv.ua

В. С. Моравський

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: vmoravsky@gmail.com

А. В. Гайдук

Аспірант*

E-mail: funtik.ga.anna@gmail.com

*Кафедра хімічної технології переробки пластмас
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

1. Вступ

Металонаповнені гідрогелі проявляють специфічні властивості, які можуть змінюватись залежно від вмісту вологи, тиску, температури та рН середовища, що відкриває нові можливості їх використання [1, 2]. Принципово новим методом одержання композиційних металонаповнених полімерних гідрогелевих матеріалів є одержання частинок металу на стадії синтезу полімеру. Такий підхід у створенні композиційних гідрогелів є актуальним на даний час, оскільки позбавляє багатьох підготовчих та завершальних технологічних стадій процесу одержання композитів. Метод є привабливим як з практичної, так і з наукової точки зору через те, що

дає можливість отримати частинки металу нано- та мікророзмірів одночасно під час формування полімерної матриці, досягнути кращого, рівномірного їх розподілу та одержати матеріал з ізотропними властивостями. Дана робота є одним з етапів розроблення нікельнаповнених гідрогелів на основі кополімерів 2-гідроксіетилметакрилату (ГЕМА) з полівінілпіролідонем (ПВП) методом суміщення процесів полімеризації та хімічного відновлення металу. Однак, поєднання процесів відновлення та полімеризації є неможливим без знання їх кінетичних закономірностей. Крім того, враховуючи високу реакційну здатність ГЕМА–ПВП композицій в присутності солей металів змінного ступеня окиснення [3] та значно більшу тривалість процесів відновлення