

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ТОРФА

Л.Н. Овчинников

Лев Николаевич Овчинников *

Кафедра процессов и аппаратов химической технологии, Ивановский государственный химико-технологический университет, просп. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: piaxt@isuct.ru *

В работе рассматривается расчётно - экспериментальное исследование получения экологически безопасного вида комплексного гранулированного удобрения на основе торфа, сочетающего в себе действие органических и минеральных веществ, исключаящих для почвы вредные добавки. Кроме того, применение таких удобрений пролонгированного действия позволяет управлять ростом растений за счёт дозированного растворения питательных компонентов в почве. Приведена методика расчёта химического состава азотно-фосфорно- калийных органо-минеральных удобрений пролонгированного действия на основе торфа и модификатора карбометилцеллюлозы, позволяющая регулировать соотношение между питательными компонентами в готовом продукте. Требуемое агрохимическое соотношение между питательными компонентами представлено в виде отношения азота к фосфору и калию с учетом коэффициентов пропорциональности, зависящих от размера гранул и расхода материальных потоков компонентов химических веществ. Рассматривается технологическая схема лабораторной установки получения комплексного гранулированного удобрения, основными узлами которой являются конвективная сушилка с плотным слоем и гранулятор - экструдер. Методом математического планирования экстремальных экспериментов осуществлён поиск рациональных технологических условий гранулирования и конвективной сушки гранул удобрений. В результате статистической обработки результатов исследования получены зависимости, характеризующие качественные характеристики готового продукта: прочность, влажность, относительную растворимость. Осуществлено сравнение экспериментальных и расчетных исследований на примере анализа зависимости прочности гранул от концентрации модификатора при различной температуре воздуха под решеткой.

Ключевые слова: регулирование, удобрения, гранулы, сушка, прочность

INVESTIGATION OF PROCESS OF OBTAINING COMPLEX GRANULATED ORGANO-MINERAL FERTILIZERS OF PROLONGED ACTION BASED ON PEAT

L.N. Ovchinnikov

Lev N. Ovchinnikov *

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevskiy Ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: piaxt@isuct.ru *

The paper considers a calculation and experimental study of obtaining complex granulated fertilizer of an ecologically safe type based on peat, combining the action of organic and mineral substances that exclude harmful additives for the soil. In addition, the use of such long-acting

fertilizers makes it possible to control the growth of plants through the metered dissolution of nutrient components in the soil. The procedure for calculating the chemical composition of prolonged-action nitrogen-phosphorus-potassium organo-mineral fertilizers based on peat and carbomethylcellulose modifier is presented, which allows adjusting the ratio between the nutrient components in the finished product. The required agrochemical ratio between the nutrient components is represented as the ratio of nitrogen to phosphorus and potassium, taking into account the proportionality factors that depend on the granule size and the consumption of material flows of the chemical components. A technological scheme of a laboratory setup for the preparation of a complex granular fertilizer is considered, the main components of which are a convective drier with a dense layer and a granulator - an extruder. The method of mathematical planning of extreme experiments has been used to search rational technological conditions for granulation and convective drying of fertilizer granules. As a result of statistical processing of the research results, dependencies characterizing the qualitative characteristics of the finished product such as strength, moisture, relative solubility were obtained. Comparison of experimental and computational studies was carried out on the example of analysis of the dependence of the strength of granules on the concentration of the modifier at different air temperatures under the lattice.

Key words: regulation, fertilizers, granules, drying, strength

Для цитирования:

Овчинников Л.Н. Исследование процесса получения комплексных гранулированных органоминеральных удобрений пролонгированного действия на основе торфа. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2017. Т. 60. Вып. 9. С. 100–104

For citation:

Ovchinnikov L.N. Investigation of process of obtaining complex granulated organo-mineral fertilizers of prolonged action based on peat. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. V. 60. N 9. P. 100–104

ВВЕДЕНИЕ

К экологически безопасным видам удобрений можно отнести производство комплексных гранулированных удобрений (КГУ) на основе торфа, сочетающих в себе действие органических и минеральных веществ, исключающих для почвы вредные добавки. Кроме того, применение таких удобрений пролонгированного действия позволяет управлять ростом растений за счёт дозированного растворения питательных компонентов в почве.

В основе получения КГУ лежит физико-химическая активация гуминового комплекса торфа с последующими термомеханическими процессами смешивания с другими минеральными удобрениями, грануляцией и термообработкой в процессе сушки гранул [1]. Полученные удобрения должны содержать около 30% активированного торфа и 70% минеральных удобрений. При этом, суммарное содержание азота, фосфора и калия должно быть не менее 30%, а их соотношение может изменяться [2] в широком диапазоне. Типовыми соотношениями для тройных органоминеральных удобрений (ОМУ) являются N:P:K = 1:1:1; 1:1:1,5; 1:1,5:2; 0,5:1:1,5.

Целью исследования являлось получение гранулированных пролонгированного действия комплексных высококонцентрированных органоминеральных удобрений на основе торфа, заданного гранулометрического и химического состава в рациональных технологических условиях их получения.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Технологическая схема лабораторной установки, изображенная на рис. 1, предполагает проведение следующих операций: смешивание в смесителе 8 исходных порошкообразных (отходов производств) компонентов минеральных удобрений (карбамид, фосфат аммония, хлористый калий и т. п.) с измельченным торфом, модификатором и водой с целью получения пластичной пасты требуемой влажности; гранулирование пасты в экструдере 7 с получением частиц цилиндрической формы (рис. 2); сушка гранул до требуемой конечной влажности в плотном слое конвективной сушилки 5.

В соответствии с агрохимическими требованиями соотношение между питательными компонентами в комплексном удобрении можно за-

дать в виде $N:\varphi P_2O_5:\psi K_2O$ [3]. Где ψ и φ – коэффициенты, принимающие любое значение, например, 0,5; 1,0; 1,5; и т.д.. Следовательно, расчет химического состава комплексного органоминерального удобрения (ОМУ) сводится к нахождению дополняющих друг друга зависимостей ψ и φ , зависящих от размера гранул и расхода материальных потоков компонентов.

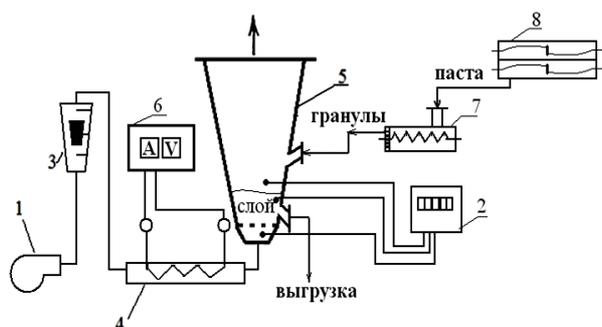


Рис. 1. Технологическая схема лабораторной установки для получения КГУ на основе торфа: 1 – газодувка; 2 – прибор для измерения температур; 3 – ротаметр для измерения расхода воздуха; 4 – электрокалорифер; 5 – аппарат КС; 6 – электрощит, 7 – шнековый гранулятор; 8 – “Z”-образный смеситель
Fig. 1. The technological scheme of reception of the granulated sorbents on the basis of peat: 1 – blower; 2 – temperature meter; 3 – air flow meter; 4 – electric heater; 5 – KC device; 6 – electric shield; 7 – screw granulator; 8 – Z shaped mixer



Рис. 2. Фотография гранул NPK ОМУ цилиндрической формы размером 5×6 мм
Fig. 2. Photograph of granules of NPK WMD of cylindrical shape with the size of 5×6 mm

Методика расчета химического состава NPK ОМУ на основе торфа

Расчет химического состава комплексных удобрений можно осуществлять по двум взаимодополняющим друг друга методам: а) для одной усредненной по размеру гранулы; б) для заданной производительности установки по твердой фазе.

Алгоритм расчета химического состава органо-минерального удобрения предполагает решение системы уравнений (1)-(15):

1. массовая доля компонентов, входящих в готовый продукт:

$$g_i = \frac{G_i}{\sum_1^n G_i}, \quad (1)$$

где G_i – соответственно масса торфа ($G_{\text{тор}}$), минеральных удобрений ($G_{\text{мин.уд.}}$), модификатора КМЦ ($G_{\text{КМЦ}}$);

2. плотность гранулы:

$$\rho_{gp} = \sum_i^n \rho_i \cdot g_i, \quad (2)$$

где ρ_i, g_i – плотность и массовая доля i - компонента в грануле;

3. масса гранулы:

$$G_{gp} = V_{gp} \cdot \rho_{gp}, \quad (3)$$

где V_{gp} – объем гранулы; ρ_{gp} – плотность гранулы;

4. количество гранул в слое:

$$n_{шт} = \frac{G_{сл}}{G_{gp}}, \quad (4)$$

где $G_{сл}$ – масса слоя гранул;

5. поверхность гранул в слое:

$$F_{сл} = n_{шт} F_{част} = n_{шт} \pi D_{gp} (0,5 D_{gp} + h_{gp}); \quad (5)$$

6. массы полезных компонентов:

- масса азота в мочеvine и моноаммоний-фосфате:

$$G_N = b_N^{\text{моч.}} \cdot g_m \cdot 0,785 D_{gp}^2 \cdot h_{gp} \cdot \rho_m + b_N^{\text{фа.}} \cdot g_{фа} \cdot 0,785 D_{gp}^2 \cdot h_{gp} \cdot \rho_{фа}; \quad (6)$$

- масса фосфора в моноаммонийфосфате:

$$G_{gp}^{P_2O_5} = b_{P_2O_5} \cdot g_{фа} \cdot G_{gp}; \quad (7)$$

- масса калия в хлористом калии:

$$G_{gp}^{K_2O} = b_{K_2O} \cdot g_K \cdot G_{gp}; \quad (8)$$

- коэффициенты φ и ψ :

$$\varphi = \frac{G_{gp}^{P_2O_5}}{G_{gp}}; \quad (9)$$

$$\psi = \frac{G_{gp}^{K_2O}}{G_{gp}^{P_2O_5}}; \quad (10)$$

- соотношение по химическому составу NPK в комплексном удобрении:

$$N:\varphi P_2O_5:\psi K_2O \quad (11)$$

Содержание азота в грануле:

$$N = \frac{G_{gp}^N}{G_{gp}} \quad (12)$$

Содержание фосфора в грануле:

$$P_2O_5 = \frac{G_{gp}^{P_2O_5}}{G_{gp}} \quad (13)$$

Содержание калия в грануле:

$$K_2O = \frac{G_{gp}^{K_2O}}{G_{gp}} \quad (14)$$

Суммарное содержание питательных веществ в грануле:

$$NPK = N + P_2O_5 + K_2O \quad (15)$$

Методика расчета химического состава, базирующаяся на уравнениях (1)-(15), была реализована в компьютерной программе Mathcad 15.

Разработанный алгоритм расчета химического состава NPK ОМУ, позволяет регулировать в получаемом удобрении требуемый набор соотношений N:P₂O₅:K₂O. Например, на лабораторной установке (рис. 1) было получено комплексное удобрение марки N:P₂O₅:K₂O = 19:20:20 с содержанием 81 (масс.%) минеральных удобрений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В основе расчетно-экспериментальных исследований получения комплексных гранулированных модифицированных ОМУ был выбран метод математического планирования экстремальных экспериментов (ПФЭ) типа 23 [4, 5].

В качестве исследуемых параметров были выбраны: Y₁ – конечная влажность гранул, доли; Y₂ – прочность гранул, МПа; Y₃ – коэффициент относительного растворения гранул, разы.

Независимые переменные, их интервалы и уровни варьирования: X₁ – температура воздуха под решеткой (70-80-90), °С; X₂ – содержание модификатора в исходной смеси (1-2-3), масс %; X₃ – время сушки (20-25-30), мин; X₄ – масса слоя (70-

80-90), гр.; X₅ – расход воздуха (30-35-40), м³/ч., не достигающего 80% до расхода, соответствующего началу псевдооживления.

Матрица планирования эксперимента и результаты исследований представлены в таблице.

В результате статистической обработки результатов исследования, включающих оценку значимости коэффициентов регрессионных уравнений по критерию Стьюдента и проверку адекватности уравнений по критерию Фишера, были получены следующие регрессионные зависимости, характеризующие качественные характеристики получаемого продукта:

1. Уравнение для определения влажности:

$$y_1 = 0,00628 - 0,00047x_1 - 0,00097x_2 - 0,000515x_3 - 0,00047x_4 + 0,00062x_5; \quad (16)$$

2. Уравнение для определения прочности:

$$y_2 = 1,291 + 0,451x_1 + 0,169x_2 + 0,244x_3 - 0,182x_5; \quad (17)$$

3. Уравнение для определения растворимости:

$$y_3 = 9,3825 + 0,0675x_1 - 0,0425x_2 - 0,1325x_5 \quad (18)$$

Поиск технологических параметров процесса осуществлялся методом крутого восхождения Бокса – Уилсона, позволивший разработать рациональные технологические условия получения КГУ в промышленности.

Таблица

Матрица планирования и результаты исследований эксперимента

Table. Lanning matrix and experimental results

№ п/п	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y ₁		Y ₂	Y ₃
							Температура воздуха под решеткой	Содержание модификатора	Время сушки	Масса слоя	Расход воздуха	Влажность гранул			
												Начальная	Конечная		
							°С	В пасте, %	мин	г	м ³ /ч	Абс (масс.)%	Абс (масс.)%	МПа	разы
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	70	1	20	90	40	8,77	0,96	1,72	12,95
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	90	1	20	70	30	11,58	0,64	2,16	8,71
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	70	3	20	70	40	6,94	0,617	1,64	11,46
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	90	3	20	90	30	11,64	0,5	2,066	5,38
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	70	1	30	90	30	9,3	0,49	1,875	13,86
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	90	1	30	70	40	13,4	0,809	2,066	8,14
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	70	3	30	70	30	9,81	0,633	1,97	10,2
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	90	3	30	90	40	11,3	0,374	2,161	10,26

На рис. 3 представлено сравнение расчетных (17) и экспериментальных данных по изменению прочности удобрений в зависимости от концентрации модификатора и температуры воздуха под решеткой.

Из рис. 3 видно, что при повышении концентрации модификатора от 1 до 3 (масс.%) и температуры воздуха под решеткой от 70 до 90 °С прочность гранул существенно увеличивается и достигает значения 1,8 МПа. Отклонение расчета

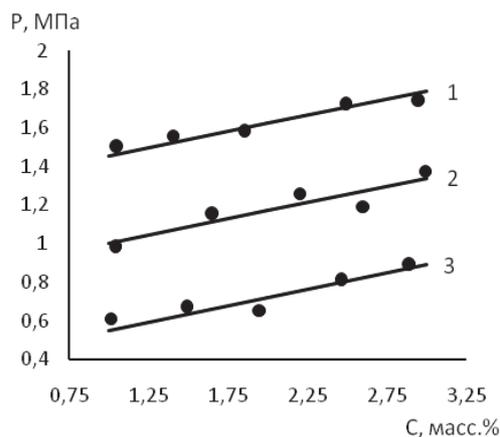


Рис. 3. Зависимость прочности (P) гранул NPK ОМУ от концентрации модификатора (C) при различной температуре воздуха под решеткой: 1-90 °С; 2-80 °С; 3-70 °С. Точки – эксперимент, линии – расчет

Fig. 3. The strength of granules of NPK WMD on the concentration of the modifier (C) at different air temperature under the grid: 1-90 °C; 2-80 °C; 3-70 °C. Dots – experiment, lines – calculation

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалёв Н.Г., Поздняков А.И., Мукасеев Д.А. Торф, торфяные почвы, удобрения. М.: Изд. ВНИИМЗ. 1998. 222 с.
2. Ненайденко Г.Н., Торлопов А.В. Применение торфа в сельском хозяйстве Ивановск. обл. Иваново: Иван.гос. сельхоз. акад. 2004. 95 с.
3. Овчинников Л.Н. Грануляция минеральных удобрений во взвешенном слое. Иваново: ИГХТУ. 2010. 168 с.
4. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химической технологии. М.: Химия. 1971. 496 с.
5. Овчинников Л.Н., Овчинников Н.Л. Расчетно-экспериментальные исследования получения органоминеральных сорбентов на основе торфа. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2012. Т. 55. Вып. 11. С. 89-92.

ВЫВОДЫ

от эксперимента удовлетворительное и не превышает статистической погрешности (5%), что свидетельствует о надежности выбранного метода поиска рациональных параметров проведения процесса.

Проведены расчетно-экспериментальные исследования по гранулированию и сушке органоминеральных удобрений на основе торфа с получением гранул пролонгированного действия требуемого гранулометрического и химического состава. Разработана методика по регулированию соотношений питательных компонентов в готовом продукте и найдены рациональные технологические условия его получения.

REFERENCES

1. Kovalyov N.G., Pozdnyakov A.I., Mukaseev D.A. Peat, peat soils, fertilizer. M.: Izd. VNIMZ. 1998. 222 p (in Russian).
2. Nenaïdenko G.N., Torlopov A.V. Application of peat in agriculture of Ivanovo region. Ivanovo: Agricultural. Acad. 2004. 95 p (in Russian).
3. Ovchinnikov L.N. Granulation of mineral fertilizers in the fluidized bed: monographya. Ivanovo: ISUCT. 2010. 168 p. (in Russian).
4. Kafarov V.V. Methods of cybernetics in chemical technology. M.: Khimiya. 1971. 496 p. (in Russian).
5. Ovchinnikov L.N., Ovchinnikov N.L. Computational and experimental investigations of organic-mineral sorbents based on peat. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2012. V. 55. N 11. P. 89-92 (in Russian).

Поступила в редакцию 25.04.2017

Принята к опубликованию 07.08.2017

Received 25.04.2017

Accepted 07.08.2017