

UOT 661.099.2

## SİLİNDRİK TİP DƏNƏVƏRLƏŞDİRİCİLƏRDƏ MİNERAL GÜBRƏ QRANULLARININ FORMALAŞMASININ ƏLAQƏLƏNDİRİCİ MƏHLULUN VERİLMƏ REJİMİNDƏN ASILILIĞI

SƏMƏDLİ VÜQAR MUXTAR oğlu

AMEA-nin M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutu, doktorant  
[samedov-muxtar@mail.ru](mailto:samedov-muxtar@mail.ru)

*Açar sözlər: dənəvərləmə, tozşəkilli materiallar, mineral gübrələr, tamlıq, əmtəə fraksiyası*

Tozşəkilli materialların dənəvərləşdirilməsi prosesi mürəkkəb fiziki-mexaniki proses olub, müxtəlif təsadüfi və fiziki hadisələrlə müşayiət olunur. Bu hadisələrə qranuləmələgəlmə mərkəzlərinin yaranması, qranulların öz aralarında və qranulla aparatın divarı arasında qarşılıqlı təsirlər, mexaniki təsir, sürtünmə nəticəsində qranulların dağılması, xarici qüvvələrin təsiri altında qranulların sıxlaşdırılması və s. aiddir. Beləliklə, çoxlu sayda müxtəlif qüvvələrin təsirinə əsasən qranuləmələgəlmə prosesi təsadüfi və stoxastik xüsusiyyətə malikdir. Bu işə qranulların əmələ gəlməsi zamanı onların müxtəlif ölçülərə malik olması, əlaqələndirici maddənin damcılarının təsadüfi ölçüləri və qranullara təsir edən qüvvələrin xassələri ilə əlaqədardır. Bununla bağlı olaraq, əmələ gələn qranulların aparatda paylanması xüsusiyyəti və təsadüfi xarici qüvvələrin təsirindən sürtünmə və dağılması nəticəsində sıxlaşdırılmasını və yeyilməsini nəzərə alan aparat boyunca dəyişməsi və böyüməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Tozşəkilli materialların dənəvərləşdirilməsi prosesi kütlə mübadiləsi prosesləri ilə mürəkkəbləşmiş fiziki-kimyəvi hadisələrə aiddir [1, 2].

Silindrik dənəvərləşdiricilərdə qranuləmələgəlmə prosesi tozun ayrı-ayrı hissəciklərinin vahid sistemə (qranula) əlaqələndirici maddə vasitəsilə birləşməsindən ibarətdir və aşağıdakı mərhələlər müəyyən edilir: özəkəmələgəlmə və qranulun bütövlüklə tamamlanmasına qədər hissəciklərin laylanması; diyirlətmə üsulu ilə qranulların sıxlaşdırılması; qranulların bir-biri və aparatın divarı ilə mexaniki sürtünməsi nəticəsində formalaşması; qranulların xırdalanması və s. [3, 4].

Məlumdur ki, molekulyar diffuziyanın sürətinə dənəvərləşdirilən hissəciklərin həcmi və quruluşu mühüm təsir göstərir [5-7]. Lakin burada həmin parametrlərə xüsusi olaraq baxılmır və qranuləmələgəlmə prosesinin inteqral göstəricisi – molekulyar diffuziya əmsalı ( $D$ ) nəzərə alınır.

Vahid qranulun əmələ gəlməsi zamanı onun saxlama qabiliyyəti bütövlüklə əlaqələndirici maddənin qatılığının radial istiqamətdə paylanması ilə təyin olunur. Əlaqələndirici fazanın radial istiqamətdə ötürülməsi molekulyar diffuziya tənliyi ilə ifadə olunur:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \left( D \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial C}{\partial r} \right) \quad (1)$$

kənar hədləri xarakterizə edən şərtlər  $r = r_r$  olduqda

$$-4\pi r_r^2 D \frac{\partial C_r}{\partial r} = j_0 \quad (2)$$

alırıq.  $t = 0$  olduqda

$$C = C_r^0 \quad (3)$$

olar. Burada  $C_r$  və  $C_r^0$  - əlaqələndirici, nəmləndirici və neytrallaşdırıcı məhlulun hazırkı qatılığı və onun ilkin qiyməti;  $r$ -qranulun hazırkı radiusu;  $r_r$  – retur hissəciklərin ölçüsü;  $j_0$  – diffuziya axını;  $t$  – zamandır.

(3) tənliyinə  $\mathcal{G} = rC$  daxil etdikdə aşağıdakı tənliyi ala bilərik:

$$D \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial r^2} = \frac{\partial \vartheta}{\partial t} \quad (4)$$

(4) tənliyinə  $\eta = \frac{r}{\sqrt{4Dt}}$  daxil etdikdə isə:

$$\frac{d^2 \vartheta}{d\eta^2} + 2\eta \frac{d\vartheta}{d\eta} = 0 \quad (5)$$

olar. (5) tənliyini ikiqat inteqrallamaqla (4) və (5) tənliyini nəzərə alaraq, aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$\eta = \eta_r = \frac{r_r}{\sqrt{4Dt}}; \quad -2\pi r_r^2 \frac{D}{\sqrt{Dt}} \cdot \frac{\partial C}{\partial \eta} = j_0$$

$$\eta \rightarrow \infty C = C^0$$

Nəticədə [1] tənliyinin həlli aşağıdakı kimi alınır:

$$\frac{C_a}{C^0} = m^{-1} \{1 - A_1 [\operatorname{erf}(m) - \operatorname{erf}(1,0)]\} \quad (6)$$

burada  $m = \frac{\eta}{\eta_r} = \frac{r}{r_r}$ ;  $A_1 = j_0 / (16\sqrt{\pi Dt} / DC_a^0)$

$C_a=0$  və  $r = r_k$  olduqda qranuləmələgəlmə prosesi tamamlanırsa və qranulun səthi üzərində əlaqələndirici maddənin qatılığı sıfır bərabər olursa, o zaman aşağıdakı ifadə əmələ gəlir:

$$r_k \approx r_r \left( 1 + 16\sqrt{\pi Dt} \frac{DC_a^0}{j_0} \right) \quad (7)$$

(6), (7) tənliklərindən və şəkil 1-dən görünür ki, qranulun tamamlanmasına əlaqələndirici maddənin ilkin qatılığı və retur hissəciklərin ölçüsü mühüm təsir göstərir.  $C_a^0$  artdıqca ( $A_1$  azaldıqca) qranulun tamamlanması onun böyük radiuslarında,  $C_a^0$  azaldıqca isə onun kiçik radiuslarında müşahidə olunur. Qranulun son ölçüsü returnun hissəciklərin ölçüsünə və onun qranulda qalma müddətinə düz mütənəsbdir. Şəkil 1-dən görüldüyü kimi, su hissəciklərinin ilkin qatılığının kiçik olması qranulların standart ölçülərə (1-4 mm) çatmasına imkan vermir. Lakin suyun qatılığını artırıqda qranulların ölçüləri həddindən artıq böyüyərək yumaqəmələgəlməyə səbəb olur. Böyük marağa səbəb olan – suyun verilməsinin dövrətdirməklə verilmə (rəqsi) rejimidir:

$$C_a(r, t) \Big|_{r=r_r} = A \cos \omega t \quad (8)$$

burada  $A$  və  $\omega$  – rəqslərin amplitudu və tezliyidir.

(1) tənliyini (8) tənliyinin şərti ilə həll edək. Bunun üçün onu (4) tənliyi şəklində, (8) tənliyini isə - aşağıdakı şəkildə yazaq:

$$\mathcal{G}(r, t) = r_r \cdot A \cos \omega t = r_r A e^{i\alpha t}, \quad i = \sqrt{-1}$$

(4) tənliyinin həllini aşağıdakı şəkildə aparaq:  $\mathcal{G}(r, t) = r_r \cdot A e^{\alpha r} + \beta t$ . Son ifadəni (4)

tənliyinə daxil etdikdə:  $\alpha^2 = \frac{1}{D} \beta$ ,  $\beta = i\omega$  alınar. Beləliklə, ədəbiyyat [7] dəlillərinə əsasən

$$\alpha = \pm \left[ \sqrt{\frac{\omega}{2D}} + i \sqrt{\frac{\omega}{2D}} \right] \text{ alarıq.}$$

Belə olan halda məhdudiyət şərtlərinə nəzərən aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$g(r, t) = r_r \cdot A e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2D}}(r-r_r)} \cos \left[ \sqrt{\frac{\omega}{2D}}(r-r_r) + \omega t \right]$$

İlkin işarələrə keçdikdə alırıq:

$$C_{\text{я}}(r, t) = \frac{r_r}{r} A e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2D}}(r-r_r)} \cdot \cos \left[ \sqrt{\frac{\omega}{2D}}(r-r_r) + \omega t \right]$$

$m = r/r_r$  dəyişənini daxil etdikdə aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$C_{\text{я}}(m, t) = \frac{A}{m} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2D}}(m-1)r_r} \cdot \cos \left[ \sqrt{\frac{\omega}{2D}}(m-1)r_r + \omega t \right] \quad (9)$$

Rəqslərin amplitudu eksponensial qanuna əsasən azalır (Şək.2).

$$A(m) = \frac{A}{m} \exp \left[ -\sqrt{\frac{\omega}{2D}}(m-1)r_r \right]$$

$T = 0$  olduqda  $C_{\text{я}} = C_{\text{я}}^0$  və  $A = C_{\text{я}}^0$  -dir. Son ölçüyə catdıqda  $r=r_k$  və  $t=t_k$  qranulun səthi üzərində suyun miqdarı (qatılığı) sıfıra bərabərdir, yəni  $C_{\text{я}}(r_k, t_k) = 0$  və (9) tənliyindən:

$\cos \left[ \sqrt{\frac{\omega}{2D}}(m-1)r_r - \omega t_k \right] = 0$  alırıq. Ona uyğun gələn şərt aşağıdakı kimi olur:

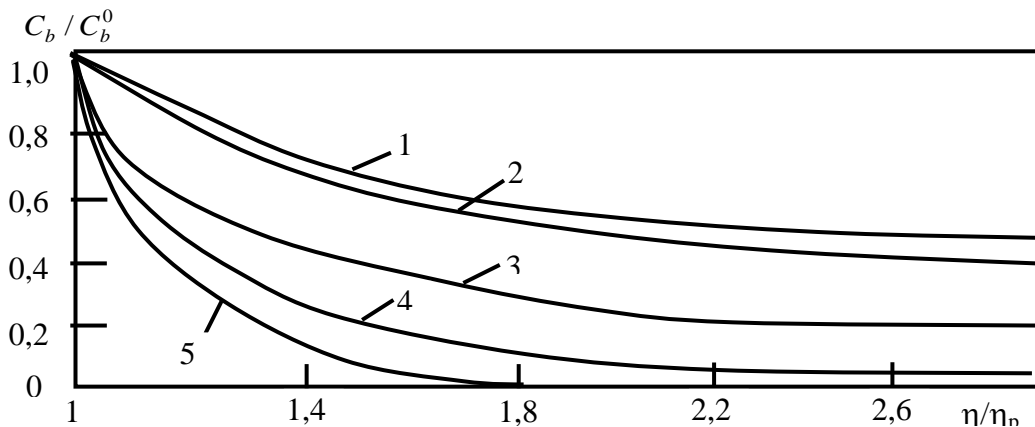
$$\sqrt{\frac{\omega}{2D}}(m-1)r_r - \omega t_k = \frac{\pi n}{2} \quad (10)$$

burada  $n$  – rəqslərin sayıdır.

Sənaye dənəvərləşdiricilərində superfosfatın standart qranullarının ölçüləri 1-4 mm-dir. (10) tənliyindəki  $r_k$  aşağıdakı şəkildə olduqda:

$$1 \leq r_k = r_r + \frac{\pi n + \omega t_k}{2\sqrt{\frac{\omega}{2D}}} \leq 4 \quad (11)$$

rəqslərin optimal qiymətlərini  $\omega$  və ya rəqslərin dövrünü  $T = 2\pi/\omega$  təyin etmək olar.



**Şək.1.**  $A_1$ -in müxtəlif qiymətlərində, nəmləşdirici-neytrallaşdırıcı - əlaqələndirici maddənin qranulda paylanması qatılığı: 1-  $A_1=0$ ; 2-  $A_1=0.2$ ; 3-  $A_1=0.6$ ; 4-  $A_1=1.0$ ; 5-  $A_1=1.2$

(11) tənliyində çevrilmə apardıqda alırıq:

$$\frac{1,414}{\sqrt{D}}(1-r_r) \leq \frac{\pi n + \omega t_k}{\sqrt{\omega}} \leq \frac{1,414}{\sqrt{D}}(4-t_r)$$

Retur hissəciklərin ölçülərini  $r_r=0.5 \text{ mm}$  qəbul etdikdə, aşağıdakı tənliyi alırıq:

$$\frac{0,707}{\sqrt{D}} \leq \frac{\pi n + \omega t_k}{\sqrt{\omega}} \leq \frac{4,95}{\sqrt{D}} \quad (12)$$

Beləliklə, rəqslərin optimal tezliyi diffuziyanın zamanından və diffuziya əmsalından asılıdır:  $\omega t_k \geq \pi n$  olduqda

$$\frac{0.707}{\sqrt{Dt_k^2}} \leq \sqrt{\omega} \leq \frac{4.95}{\sqrt{Dt_k^2}}$$

Sonuncu hal üçün dispersiya aşağıdakı kimi təyin olunur:

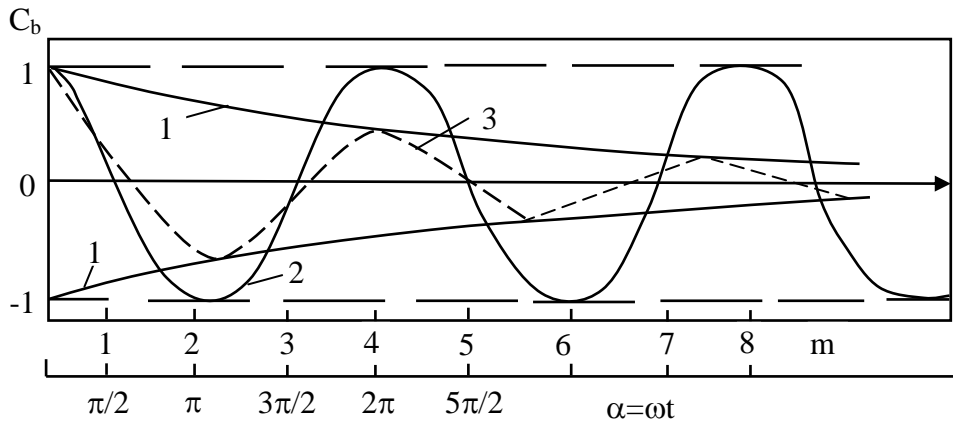
$$\sigma^2 = \int_0^{t_k} (r_k - \mu_a)^2 dt = \int_0^{t_k} \left[ r_r + \frac{\omega t}{2\sqrt{\frac{\omega}{2D}}} - \mu_a \right]^2 dt \quad (13)$$

burada  $\mu_a$ - qranulların orta ölçüsüdür.

Törəməni  $\omega$ -ya görə təyin etdikdə və sıfıra bərabər etdikdə tezliyin və rəqslərin dövrünün optimal qiymətlərini təyin etmək olar:

$$\omega_{opt.} = \frac{2(\mu_a - r_r)^2}{Dt_k^2}, \quad T_{opt.} = \frac{\pi Dt_k^2}{(\mu_a - r_r)^2} \quad (14)$$

(14) tənliyə əsasən rəqs tezliyinin rəqs rejimini həyata keçirən sənaye prosesinin idarəetmə sistemi tamamlanmış qranulların minimum dispersiyasını təmin edir. Bu da öz növbəsində ehtimal olunan sıxlığın paylanma funksiyasının sahəsini  $P_{\max}(r, t) = 1/(\sqrt{2\pi\sigma})$  kiçildərək, standart qranulların çıxımını artırır.



**Şəkl.2.** Nəmləşdirici-neytrallaşdırıcı-əlaqələndirici maddənin qatılığının rəqsi rejimdə dəyişməsi:

$$1 - \frac{A}{m} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2D}}(m-1)r}; \quad 2 - C_B(r, t) = A \cos \omega t; \quad 3 - C_B(r, t)$$

## ƏDƏBİYYAT

1. Келбалиев Г.И., Садыхов Ф.М., Мамедов А.Н., Тагиев Д.Б. Теория и практика гранулирования порошкообразных материалов. Баку: «Леман нашрият полиграфия» ООО, 2016, 328 с.
2. Kelbaliyev G.I., Samedli V.M., Samedov M.M. Modeling of granule formation process of powdered materials by the method of rolling. // Powder Technology, 194, 2009, pp. 87-94.
3. Келбалиев Г.И., Гусейнов А.С. Анализ завершенности гранул и колебательных режимов подачи воды в барабанных грануляторах. //Химическая промышленность, 1989, №12, с. 48-49.
4. Рустамов Я.И. Основные пути интенсификации процессов гранулирования суперфосфатов. Баку: Элм, 1985, 86 с.
5. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основные процессы технологии минеральных удобрений. М.: Химия, 1990, 304 с.
6. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. М.: Химия, 1982, 271 с.
7. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1986, 230 с.

## РЕЗЮМЕ

### ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНУЛ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ГРАНУЛЯТОРЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ПОДАЧИ СВЯЗУЮЩЕГО РАСТВОРА

*Самедли В.М.*

**Ключевые слова:** гранулирование, порошкообразные материалы, минеральные удобрения, завершенность, товарная фракция.

В статье рассматривается процесс грануляции порошкообразных материалов в цилиндрическом аппарате с учетом колебательных режимов подачи увлажняющей и нейтрализующей жидкости. Установлено, что система управления промышленным процессом, реализующая колебательный режим с оптимальной частотой колебаний, обеспечивает минимум дисперсии для завершенных гранул и увеличивает выход стандартного продукта.

## SUMMARY

### FORMATION OF GRANULES OF MINERAL FERTILIZERS IN CYLINDRICAL GRANULATORS DEPENDING ON THE MODES OF THE BINDING SOLUTION

*Samedli V.M.*

**Key words:** granulation, powder-like materials, mineral fertilizers, completeness, commodity fraction.

The process of granulation of powdered materials in cylindrical apparatus, taking into account the oscillatory modes of supplying moisturizing and neutralizing liquid has been studied. It has been established that the industrial control system process that implements an oscillatory mode with an optimal frequency fluctuations, provides a minimum of dispersion for completed granules and increases the yield of the standard products.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	14.03.2019
	Son variant	24.06.2019