

А.Л. Таран,  
Е.В. Долгалёв,  
Ю.А. Таран

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ФОРСУНОЧНОГО ГРАНУЛЯТОРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТКОВО- АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ В БАШНЯХ

УДК 542.65+548.5

**В** рамках работ по созданию технологии производства известково-аммиачной селитры в грануляционных башнях, производящих аммиачную селитру, были предложены грануляторы, пригодные для диспергирования суспензии. Одним из таких грануляторов является механическая форсунка, алгоритм расчета которой представлен в данной работе.

Отечественные производители заинтересованы в переоборудовании существующего производства аммиачной селитры под производство известково-аммиачной селитры [1]. Такая необходимость вызвана следующими обстоятельствами:

- во-первых, страны Евросоюза ограничивают и запрещают транспортировку и использование взрывоопасной аммиачной селитры, крупнейшим производителем которой традиционно являются предприятия России. Это вызывает повышение спроса на минеральные удобрения с пониженным содержанием азота, которые являются более взрывобезопасными и не попадают под указанные ограничения;

- во-вторых, известково-аммиачная селитра с пониженным (не более 28% масс.) содержанием азота по своим свойствам более безопасна с точки зрения экологии. Как в процессе производства из-за замены значительной части аммиачной селитры инертным Са, Mg-содержащим наполнителем, так и с точки зрения воздействия на окружающую среду при использовании в сельском хозяйстве новый продукт не является кислым по сравнению с традиционной аммиачной селитрой, что дает увеличение урожайности сельскохозяйственных культур до 15% [1];

- в-третьих, в условиях развивающейся экономики отечественные производители

минеральных удобрений заинтересованы в модернизации существующих производственных мощностей. А это требует создания более гибкого и более наукоемкого производственного процесса, что будет способствовать повышению конкурентной способности отечественных производителей.

То есть, известково-аммиачная селитра более экологически, технологически и взрывобезопасна, чем аммиачная селитра, а ее производство целесообразно организовать на существующих агрегатах получения аммиачной селитры при их минимальной реконструкции. Для этого нами проведен цикл работ: установлены причины сбоев работы центробежного гранулятора для суспензии; разработана методика расчета диспергирования суспензии известково-аммиачной селитры и траекторий полета капель в башне; экспериментально определены скорости зарождения и роста кристаллов и центров полиморфных превращений в кристаллической фазе известково-аммиачной селитры. Эти результаты опубликованы в печати.

Расчет диспергирующего устройства является первым и основным этапом расчета процесса гранулирования расплавов и суспензий в башнях. Этим методом, называемым еще приллированием, гранулируют азотсодержащие удобрения (аммиачную селитру, известково-аммиачную селитру, карбамид, NPK, NP-удобрения) [1-3]. Оригинальным является использование для этих целей центробежных механических форсунок, что позволяет проводить процесс диспергирования суспензии в грануляционных башнях некруглого сечения (например, в агрегатах АС-72 и АС-72М). Для цилиндрических грануляционных башен большого диаметра (~16м), которые

используются в агрегатах АС-60 и АС-62 предпочтительно применять центробежные грануляторы. Для призматических грануляционных башен - агрегаты АС-72

(с сечением башни 8\*11 м) и для АС-67 (из-за особенностей конструкции башни) предпочтительно использование форсуночных грануляторов.

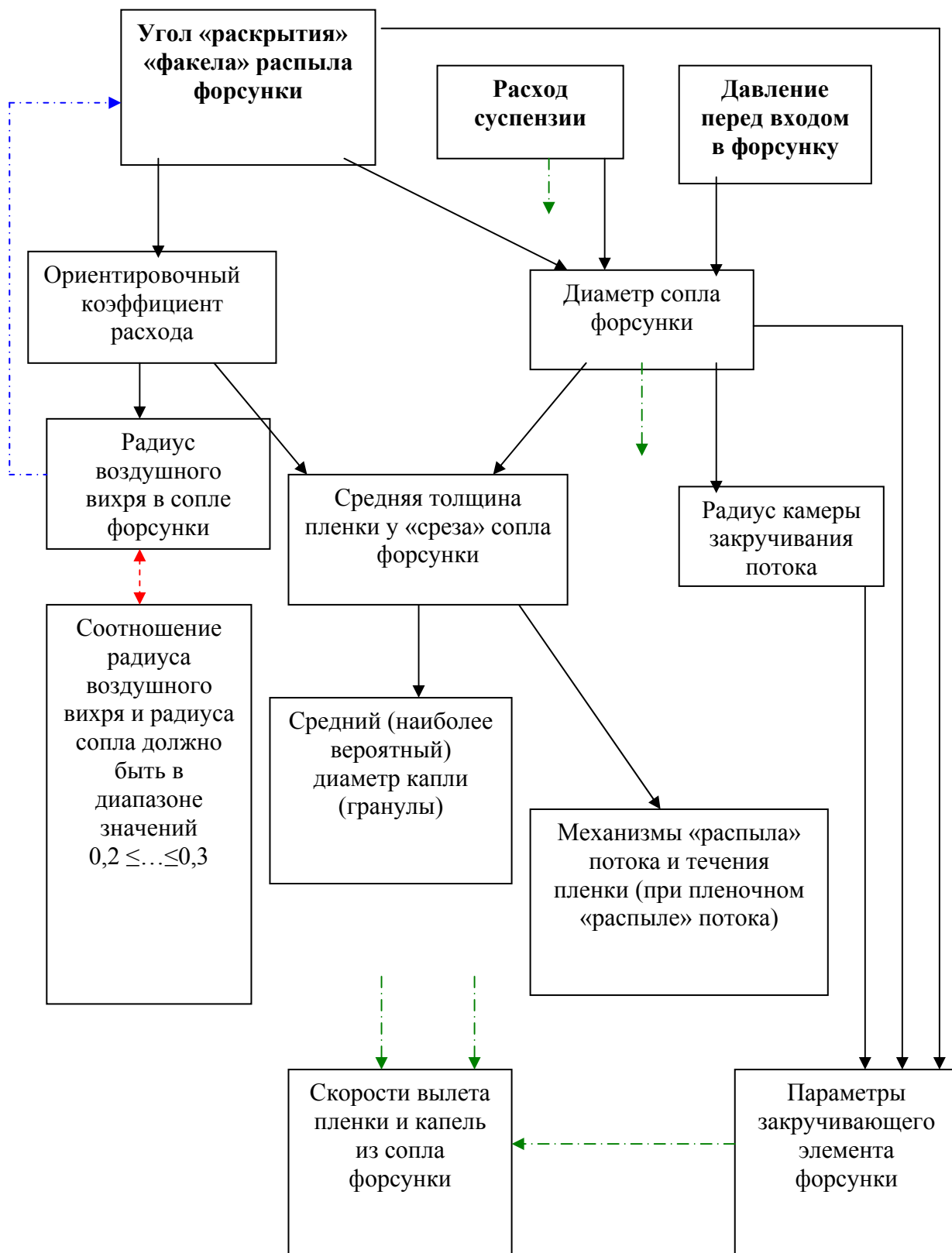


Рис. 1. Блок-схема расчета механического форсуночного гранулятора.

Форсунки не подвержены засорению твердыми частицами суспензии, так как имеют относительно большой диаметр отверстия выхода рабочего вещества.

Для расчета механического форсуночного гранулятора мы задавались физико-химическими свойствами суспензии, перепадом давлений  $\Delta P$  и требуемой производительностью  $G$  [3-6] (рис. 1).

Далее выбирали угол раскрытия струй («факел») из диапазона:  $60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$  (он же равен удвоенному углу закрутки каналов проточек закручивающего элемента). Определяли по эмпирической зависимости коэффициент расхода  $\mu_p$  [5]:

$$\mu_p = (127 - \alpha) / 139 \quad (1)$$

Зная расход и перепад давления, определяли ориентировочный диаметр отверстия сопла  $d_{сопла}$ .

$$d_{сопла} = \left[ \frac{4G_V}{(2\Delta P / \rho_{сусн})^{1/2} \mu_p \pi} \right]^{1/2}, \quad (2)$$

где  $G_V = \mu_p \frac{\pi d_{сопла}^2}{4} \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho_{сусн}}}$

Затем, зная диаметр сопла и коэффициент расхода, по формуле Хавкина определяли радиус воздушного вихря  $r_o$  в выходном канале форсуночного гранулятора [5,6].

$$r_o = \frac{r_{сопла}}{1 / (1 - 1,56 \sqrt{\mu_p})} \quad (3)$$

Причем соотношение  $r_o / r_c$  должно находиться в диапазоне значений  $0,2 \div 0,3$  [5,6].

Зная его и коэффициент расхода, определяли среднюю толщину пленки  $\bar{\delta}$ ,

$$\bar{\delta}_k = 9,26(\bar{\delta}a)^{1/2} \cdot \left[ \cos(\alpha/2) \sqrt{3 \left( 1 - \frac{tg^2(\alpha/2)}{2} - We + 6 \frac{a}{\bar{\delta}} tg(\alpha/2) We \right)} \right] \quad (11)$$

Зная величину  $We$ , можем дополнительно оценить частоту  $\lambda$ , которую надо накладывать на поток [3,5,6]:

$$3 \leq We \leq 10 - \text{частота отрыва капель от пленки } \lambda \approx \delta, \text{ при } We > 10 - \lambda = \frac{3\pi\sigma}{\rho_2 v_z^2} \quad (12)$$

диспергируемую форсункой [5,6]:

$$\bar{\delta} = r_{сопла} \frac{1 - \sqrt{1 - \mu_p \cos(\alpha/2)}}{\cos(\alpha/2)} \quad (4)$$

Далее с учетом расхода рассчитывали осевую (вдоль оси форсунки) скорость движения суспензии  $v_z$ :

$$v_z = \frac{G}{\rho_{сусн} \pi (r_{сопла} \bar{\delta} - \bar{\delta}^2)} \quad (5)$$

Также при определенном диаметре сопла рассчитывали геометрические параметры форсунки – радиус камеры закручивания  $R$ , шаг винтовой вставки  $m$ , длину выходного канала (сопла)  $l$ , общее сечение каналов  $f_{вх}$  (при заданном их количестве, обычно равном 3 или 4) в закручивающем элементе [5,6] (рис. 2).

$$R = r_{сопла} (4,42 - 2) / 0,42 \quad (6)$$

$$m \approx 2\pi R \quad (7)$$

$$0,5d_{сопла} \leq l \leq d_{сопла} \quad (8)$$

$$f_{вх} = 1,5\pi r_{сопла}^2 \quad (9)$$

Далее определяли режим истечения пленки из сопла форсуночного гранулятора  $\sqrt{g\delta} > v_z$  - вихревой, иначе – волновой режим распада.

Нормальным для нашего случая гранулирования считается пленочный режим распада. Он обеспечивает требуемый средний размер капель и гранулометрический состав, исходя из чего, по критерию Вебера -  $We$ ,

$$We = \frac{v_z \rho_2 a}{\sigma}, \quad (10)$$

где  $a = 5 \div 20 \cdot \delta$ , оцениваем средний диаметр гранул  $\bar{d}_k$  [3-6]:

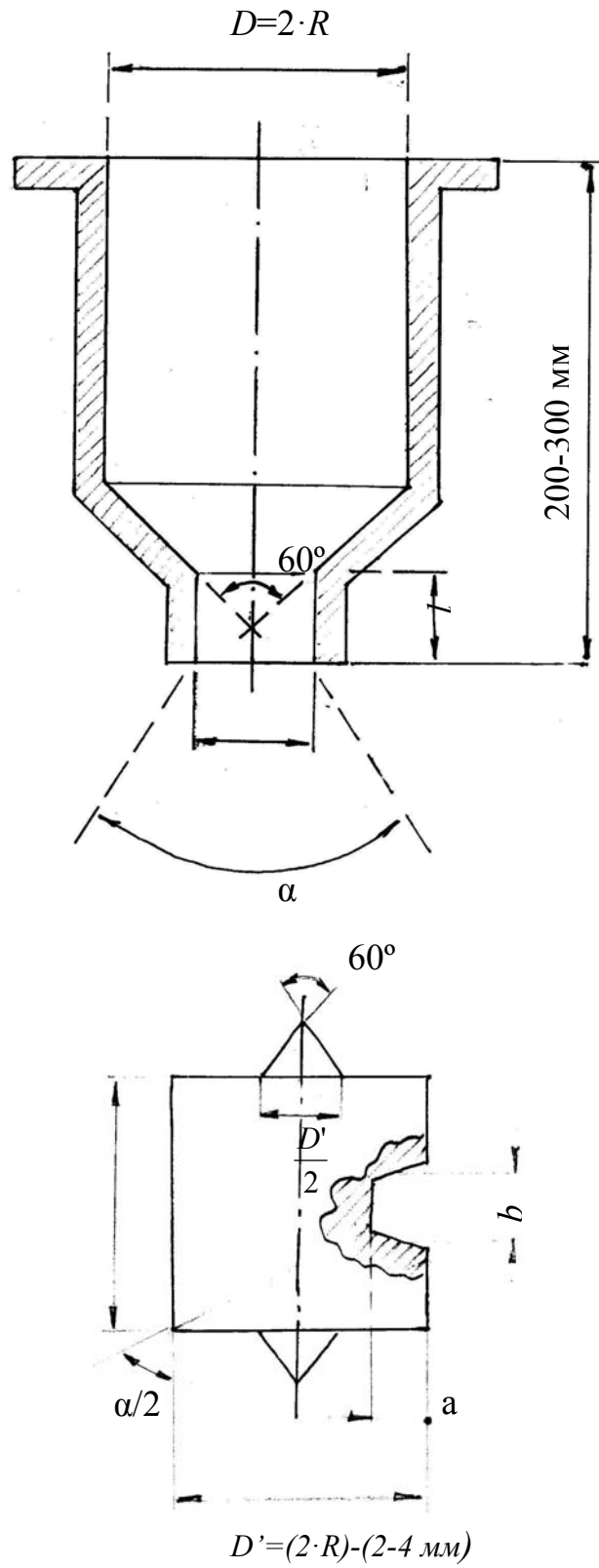


Рис. 2. Схема механического форсуночного гранулятора.

Таблица 1. Гранулометрический состав аммиачной селитры, полученный с использованием форсунок на агрегате АС-72

		опыт	расчет	опыт	расчет	опыт	расчет	опыт	расчет
Расход, *10 <sup>3</sup> , кг/час		12	12	12	12	12	12	12	12
ΔP (напор), ата		0,825	0,825	0,924	0,924	1,518	1,518	1,518	1,518
Средний размер гранул d <sub>ср</sub> , мм		2,53	2,5	2,27	2,2	2,70	2,6	2,24	2,2
α - угол раскрытия, °		65	65	65	65	65	65	65	65
Гранулометрический состав, %	< 1 мм	6,1	10,6	3,7	6,6	0,7	2,1	2,2	5,1
	1-2 мм	21,5	24,2	32,1	28,4	24,3	29,8	36,6	32,3
	2-3 мм	39,8	44,2	38,6	42,0	42,1	48,6	49,0	39,6
	3-4 мм	19,2	15,0	15,7	14,1	21,2	17,1	10,6	15,7
	4-5 мм	9,2	5,0	6,6	7,2	8,5	11,2	1,6	6,1
	5-6 мм	3,3	1,0	2,3	1,7	2,7	2,2	0,2	1,2
	> 6 мм	0,9	-	1,0	-	0,5	-	отс.	-
	2-4 мм	59,0	59,2	54,3	56,1	63,3	65,7	59,4	55,3
1-4 мм	80,5	83,4	86,4	84,5	87,6	95,5	96,0	87,6	

Распределение плотности орошения нормального потока сечения форсункой [1,5]:

$$\eta = \exp[-(r/r_1)^n], \quad (13)$$

где  $\eta$  - доля расхода от радиуса по оси  $r$ ,  $r_1$  и  $n$  - известны.

При неудовлетворительном значении параметра корректировали угол раскрытия струй.

Данный алгоритм расчета предложен впервые. Существующие алгоритмы расчета форсунок ориентированы в основном на распыл рабочего вещества [4-

6], то есть на получение капель (гранул) наименьшего размера и не рассчитаны на работу в рассматриваемом пленочном режиме. Форсуночные грануляторы, выполненные по размерам, полученным при помощи приведенного расчета, были испытаны (на воде и на аммиачной селитре) на стенде и в опытно-промышленных условиях (см. табл.1) [3]. Полученные результаты подтверждают применимость предложенного алгоритма расчета механического форсуночного гранулятора.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Казакова Е.А. Гранулирование и охлаждение азотсодержащих удобрений. М.: Химия, 1980, 289 с.
2. Производство аммиачной селитры в агрегатах большой единичной мощности. // Под ред. В.М. Олевского, М.: Химия, 1990, 288 с.
3. Долгалев Е.В. Технология и аппаратное оформление производства известково-аммиачной селитры в грануляционных башнях. Дисс. канд. техн. наук, М.: МИТХТ, 2006.
4. Холин Б.Г. Центробежные и вибрационные грануляторы плавов и распылители жидкости. М.: Машиностроение, 1977, 182 с.
5. Хавкин Ю.И. Центробежные форсунки. М.: Машиностроение, 1976, 168 с.
6. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкостей. М.: Химия, 1979, 216 с.