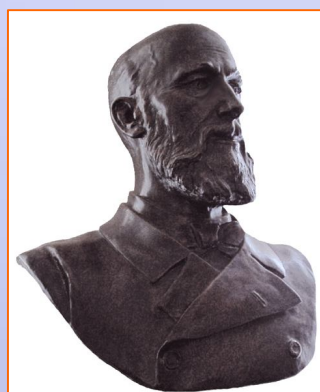
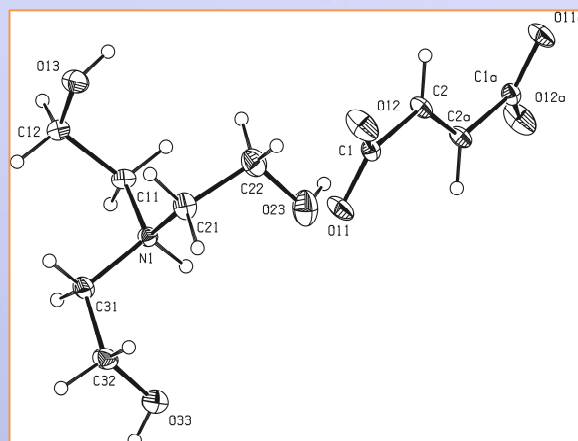


# Бутлеровские сообщения

№6, том 50. 2017



ISSN 2074-0212



*International Edition in English:*  
**Butlerov Communications**

ISSN 2074-0948



*Юридическим учредителем журнала “Бутлеровские сообщения” является  
ООО “Инновационно-издательский дом “Бутлеровское наследие”*

Журнал является официальным печатным органом Научного фонда им. А.М. Бутлерова (НФБ), которому также делегировано право юридически представлять интересы журнала.

Организационно в журнале существует институт соучредительства, в рамках которого с соучредителем подписывается Договор или Соглашение о научно-техническом, инновационном и научном издательском сотрудничестве.

В 2017 году соучредителями журнала являются:

1. Бурятский государственный университет,
2. Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности,
3. Ивановский государственный университет,
4. Кемеровский государственный университет,
5. Общественная организация Республиканское химическое общество им. Д.И. Менделеева Татарстана,
6. Отделение “Физико-химическая биология и инновации” Российской академии естественных наук,
7. Пермская государственная фармацевтическая академия,
8. Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
9. Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина,
10. Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
11. Самарский государственный технический университет,
12. Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва,
13. Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия,
14. Саратовский государственный университет,
15. Национальный исследовательский Томский государственный университет,
16. Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
17. Тульский государственный университет,
18. Федеральное казенное предприятие “НИИ химических продуктов” (г. Казань),
19. Челябинский государственный университет,
20. Отдел информатизации Центра новых информационных технологий Казанского национального исследовательского технологического университета (осуществляет активное содействие функционированию и изданию журнала).

Главный редактор: Самуилов Яков Дмитриевич

Исполнительный редактор: Курдюков Александр Иванович

**Адрес редакции:**

*Ул. Бондаренко, 33-44. г. Казань, 420066. Республика Татарстан. Россия.*

**Контактная информация:**

Сот. тел.: 8 917 891 2622

Электронная почта: [butlerov@mail.ru](mailto:butlerov@mail.ru) или [journal.bc@gmail.ru](mailto:journal.bc@gmail.ru)

Интернет: <http://butlerov.com/>

*Свободная цена.*

*Тираж – менее 1100 шт.*

*Тираж отпечатан 30 июня 2017 г.*



## **О базовых условиях получения сферических порохов с повышенной плотностью гранул по водно-дисперсионной технологии**

© **Енейкина\* Татьяна Александровна, Ермилова<sup>+</sup> Наталья Николаевна, Чистякова Любовь Анатольевна, Гатина Роза Фатыховна и Михайлов Юрий Михайлович**

*Федеральное казенное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт химических продуктов». ул. Светлая, 1. г. Казань, 420033. Республика Татарстан. Россия.  
Тел.: (843) 555-67-84. E-mail: [gniihp@bancorp.ru](mailto:gniihp@bancorp.ru)*

\*Ведущий направление; <sup>+</sup>Поддерживающий переписку

**Ключевые слова:** порох сферический, плотность, насыпная плотность, энергоёмкость, эффективность метательного заряда.

### **Аннотация**

Эффективность метательного заряда определяется его энергоёмкостью, максимальное значение которого определяется силой и насыпной плотностью пороха. Из многообразия факторов, влияющих на насыпную плотность, одним из основных является показатель плотности.

Проведен краткий анализ основных факторов, влияющих на плотность пороховых гранул водно-дисперсионного изготовления (физико-химические характеристики компонентов и технологические условия изготовления составов), и способов нивелирования негативных рецептурных воздействий снижения плотности. Представлены расчетные значения плотности бинарных нитратцеллюлозных составов, которые показывают, что при одинаковой массовой доле соединений плотность и насыпная плотность составов значительно отличаются.

Потенциальная возможность повышения плотности пороха за счет использования компонентов с более высокой, чем у нитратов целлюлозы (НЦ) плотностью не всегда реализуется на практике, поскольку при расчетно – теоретических прогнозах не учитывается термодинамическое сродство соединений. Показано, что образованию более плотной структуры гранул даже при использовании низкоплотных компонентов будет способствовать применение пластификаторов НЦ, применение устаревших порохов в качестве сырья, а также специальные технологические приемы уплотнения гранул. В частности, рассмотрено влияние таких технологических факторов, как увеличенный ввод обезвоживателя после диспергирования, использование вакуума в конце отгонки растворителя, вальцевание шаровых гранул для придания им дискообразной формы.

Отмечена целесообразность использования таких приемов особенно при получении плотных одноосновных сферических порохов, для которых характерна большая «хрупкость» лака и, следовательно, более медленное протекание диффузионных процессов. В обзоре затронуты вопросы, связанные с получением плотного центрального ядра, которое подвергается флегматизации для придания сферическим порохам прогрессивности горения, являющейся необходимым условием достижения максимальных скоростей полета пули.

### **Введение**

Идея создания ультравысоких плотностей заряжения метательных зарядов зародилась еще в годы первой мировой войны (1914-1918 гг.) и уже в то время была связана, прежде всего, с необходимостью повышения эффективности стрельбы, то есть с обеспечением высоких скоростей снарядов при стрельбе из артиллерийских систем. В 1930-х годах Л.С. Рябовым в работе [1] отмечены основные тенденции, связанные с использованием ультравысоких начальных скоростей:

- увеличение дальности полета снаряда;
- сокращение времени полета снаряда (пули) до цели при стрельбе по быстро движущимся объектам, что повышает меткость и вероятность поражения цели;
- увеличение бронебойности снаряда (пули) при стрельбе по броне.

С этого времени стали накапливаться теоретические и экспериментальные данные о возможностях управления начальными скоростями снарядов, которые в дальнейшем были использованы и при конструировании метательного заряда (МЗ) для стрелковых систем, в том числе на основе сферических порохов (СФП). Поиск единых закономерностей концентрировался в основном на двух направлениях: увеличение плотности заряжения и силы пороха.

В данной статье проведен анализ основных факторов, влияющих на плотность нитрат-целлюлозных гранул при водно-дисперсионном изготовлении, и способов управления ими.

### Экспериментальная часть

Определение насыпной плотности пороха проводилось на гравиметре объемом 100 см<sup>3</sup> по ОСТ 84-2336-87, а плотности – по ОСТ В 84-2504-97.

Образцы пороха определенного фракционного состава изготавливались просеиванием через ручные сита с сетками требуемого номера.

### Результаты и их обсуждение

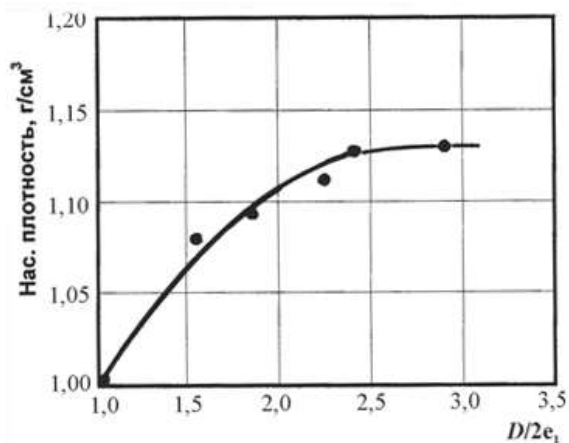
Максимальная (предельная) плотность заряжения достигается, когда МЗ занимает объем зарядной камеры сплошной массой без воздушных промежутков, то есть порозность  $\varepsilon = 0$ . Если учесть [2], что насыпная плотность пороха

$$\rho_n \approx 0.6 \rho_k, \quad (1)$$

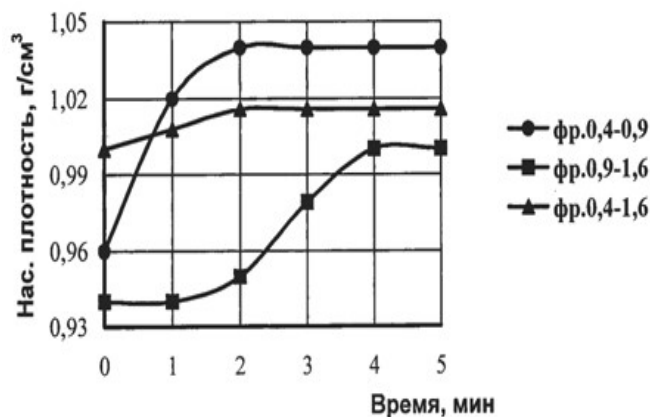
то из этого следует, что одним из основных путей повышения плотности заряжения ( $\varepsilon \rightarrow 0$ ) является увеличение кажущейся плотности пороха ( $\rho_k$ ), то есть приближение ее к теоретически возможной (истиной –  $\rho_n$ ), что следует из формулы (2) [3]:

$$\varepsilon = 1 - \rho_k / \rho_n \quad (2)$$

Второй путь повышения плотности заряжения – это обеспечение при максимальной плотности пороха одновременно и наибольшей насыпной плотности, что достигается оптимальным сочетанием формы и размеров гранул [2]. Так, на рис. 1 показано, как переход от шаровой формы к дискообразной увеличивает насыпную плотность заряда. Более плотная упаковка МЗ будет обеспечиваться при отношении  $D/2e_1 > 1.5$  (более 4.0 не желательно, элемент приобретает форму удлиненной пластины, что ухудшает сыпучесть).



**Рис. 1.** Экспериментальная зависимость насыпной плотности от формы порохового элемента (соотношения диаметра гранулы  $D$  к толщине горящего свода  $2e_1$ )



**Рис. 2.** Экспериментальная зависимость насыпной плотности СФП различного фракционного состава от времени вибрации гравиметра

Повышению насыпной плотности МЗ будет также способствовать переход от случайной упаковки монодисперсных частиц шаровой формы ( $\varepsilon = 0.36-0.40$ ) к би- и полимодальным дисперсным системам, а также принудительное уплотнение (вибрация или силовое прижатие) [2]. На рис. 2 показано изменение этого параметра в процессе вибрации СФП различного фракционного состава.

В целом, говоря об увеличении эффективности МЗ (в частности, в плане повышения начальной скорости метаемого тела), следует обратить внимание на то, что его энергоёмкость

(E) является интегральным показателем, максимальное значение которого достигается путем повышения силы (f) и насыпной плотности ( $\rho_n$ ) пороха, что следует из формулы (3) [4]:

$$E = f \rho_n. \quad (3)$$

При этом основным условием достижения максимально возможных (ультрадисперсных) скоростей полета пули при ограничениях по давлению остается прогрессивность горения пороха [1].

В свою очередь, сила пороха определяется как

$$f = R \cdot T / \mu, \quad (4)$$

где R – универсальная газовая постоянная; T – температура горения;

$\mu$  – средняя молекулярная масса продуктов сгорания.

Из уравнения (4) следует, что увеличение силы пороха возможно двумя путями: повышением температуры горения или снижением молекулярной массы продуктов сгорания. Для получения низкотемпературных (малоэрозионных) порохов целесообразно использовать компоненты, обеспечивающие увеличение силы за счет снижения  $\mu$ . К таким компонентам относятся соединения, содержащие в молекуле выгодные в термодинамическом отношении структурные группировки. Наиболее перспективными в этом плане считаются нитрамины, диазенооксиды, тетразолы, триазолы, производные фуроксанов и фуразанов. Однако производство многих из них в настоящее время отсутствует, поэтому перспектива их применения в ближайшее время мало реальна.

Таким образом, сила пороха определяется только его физико-химической природой, то есть рецептурным фактором, учитывающим элементное соотношение компонентов  $C_aH_bO_cN_d$  ( $C_aH_bO_cN_dNaI_eMe_f$ ), и температурой горения входящих в состав соединений. В отличие от этого показателя на насыпную плотность пороха, как отмечено выше (уравнение 1), кроме фракционного состава, формы, шероховатости поверхности гранул, утряски [5], влияет, главным образом, плотность самого пороха. Показатель плотности, о котором далее пойдет речь, определяется двумя факторами:

- компонентным составом (точнее, плотностью и соотношением компонентов);
- условиями формирования гранул, которые в ряде случаев могут оказаться доминирующими.

**Таблица.** Расчетные значения плотности бинарных составов

Компоненты	Плотность компонента, г/см <sup>3</sup>	Массовая доля компонента, %	Расчетная (истинная) плотность, г/см <sup>3</sup>	$\rho_{нас.} \approx 0.6 \cdot \rho_{ист.}$
Нитратцеллюлозы (НЦ)	1.675	100	1.68	1.0
НЦ	1.675	60	1.64	0.98
Нитроглицерин (НГЦ)	1.601	40		
НЦ	1.675	60	1.77	1.06
Октоген	1.950	40		
НЦ	1.675	40		
НГЦ	1.601	20	1.75	1.05
Октоген	1.950	40		
НЦ	1.675	90	1.73	1.04
Алюминий (Al)	2.7	10		
НЦ	1.675	90	1.78	1.07
Титан (Ti)	4.54	10		
НЦ	1.675	60		
Полициклический нитроамин CL-20	2.044	40	1.8	1.08

*Примечание:* Расчеты сделаны при условии: этилацетат – 0 %; вода – 0.2 % масс.; дифениламин (ДФА) – 0.5 % масс.

В связи с этим, далее кратко остановимся на возможностях получения плотных пороховых элементов сферического зёрнения по водно-дисперсионной технологии, при которой основной фазой, определяющей базовую плотность гранулы, является фаза формирования, состоящая из следующих основных операций: лакообразования, диспергирования, обезвоживания лаковых

О БАЗОВЫХ УСЛОВИЯХ ПОЛУЧЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОРОХОВ С ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТЬЮ... 48-55 частиц и экстракции растворителя из них [6, 7]. На каждой из этих операций происходит формирование структуры порохового элемента, хотя степень воздействия технологических приемов уплотнения различна. При этом важно соблюдать указанную последовательность операций. Если совмещать стадии формирования различным образом во времени и пространстве, то возможно образование пористых гранул, например, при вводе обезвоживающего агента перед стадией лакообразования.

В первую очередь рассмотрим влияние собственной плотности компонентов на плотность гранулы. Проведенные расчеты, представленные в таблице, показывают, что при одинаковой массовой доле соединений плотность и насыпная плотность составов значительно отличаются. В частности, при вводе 40% октогена плотность материала можно повысить на 7% по сравнению с аналогичным вводом нитроглицерина. Таким образом, используя компоненты с более высокой плотностью, чем у НЦ, появляется потенциальная возможность повысить плотность пороха.

Однако при таких расчетно-аналитических прогнозах не учитывается один из главных факторов – термодинамическое сродство компонентов с НЦ и влияние технологических параметров формирования. В зависимости от этого, как показывает практика, даже вводимый низкоплотный компонент может способствовать образованию более плотной структуры гранулы, чем высокоплотный компонент, что видно из рис. 3 и 4.

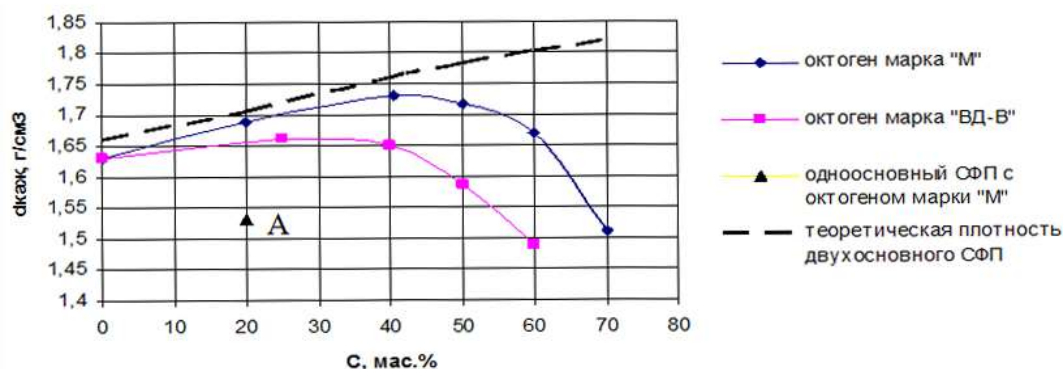


Рис. 3. Экспериментальная зависимость плотности двухосновного СФП (20 % масс. НГЦ) от содержания октогена (штрих-линия-расчетная плотность)

НГЦ, являясь пластификатором НЦ, уплотняет структуру материала [7]. Октоген, напротив, выполняя функцию дисперсного наполнителя и обладая слабой адгезией к полимерной матрице [8], снижает плотность материала при достижении критической величины объемного наполнения (порога перколяции) в результате увеличения объема пор, образующихся вокруг частиц наполнителя [9]: кривые имеют нелинейный характер с перегибом в области перколяции. Поэтому при создании плотных гранул следует учитывать, что в гетерофазных системах условия, определяющие максимально достижимую плотность материала, связаны с порогом перколяции, который нивелирует повышение плотности материала за счет собственной высокой плотности компонента. При этом аналогичный массовый ввод наполнителя различной дисперсности и формой частиц будет приводить к разным значениям плотности (рис. 3). Такое, казалось бы, незначительное изменение средних геометрических размеров частиц, влияет не только на конечные свойства продукта, но и на динамические характеристики системы при формировании гранул: с увеличением дисперсности повышается хрупкость лака, то есть снижается деформируемость массы, что требует корректировки режимов лакообразования и диспергирования. Эта особенность наполненных систем подчеркивает важность правильного выбора наполнителя по параметру дисперсности, чтобы, с одной стороны, обеспечить перерабатываемость порохового

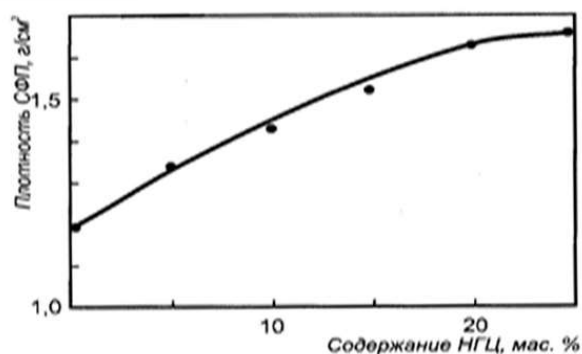


Рис. 4. Зависимость плотности СФП от содержания НГЦ (на стадии формирования сернистый натрий не вводился) [7]

лака, а с другой – баллистические характеристики пороха. Таким образом, для воспроизводимости экспериментальных плотностей необходимо соблюдать стабильность физико-химических свойств компонентов. В целом, за счет ввода высокоплотных энергетических соединений (в разумных пределах) можно решить две задачи: увеличение потенциала и плотности пороха, то есть в соответствии с уравнением (3) повысить энергоемкость системы.

Реализация задачи повышения плотности порохов в настоящее время осуществляется на базе известных соединений, производимых серийно на предприятиях химической промышленности. Исследования по синтезу новых классов органических соединений, хотя и приводят к созданию более эффективных веществ, чем штатные, но их применение часто ограничивается рядом объективных причин: отсутствием отечественной сырьевой базы и доступного метода промышленного или опытно-промышленного производства, низкой плотностью, высокой чувствительностью к внешним воздействиям, не технологичностью переработки и другие.

Металлические горючие, с одной стороны, повышают общую плотность материала (таблица), однако, превращаясь при горении в оксиды металлов, снижают объем газообразных продуктов сгорания, повышают количество шлаков и часто увеличивают пламенность выстрела в результате образования раскаленных металлических частиц.

В связи с обозначенными проблемами круг реально применяемых компонентов для создания высокоплотных порохов ограничен. Поэтому большую значимость приобретают способы управления плотностью за счет технологических параметров и использования сырья, альтернативного нитратцеллюлозным волокнистым формам, в частности, гранулированных возвратно-технологических отходов или устаревших мелкозерненных пироксилиновых и баллиститных порохов. В зависимости от применяемого вида сырья корректируются режимы пластификации НЦ, поскольку взаимодействие растворителя с НЦ в начальный период происходит через границу раздела жидкой и твердой фаз и определяется условиями контактного смачивания. В основном, тип сырья влияет на длительность операции приготовления порохового лака в результате замедления процессов диффузии растворителя вглубь твердых частиц. Однако при использовании вторичного сырья отмечается еще один эффект – это образование более плотных гранул, что связано не столько с изменениями сорбционной емкости материала, сколько с различиями капиллярно-пористой структуры, определяющей количество сорбированного воздуха и воды волокнами нитратов целлюлозы.

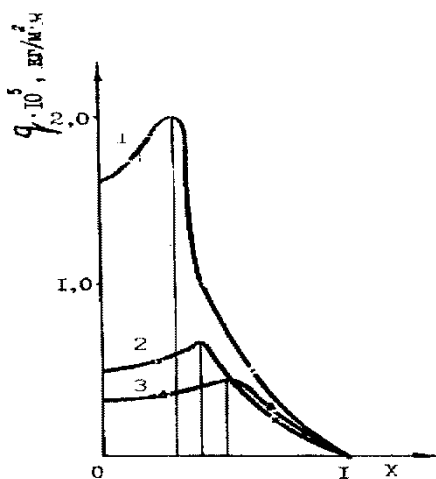


Рис. 5. Удельные массовые потоки ЭА через поверхность испарения в реакторе объемом: 1 – 0.15 м<sup>3</sup>; 2 – 1.57 м<sup>3</sup>; 3 – 5.1 м<sup>3</sup> [6] (Поверхность испарения – это площадь поперечного сечения аппарата, м<sup>2</sup>)

Так, при суспендировании НЦ в водной среде перед вводом растворителя удельное содержание воздуха в волокнистой массе составляет 0.79 см<sup>3</sup>/г, что соответствует примерно 54%-й пористости. При вводе растворителя волокна НЦ образуют однородную вязкую массу, содержание воздуха в которой снижается до 0.043 см<sup>3</sup>/г, что в последующем дает пористость равную 5.5%. Аналогичная картина наблюдается и для водной фазы, присутствующей в лаке в виде мельчайших капель, концентрация которых значительно меньше в случае использования плотных форм нитратцеллюлозного сырья. Считается, что именно концентрация воды является основным параметром регулирования плотности гранул, и от эффективности ее удаления будет зависеть структура материала [7].

Удаление воды из лаковых частиц осуществляется на стадии обезвоживания при действии солей (серноокислого натрия), повышающих межфазное поверхностное натяжение, при экстракции растворителя в процессе усадки лаковой частицы и далее при сушке гранул.

Практика водно-дисперсионного изготовления гранул показала, что наиболее технологически эффективным и экономически доступным является серноокислый натрий, который на протяжении уже десятков лет используется в качестве

*О БАЗОВЫХ УСЛОВИЯХ ПОЛУЧЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОРОХОВ С ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТЬЮ...* 48-55 обезвоживающего агента. Концентрация соли и кратность ее дозировки зависит от рецептурного состава, размеров гранул и требуемой плотности продукта [6].

Из известных технологических факторов управления плотностью гранул СФП [6, 7] особо следует отметить режимы удаления растворителя. Оптимальная программа экстракции этилацетата определяется компонентным составом, конструкцией аппарата и требованиями к параметрам качества СФП. Наличие НГЦ (или других структурных пластификаторов) способствует, например, более быстрой и полной отгонке растворителя.

Кроме того, важно учитывать величины удельных массовых потоков растворителя, которые при равном температурном напоре ( $\Delta t$ ) тем выше, чем меньше габариты реактора (при условии соблюдения аналогичного соотношения диаметра к высоте реактора) (рис. 5).

Максимальная интенсивность экстракции наблюдается при  $\Delta t = 15$  °С. В этой точке наблюдается наибольшее сопротивление переносу ЭА из лаковой фазы в водную, при котором еще обеспечивается требуемое качество пороха по форме и внутренней структуре зерна. Меняя соотношение диаметра аппарата ( $d$ ) к высоте ( $h$ ), можно при одном и том же объеме реакционной массы изменять поверхность испарения и, тем самым, удельные массовые потоки растворителя при аналогичных режимах отгонки, что может приводить к получению различной структуры материала, к возникновению условий выброса массы из реактора (то есть к получению пористых гранул) [10, 11]. В производстве СФП соотношение  $h/d$  аппарата обычно составляет 1.3-1.8.

Кратко остановимся также на вакуумном способе экстракции растворителя, который достаточно длительное время применялся при изготовлении двухосновных СФП. Вакуум подключался в конце второго периода отгонки ЭА. Этот прием за меньший период времени позволял практически полностью удалять растворитель с получением плотной структуры гранул без видимых пустот. Переход на безвакуумный метод связан с меньшими потерями растворителя и исключением специальной вакуумной аппаратуры. Однако применение вакуума может оказаться целесообразным при изготовлении плотных одноосновных СФП, особенно наполненных, для которых в результате более раннего фазового распада системы по сравнению с двухосновными аналогами затрудняется диффузия удаляемых компонентов из гранулы, что может приводить к повышенной пористости продукта.

Удаление остаточного растворителя продолжается на стадиях промывки и сушки. Существует мнение, что сушка пороха при температуре до 85 °С не изменяет структуры гранулы. Однако в работе [7] показано, что это утверждение может касаться только ограниченного количества рецептур. В большинстве случаев результат усадки материала зависит от температуры стеклования состава. Было установлено, что при увеличении температуры сушки двухосновного СФП от 60 до 100 °С его плотность увеличивается от 1.38 до 1.52 г/см<sup>3</sup>.

Весьма обнадеживающим способом является получение плотных гранул, особенно крупнодисперсных с диаметром до 3 мм, методом пластической деформации в гидродинамическом поле аппарата с мешалкой из мелкозернистых пироксилиновых порохов [12]. При этом дозировкой ЭА можно эффективно управлять соотношением диаметр/толщина горящего свода, то есть прогрессивностью горения порохового элемента. Единственным недостатком могут оказаться невысокие энергетические характеристики СФП из-за наличия в составе пироксилиновых порохов низко- и среднеазотных пироксилинов и коллоксилинов. Однако такую пластическую деформацию гранул можно совместить с пропиткой их энергетическим пластификатором при использовании в качестве доноров нитроглицерина или динитратдиэтиленгликоля баллиститных порохов [13].

Кроме рассмотренных рецептурных факторов и известных технологических приемов уплотнения гранул при водно-дисперсионном формировании есть и нетрадиционный для отечественной технологии путь, приводящий к получению элементов повышенной плотности – это вальцевание пороховых гранул шаровидной формы, основанный на деформации их объема между валками цилиндрической формы (американский вариант технологии) [14]. Одновременно с уплотнением массы гранулы (в результате выдавливания избыточного растворителя, влаги и удалением пузырьков воздуха) происходит калибровка элементов по показателю толщины горящего свода, а, следовательно, и насыпной плотности. Таким образом, на этой операции независимо друг от друга корректируются два показателя:

плотность и насыпная плотность. Для снижения растрескивания целесообразна двукратная калибровка, особенно для крупнодисперсной сферы, когда одного сжатия недостаточно для создания требуемой толщины горящего свода. Поскольку деформация гранул при одном прокате не должна превышать  $\approx 30\%$  от начального размера гранул, то плотность элемента увеличивается в пределах указанных значений.

Такое уплотнение методом вальцевания может оказаться полезным при изготовлении одноосновных (без труднолетучего пластификатора) гранул, для которых получение элементов повышенной плотности связано с определенными трудностями и вызывает необходимость повышенного ввода обезвоживающего агента и корректировки режимов экстракции растворителя в сторону удлинения процесса с одновременным повышением конечной температуры отгонки до 96-98 °С.

Проведенный анализ работ показал, что особенность задачи создания высокоплотных порохов состоит в ее многокритериальности, что усложняет сопоставление параметров и выбор оптимального варианта. Тем не менее, логико-информационный метод является достаточно эффективным инструментом для прогнозирования условий получения порохов с повышенной плотностью гранул. Из него следует, что не только рецептурная, но и технологическая составляющая процесса представляет очень важный и обширный комплекс задач, связанных с переработкой нитратцеллюлозного материала. В ряде случаев за счет технологических решений можно снизить негативное влияние компонентов (в частности, снижение плотности по ряду объективных причин).

В проведенном обзоре затронуты только вопросы, связанные с получением плотного центрального ядра, которое подвергается флегматизации для придания сферическим порохам прогрессивности горения, являющейся, как отмечалось выше (уравнение 3), необходимым условием достижения максимальных скоростей полета пули.

## Выводы

Рассмотрены основные рецептурные и технологические факторы, влияющие на плотность нитратцеллюлозных гранул, получаемых по водно-дисперсионной технологии: ввод обезвоживателя после диспергирования, использование вакуума в конце отгонки растворителя, вальцевание шаровых гранул для придания им дискообразной формы и другие технологические способы нивелирования негативных рецептурных воздействий снижения плотности.

## Литература

- [1] Рябов Л.С. О прогрессивных порохам с точки зрения практической ценности. М.: Арт. управление. 1939. 57с.
- [2] Фенелонов В.Б. Введение в физическую химию формирования супромолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новосибирск: Сибир. отделение РАН. 2002. 413с.
- [3] Лукьянов П.И. Аппараты с движущимся зернистым слоем. М.: Машиностроение. 1974. 184с.
- [4] Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. М.: Оборонгиз. 1962. 703с.
- [5] Михайлов Ю.М., Ляпин Н.М., Енейкина Т.А., Латфуллин Н.С. Факторы управления вместимостью метательных зарядов из сферического пороха. Мат-лы IV Всерос. Конф. «Энергетические конденсированные системы». Черноголовка. М.: Янус-К. 2008. С.126-127.
- [6] Михайлов Ю.М., Староверов А.А., Енейкина Т.А. [и др.]. Гидро-, тепло, массообменные процессы водно-дисперсионной технологии сферических порохов. Казань: ООО «Мастер-Граф». 2014. 175с.
- [7] Сферические пороха. Под ред. Ю.М. Михайлова. Черноголовка: ИПХФ РАН. 2003. 204с.
- [8] Альмашев Р.О., Енейкина Т.А., Селиванова Л., Романько Н.А., Кипрова А.В., Таразова Э.Н., Гатина Р.Ф. и Михайлов Ю.М. Особенности молекулярных взаимодействий в бинарной системе нитрат целлюлозы – наполнитель. *Бутлеровские сообщения*. 2013. Т.34. №3. С.130-137. ROI: jbc-01/13-34-3-130; [R.O. Almashev, T.A. Eneykina, L. Selivanov, N.A. Romanko, A.V. Kiprova, E.N. Tarazova, R.F. Gatina, and Yu.M. Mikhailov. Features of molecular interactions in the binary system of cellulose nitrate-filler. *Butlerov Communications*. 2013. Vol.33. No.3. P.130-137. ROI: jbc-02/13-34-3-130]
- [9] Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. М.: Химия. 1991. 260с.

- [10] Азимов Ю.И., Золотоносов Я.Д., Маминов О.В. Моделирование технологических процессов в полимерных гетерогенных системах. *Химия и химическая технология*. 1999. Т.42. Вып.3. С.13-19.
- [11] Азимов Ю.И., Золотоносов Я.Д., Мануйко Г.В. Анализ кинетики массообменных процессов в гетерогенной системе с полидисперсными частицами. *Реология, процессы и аппараты химической технологии: Межвуз. сб. научных трудов (Волгоград)*. 1989. С.90-95.
- [12] Латфуллин Н.С., Енейкина Т.А., Хамитова Д.В., Алексеев Ю.В. Фабрикация крупных дисковых порохов пластической деформацией в гидродинамическом поле аппаратов с мешалками. Сб. тезисов докл. межвуз. н-т конф. «Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология». Казань: КФМ-ВАУ. 2002.
- [13] Латфуллин Н.С., Енейкина Т.А., Ляпин Н.М., Хамитова Д.В. Баллиститные пороха состава НБ как доноры нитроглицерина при получении двухосновных порохов. *Материалы Всерос. НТК «Современные проблемы технической химии». Ч.2. Казань: КГТУ. 2002. С.132-135.*
- [14] Хайруллина Г.М., Енейкина Т.А., Ляпин Н.М., Гатина Р.Ф. Проблемы получения тонкосводных дискообразных порохов вальцеванием сферических порохов. *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. №8. С.409.

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-01/17-50-6-48

The Digital Object Identifier – <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/17-50-6-48>

## **Bout framework conditions of spherical powder with increased density granules obtaining by waterborne technology**

© **Tatiana A. Eneykina**,\* **Natalia N. Ermilova**,<sup>+</sup> **Lyubov A. Chistyakova**,  
**Rosa F. Gatina**, and **Yury M. Mihailov**

*Federal Government Enterprise «State Science-Research Institut of Chemical Products». Svetlaya St., 1. Kazan, 420033. Republic of Tatarstan. Russia. Phone: +7 (843) 555-67-84. E-mail: gniihp@bancorp.ru*

\*Supervising author; <sup>+</sup>Corresponding author

**Keywords:** spherical powder, density, tap-density, energy intensity, propellant charge efficiency.

### **Abstract**

The propellant charge efficiency is determined by its energy intensity, the maximum value of which is determined by the force and powder tap-density. The density index is one of the main factors which influence on the tap-density.

Brief analysis of main factors which influencing on the waterborne manufacturing powder granules density (physic-chemical characteristics of components and manufacturing specifications) and ways of leveling the negative prescription effects of the density reducing are carrying out. The calculated values of binary cellulose nitrate compounds density are presented. It shows that density and tap-density of compounds are significantly different at the same compounds mass fraction.

The potential opportunity of increasing the powder density by using components with higher density (in comparing with cellulose nitrate (CN)) isn't always realized in practice because thermodynamic affinity of compounds is not taking into account at computational and theoretical prediction. There is shown that using CN plasticizer, using obsolete powders as a raw material and special technological methods of granules compact will contribute to forming a more dense granules structure even with using low-density components. In particular, there is considered the influence of next technological factors: enlarged introduction of a dehydrator after dispersion, using of vacuum at the end of solvent distillation, rolling of sphere granules to give them disk-like form.

In the review the motivation for the use of such methods is noted. They are especially useful in production of dense single-base spherical powders which are characterized by large lacquer "fragility" and a slower diffusion process occurring as a result. There is considered the questions which are connected with obtaining the dense central core which is subject to desensitization for increasing combustion progressiveness of spherical powders. It is a necessary condition for achieving the maximum bullet flying speed.