**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Fong Liu, Marek W, Urban. // Progress in polymer science, №35, 2010, p. 3-23
- 2 M.Motornov, Yuri Roiter, Sergey Minko. // Progress in polymer science, N 35, 2010, p. 174-211.

- 3 Hyung -il Lee, Joanna Peetrosik, Sergeis S. Sheiko. // Progress in polymer science, №35, 2010, p. 24-44.

Cheltonov M.M.

Head of Group for advanced technologies of energy materials and products of Research-Development Institute of High-Energy Materials of State Enterprise Research-Industrial Complex "Pavlograd Chemical Plant", Pavlograd, Ukraine

Kyrychenko A.L.

Candidate of Engineering Science, Chief Technologist of State Enterprise Research-Industrial Complex "Pavlograd Chemical Plant", Pavlograd, Ukraine

RESEARCH OF PROPERTIES OF WAVEGUIDES OF NON-ELECTRIC INITIATION SYSTEMS WITH STABLE SHOCK WAVE CHARACTERISTICS

Челтонов Максим Михайлович

руководитель группы по перспективным технологиям энергетических материалов и изделий Научно-исследовательского института высокоэнергетических материалов «Государственного предприятия «научно-производственного объединения «Павлоградский химический завод», г. Павлоград, Украина

Кириченко Алексей Леонидович

кандидат технических наук, главный технолог «Государственного предприятия «научно-производственного объединения «Павлоградский химический завод», г. Павлоград, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОЛНОВОДОВ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИНИЦИИРОВАНИЯ СО СТАБИЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Summary. Currently, the organization of the production of non-electric initiation systems based on the domestic raw material base is relevant for Ukraine. The main component that is a component of non-electric initiation systems is the so-called active substance, consisting of a mixture of nitramine (octogen or hexogen) and aluminum. The solution of the deficiency of these nitramines is possible due to the use of resource-saving technologies for the disposal of solid propellants and ammunition unsuitable for further use for its intended purpose. However, when using these technologies, nitramine extracted from solid propellants and ammunition does not correspond to the quality presented to a marketable product for the production of non-electric initiation

systems. The purpose of this research is to establish the laws governing the preparation of an active substance suitable for use in the manufacture of waveguides of non-electric initiation systems.

Аннотация. В настоящее время актуальным для Украины является организация производства неэлектрических систем инициирования на основе отечественной сырьевой базы. Основным компонентом, который является составляющей неэлектрических систем инициирования, является так называемое активное вещество, состоящее из смеси нитрамина (октогена или гексогена) и алюминия. Решение дефицита указанных нитраминов, возможно за счёт применения ресурсозвратных технологий утилизации твёрдого ракетного топлива и боеприпасов, непригодных для дальнейшего применения по прямому назначению. Однако, при использовании указанных технологий, извлечённый из твёрдого ракетного топлива и боеприпасов нитрамин не соответствует качеству, предъявляемому к товарному продукту для производства неэлектрических систем инициирования. Целью настоящих исследований является установление закономерностей получения активного вещества, пригодного для использования при изготовлении волноводов неэлектрических систем инициирования.

Keywords: solid propellants, octogen, non-electric initiation systems, dimethyl sulfoxide

Ключевые слова: твёрдое ракетное топливо, октоген, неэлектрические системы инициирования, диметилсульфоксид

Постановка проблемы. В настоящее время в условиях Украины при проведении взрывных работ, для создания разных схем взрывания зарядов промышленных взрывчатых веществ (ВВ), используют неэлектрические системы инициирования (НСИ). Эффективность применения НСИ обусловлена высокой безопасностью в обращении и возможностью создания схем взрывания различной сложности с практически неограниченным по временным интервалам замедлением.

Основным преимуществом НСИ является возможность управлять замедлением, как между взрывами отдельных зарядов, так и внутри самого заряда ВВ, что позволяет регулировать интенсивность нагружения горных пород. Эти свойства НСИ позволяют эффективно управлять качеством дробления пород и одновременно снижать негативное ударно-волновое и сейсмическое воздействие взрыва.

В собранном виде НСИ состоит из волновода, комплектующего капсюля-детонатора (КД), герметично соединенного с волноводом пластикового коннектора, в который установлен КД.

Одними из основных компонентов в составе НСИ, является нитрамин (октоген). В настоящий момент, как правило, используется импортный нитрамин как в составе капсюлей-детонаторов, так и в волноводах в составе активного вещества.

Анализ последних исследований и публикаций. Решение дефицита нитрамина возможно за счёт создания соответствующего производства по синтезу нитрамина, либо согласно литературным источникам [1-2] за счёт применения

ресурсозвратных технологий утилизации твёрдого ракетного топлива (ТРТ), боеприпасов с истёкшим сроком хранения. При этом использование сырья, полученного с применением ресурсозвратных технологий, позволяет снизить себестоимость этих изделий (КД, НСИ).

На ГП «НПО «ПХЗ» (г. Павлоград) были проведены работы по модификации нитрамина [2], извлечённого из ТРТ с истёкшим сроком хранения.

Выделение нерешённых ранее частей общей проблемы. Однако приготовленное НСИ из активного вещества на основе модифицированного нитрамина хотя и удовлетворяет требованиям нормативной документации на НСИ, но не обеспечивает стабильную скорость ударной волны 1900 ± 200 м/с и составляет 1729-1824 м/с.

Формулирование целей статьи настоящих исследований является установление закономерностей получения активного вещества, пригодного для использования при изготовлении волноводов неэлектрических систем инициирования.

Изложение основного материала. Для проведения исследований использовался нитрамин, полученный в результате конверсии полимерной крошки ТРТ с применением ДМСО [2]. Для определения характеристики термической стабильности исходного нитрамина и сравнения с аналогичной характеристикой нитрамина товарного качества применялся метод дифференциально-термического анализа (ДТА). Термограммы ДТА, полученные на дифференциально-термическом анализаторе L81 Lenseis исходного и товарного нитрамина приведены на рис. 1-2 соответственно.

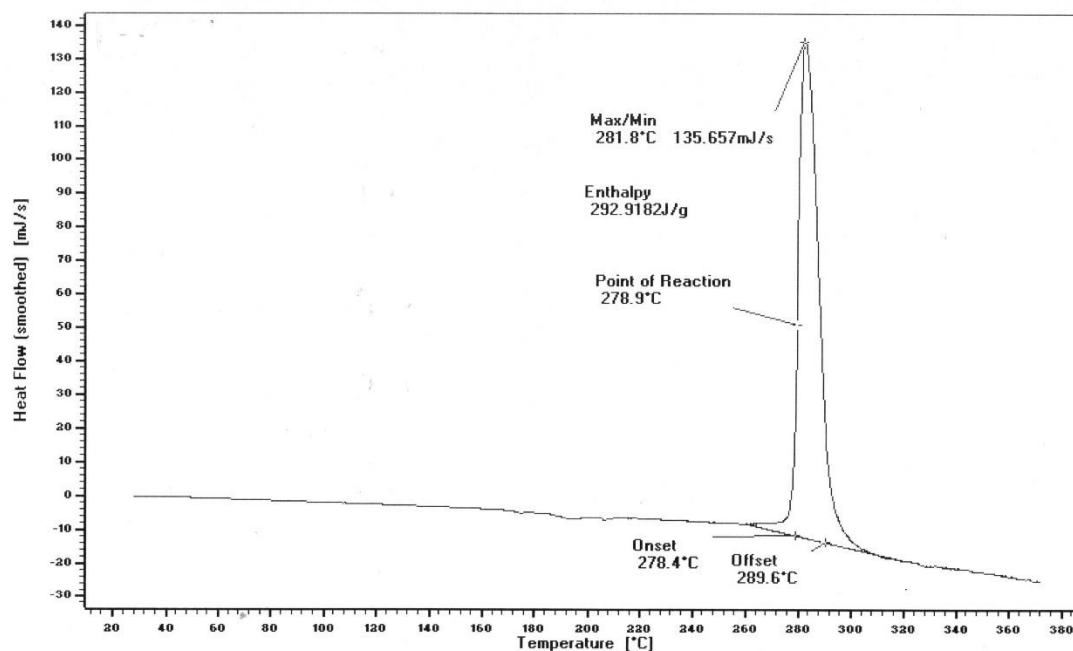


Рисунок 1. - Термограмма ДТА исходный нитрамина (скорость нагрева 10°C/мин)

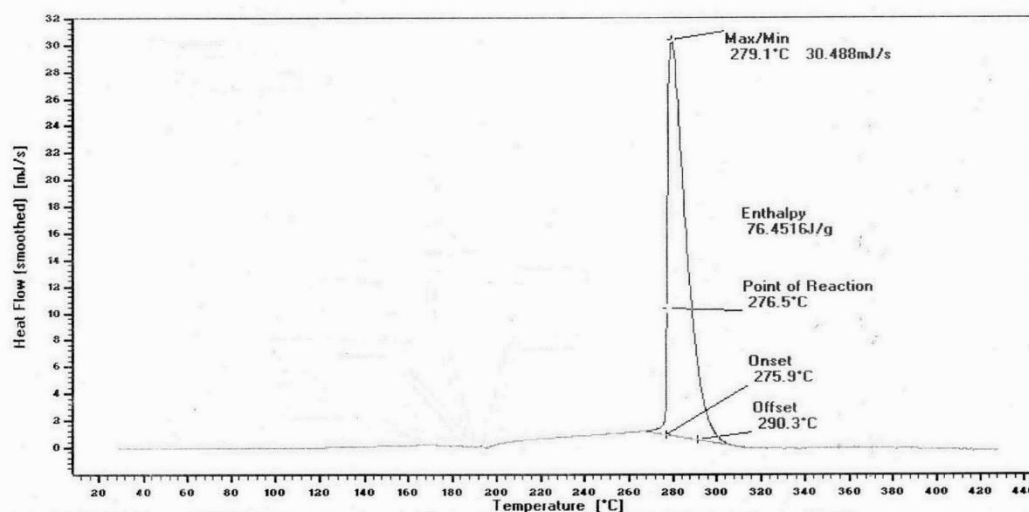


Рисунок 2. - Термограмма ДТА товарного нитрамина (скорость нагрева 10°C/мин)

Из данных приведенных на рис. 1-2 следует, что исходный нитрамин, извлеченный из полимерной крошки ТРТ (диапазон разложения 278,4-289,6 °С с максимумом при температуре 281,8 °С) имеет сходные теплофизические параметры с товарным нитрамином (диапазон разложения 275,9-290,3 °С с максимумом при температуре 279,1 °С).

Нитрамин после извлечения из ТРТ был предварительно модифицирован по следующей методике: приготовили раствор извлечённого нитрамина в диметилсульфоксиде (ДМСО) в

соотношении 1 : 5. После фильтрования в полученный раствор при перемешивании механической мешалкой добавили воду с температурой 5 °С (частота вращения механической мешалки при этом составляла 25 - 30 с⁻¹) после перемешивания в течение 10 мин выпавший нитрамин отфильтровался, сушился и взвешивался. Из полученного нитрамина и были изготовлено активное вещество для опытных партий волоноводов НСИ. Краткая характеристика исходного нитрамина для приготовления активного вещества представлена в табл. 1.

**КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНОГО НИТРАМИНА
ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА**

Наименование показателя	Величина
Плотность, г/см ³	1,88-1,91
Содержание влаги, % не более	0,05
Содержание частиц 25 мкм и менее, %	90- 98
Содержание частиц 50 мкм и более, %	1-2

Внешний вид исходных компонентов: нитрамина и алюминия применяемых для приготовления активного вещества представлен на рис. 3 и 4 соответственно.

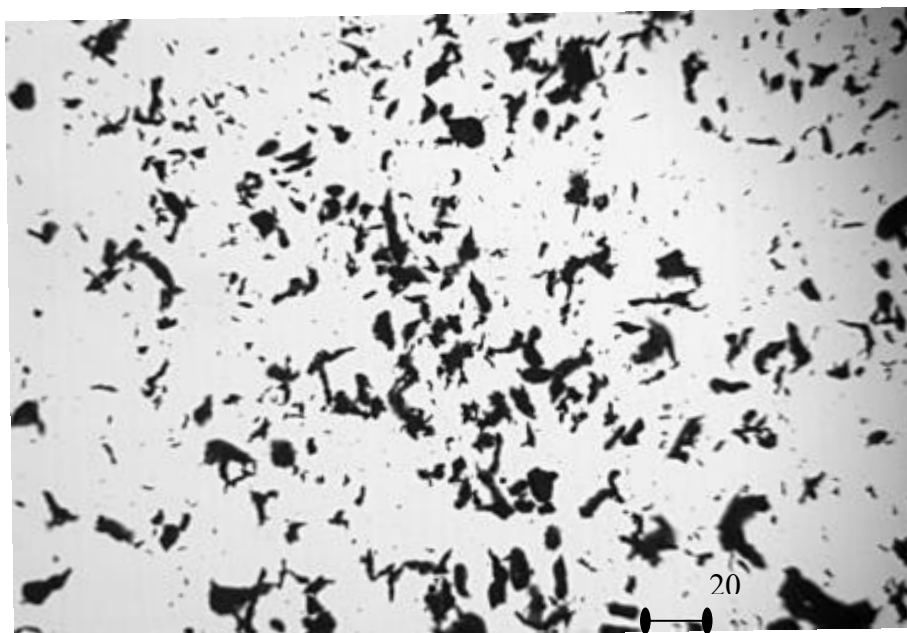


Рисунок 3. - Внешний вид исходного нитрамина, применяемого для приготовления активного вещества

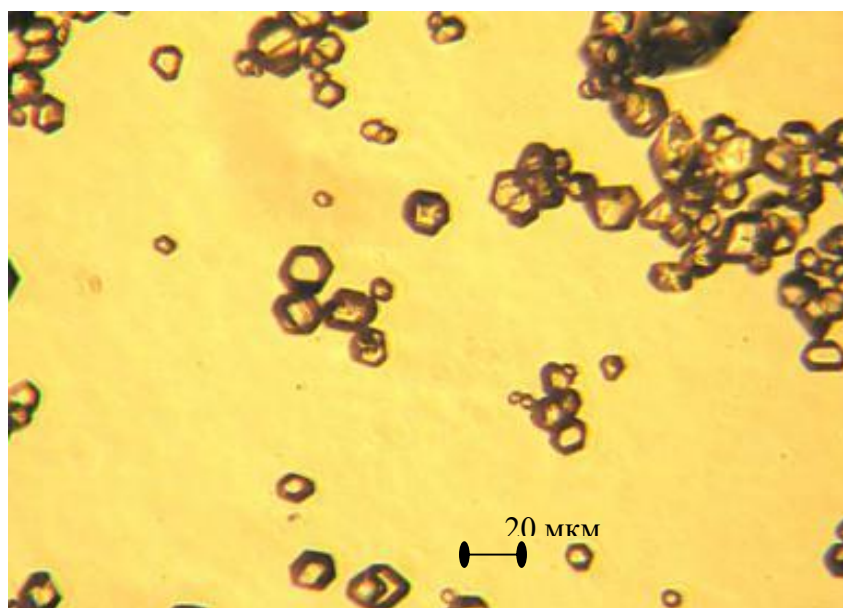


Рисунок 4. - Внешний вид исходного алюминиевого порошка, применяемого для приготовления активного вещества

Экспериментальная часть. Загрузили в смеситель гравитационного типа нитрамин модифицированный и алюминий в соотношении 92% : 8%. Приготовление активного вещества выполняли буковыми шарами с отбором проб полученного активного вещества через 2, 4, 6, 8, 10 часов соответственно. Проводили испытания отобранных проб по показателям:

- форма частиц (под микроскопом Leica DM1LM);

- фракционный состав (на установке SALD-301V).

Из отобранных проб активного вещества были изготовлены образцы волноводов СИИ с определением скорости ударной волны.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных работ, было получено активное вещество с различным фракционным составом.

На рис. 5 представлен внешний вид частиц активного вещества после 2 часов приготовления.

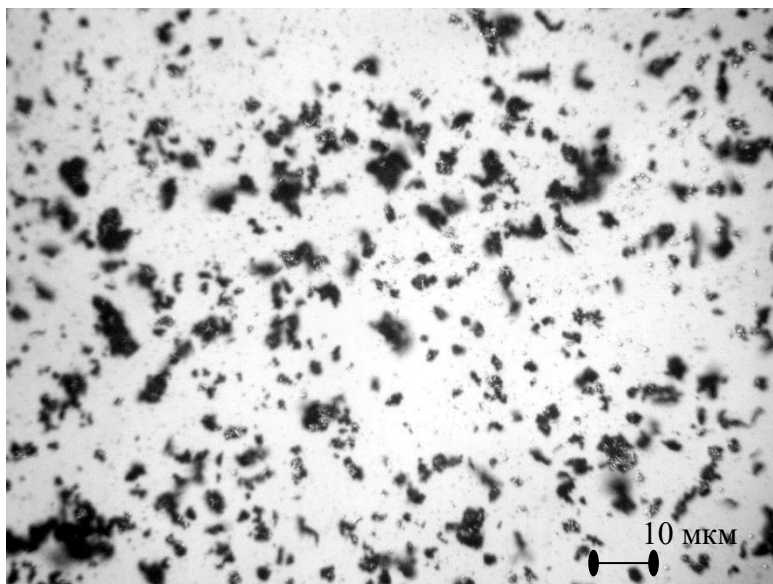


Рисунок 5. - Внешний вид частиц активного вещества после 2 часов приготовления

Как видно из рис. 3 исходный нитрамин имеет изометрическую орторомбическую β форму. Согласно рис. 5 уже через 2 часа приготовления активного вещества его частицы приобретают неправильную форму, в частности кристаллы

нитрамина, так как наряду с перемешиванием происходит измельчение частиц нитрамина и алюминиевого порошка. В таблице 2 представлено изменение гранулометрического состава активного вещества в ходе его приготовления.

Таблица 2

ИЗМЕНЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА В ХОДЕ ЕГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ

Гранулометрический состав, мкм	Массовая доля каждой фракции, %					
	до перевешивания	через 2 часа	через 4 часа	через 6 часов	через 8 часов	через 10 часов
-111,66+94,85	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-94,85+80,56	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-80,56+68,43	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-68,43+58,13	0,076	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-58,13+49,37	0,268	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002
-49,37+41,94	0,661	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002
-41,94+35,62	0,668	0,013	0,000	0,002	0,002	0,003
-35,62+30,26	0,414	0,021	0,003	0,002	0,002	0,004
-30,26+25,70	0,084	0,030	0,004	0,003	0,003	0,005
-25,70+21,83	0,000	0,039	0,006	0,004	0,004	0,007
-21,83+18,54	1,242	0,052	0,010	0,006	0,007	0,010
-18,54+15,75	6,462	0,070	0,015	0,009	0,011	0,015

Гранулометрический состав, мкм	Массовая доля каждой фракции, %					
	до перевешивания	через 2 часа	через 4 часа	через 6 часов	через 8 часов	через 10 часов
-15,75+13,38	18,813	0,093	0,021	0,014	0,021	0,019
-13,38+11,37	28,914	0,131	0,028	0,021	0,030	0,019
-11,37+9,65	27,442	0,174	0,035	0,023	0,035	0,017
-9,65+8,20	12,455	0,218	0,044	0,021	0,039	0,027
-8,20+6,96	2,418	0,223	0,056	0,022	0,055	0,058
-6,96+5,92	0,000	0,438	0,098	0,055	0,108	0,115
-5,92+5,03	0,000	0,834	0,172	0,114	0,191	0,200
-5,03+4,27	0,000	1,313	0,274	0,189	0,281	0,341
-4,27+3,63	0,000	1,629	0,441	0,255	0,402	0,546
-3,63+3,08	0,000	2,443	0,705	0,371	0,610	0,815
-3,08+2,62	0,000	4,134	1,088	0,577	0,933	1,083
-2,62+2,22	0,000	6,258	1,549	0,879	1,265	1,395
-2,22+1,89	0,000	7,268	2,155	1,195	1,609	1,787
-1,89+1,60	0,000	7,180	2,902	1,519	2,020	2,400
-1,60+1,36	0,000	7,142	3,799	1,920	2,716	2,578
-1,36+1,16	0,000	5,270	4,330	1,999	2,940	2,621
-1,16+0,98	0,000	3,169	4,968	2,150	3,118	2,885
-0,98+0,84	0,000	2,381	6,192	2,819	3,717	6,877
-0,84+0,71	0,000	7,718	10,385	7,413	8,364	13,852
-0,71+0,60	0,000	13,305	15,285	14,772	15,105	21,182
-0,60+0,51	0,000	15,791	18,616	22,094	21,111	21,277
-0,51+0,43	0,000	9,818	15,191	21,634	19,172	14,445
-0,43+0,37	0,000	2,836	8,916	14,514	12,093	5,416
-0,37+0,31	0,000	0,000	2,710	5,404	4,035	0,000
-0,31	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Как видно из результатов определения гранулометрического состава активного вещества в ходе его приготовления происходит его измельчение в ходе перемешивания. Через 2 часа измельчения за счёт истирания и соударения частицы активного вещества с основным фракционным составом от 21,83 мкм до 6,96 мкм (что составляет 97,75% от общей массы активного вещества) измельчаются до фракционного состава от 5,03 мкм до 0,37 мкм (что составляет 97,66% от общей массы активного вещества). При дальнейшем приготовлении активного вещества от 4 до 10 часов измельчение частиц проходит не так значительно, основные фракции частиц составляют 3,08 — 0,31 мкм и 3,08 — 0,37 мкм соответственно. Более наглядно это может быть представлено

изменением среднего размера частиц активного вещества в ходе его приготовления.

Средний размер частиц отобранных проб через 2, 4, 6, 8, 10 часов активного вещества рассчитывался по следующей формуле [3]:

$$d_{cp} = \sum_{i=1}^N m_i d_i \quad (1)$$

где m_i и d_i — весовые доли каждой фракции и средний размер кристаллов этой фракции соответственно.

На рис. 6 представлена зависимость среднего размера частиц отобранных проб активного вещества без измельчения и через 2, 4, 6, 8, 10 часов измельчения соответственно.

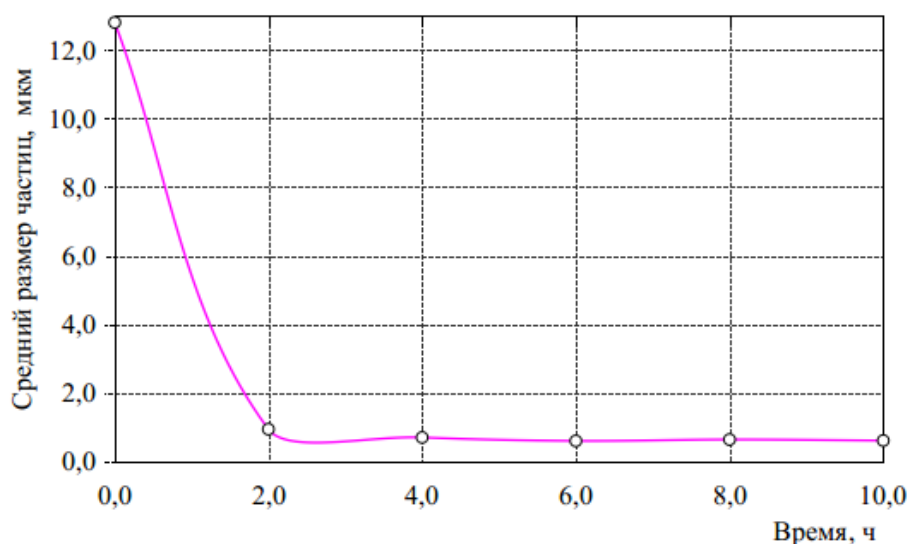


Рисунок 6. - Зависимость среднего размера частиц отобранных проб активного вещества без измельчения и через 2, 4, 6, 8, 10 часов измельчения

Из приведённых на рис. 6 данных следует, что в ходе приготовления активного вещества происходит дополнительным его измельчение до среднего размера частиц 1 - 0,6 мкм. Основная часть активного вещества измельчается в первые 2 часа его приготовления.

В последующее время приготовления активного вещества (4 - 10 ч) средний размер частиц практически не изменялся (0,7- 0,6 мкм).

Для анализа влияния дисперсности активного вещества на характеристики опытных партий волноводов НСИ выполнили оценку изменения скорости ударной волны волноводов НСИ от времени приготовления активного вещества. На рис. 7 представлена зависимость скорости ударной волны волноводов НСИ от времени измельчения активного вещества.

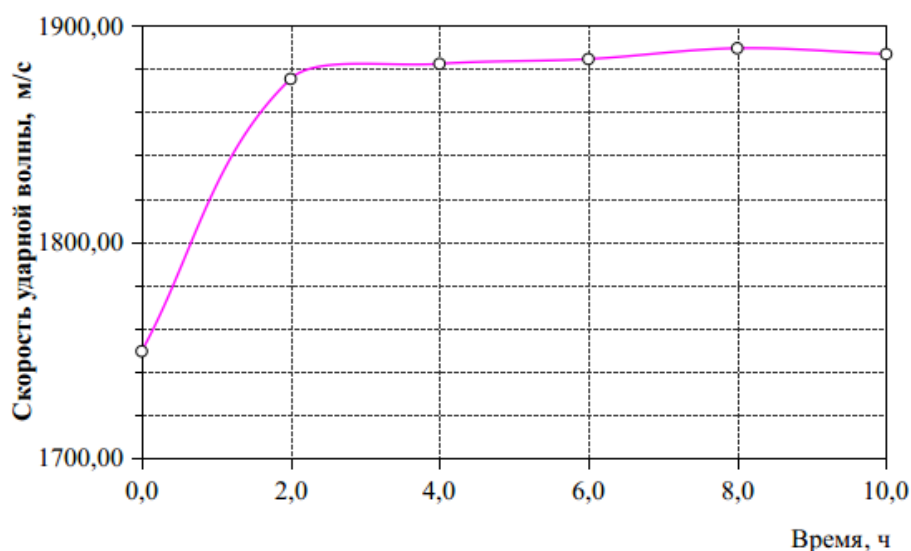


Рисунок 7. - Зависимость скорости ударной волны от времени измельчения активного вещества.

Полученные данные (рис. 7) свидетельствуют о том, что скорость ударной волны СИН, изготовленного из активного вещества после 2 часов измельчения увеличивается ~7,2 % и при дальнейшем измельчении 4 - 6 часов достигает 1882,3 — 1884,5 м/с. При последующем измельчении до 8 - 10 часов скорость ударной волны изменяется незначительно (~0,3%). Таким

образом оптимальным временем измельчения активного вещества для изготовления НСИ с устойчивыми результатами скорости ударной волны составляет 4 - 6 часов.

Выводы из данного исследования и перспективы. Получены закономерности приготовления активного вещества на основе нитрамина, извлечённого из ТРТ, используемого

при изготовлении волноводов неэлектрических систем инициирования, со стабильными характеристиками ударной волны.

Установлено, что наиболее приемлемым временем приготовления активного вещества для получения стабильных характеристик скорости ударной волны волноводов НСИ составляет 4 - 6 часов.

Получены исходные данные для разработки регламента технологического процесса производства волноводов неэлектрических систем инициирования для серийного производства.

Литература.

1. Забелин Л.В. Основы промышленной технологии утилизации крупногабаритных твёрдотопливных зарядов / Р.В. Гафиятулин, А.Н. Поник, В.Ю. Мелешко — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. - 226 с.

2. Безопасность процессов производства и применения эмульсионных взрывчатых веществ с компонентами утилизируемых вооружений. Монография. // Шиман Л.Н. Устименко Е.Б., Голинько В.И., Соболев В.В. – Днепропетровск: «Лира», 2013. – 526 с.

3. Матусевич Л.Н. Кристаллизация в присутствии затравочных кристаллов. - Журнал прикладной химии, 1961, т.34, №5 с. 986-993.