

$\approx 10^{10}$ В/м и уменьшается от контакта Cu – Cu₂O к поверхности оксидного слоя по мере увеличения толщины (d) оксидной пленки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Surovoi E.P., Borisova N.V. Regularities of Photo-stimulated Conversions in Nanometer Aluminum Layers // Journ. of Phys. Chemistry. 2009. Vol. 83. № 13. P. 2302-2307.
2. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. Термические превращения в наноразмерных слоях меди // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84. № 2. С. 307-313.
3. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. Физ. Химии. 2012. Т. 86. № 4. С. 702-709.
4. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы индий – оксид индия (III) // Неорганические материалы, 2012, Т. 48, № 7. С. 819-824.
5. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетика фотостимулированных превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 9. С. 1565-1571.
6. Суrowой Э.П., Заиконникова Т.М. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках хрома // Журн. физ. химии. 2014. Т. 88. № 1. С.
7. Суrowой Э.П., Сухорукова А.А., Бин С.В. Закономерности формирования наноразмерных систем кобальт-оксид кобальта // Неорганические материалы. 2014. Т. 50. № 4. С. 436-441.
8. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. Термостимулированные превращения в наноразмерных системах Bi – MoO₃ // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 5. С. 842-848.
9. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Фотостимулированное формирование наноразмерной системы индий-оксид индия (III) // Неорганические материалы, 2013, Т. 49, № 10. С. 1065-1070.
10. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. Кинетические закономерности процесса взаимодействия наноразмерных пленок висмута с аммиаком // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 6. С. 1020-1026.
11. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетика фотостимулированных превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 9. С. 1565-1571.
12. Суrowой Э.П., Титов И.В., Бугерко Л.Н. Исследование состояния поверхности азидов свинца, серебра и таллия в процессе фотолиза методом КРП // Материаловедение. 2005. № 7. С. 15-20.
13. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н. Термостимулированное газовыделение из систем азид серебра – металл // Химическая физика. 2002. Т. 21. № 7. С. 74-78.

УДК 662.413

ПОЛУЧЕНИЕ АЗИДОАЛКИЛДИНИТРАМИНОВ ИЗ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ МОЧЕВИНЫ

Шестакова Е.О., Ильясов С.Г., Ильясов Д.С.

Разработан метод получения линейных азидоалкилдинитраминов общего вида $N_3CH_2NNO_2-(CH_2)_n-NNO_2CH_2N_3$ ($n = 2, 3$) на основе циклических производных мочевины, из которых нитрованием серно-азотной смесью 50/50 получают N,N' -динитро- N,N' -алкиленмочевины и гидролизом в водной среде преобразуют их в линейные N,N' -алкилендинитрамины. Далее проводят реакцию хлорметилирования N,N' -алкилендинитраминов с триоксиметиленом и хлористым тиоилом в среде органического растворителя с последующим азидированием полученных дихлорпроизводных в среде вода – органический растворитель.

Ключевые слова: N,N' -этиленмочевина, N,N' -пропиленмочевина, N,N' -динитро- N,N' -алкиленмочевина, N,N' -алкилендинитрамин, хлорметилирование, азидоалкилдинитрамин.

ВВЕДЕНИЕ

Линейные азидоалкилдинитрамины общего вида $N_3CH_2NNO_2-(CH_2)_n-NNO_2CH_2N_3$ ($n = 2, 3$) являются перспективными компонентами для различных композиций энергосыщенных материалов. Азидная группа, имеющая высокую энтальпию образования, способствует повышению скорости горения и

разлагается с выделением низкомолекулярного азота, что снижает температуру пламени и повышает прозрачность газов. Азидоалкилдинитрамины хорошо совместимы с нитроцеллюлозой, полимерными связующими, что дает возможность изготавливать качественные составы без введения дополнительных пластификаторов [1-4].

На сегодняшний день в литературе описан метод синтеза 1,6-диазидо-2,5-динитро-2,5-диазагексана, включающий следующие стадии: 1) получение 1,6-дихлор-2,5-динитро-2,5-диазагексана хлорметилированием N,N'-этилендинитрамина параформом (триоксиметиленом) и хлористым водородом в среде уксусной кислоты (выход 80÷85 %, т. пл. 105÷108 °С); 2) азидирование 1,6-дихлорпроизводного избытком азидата натрия в среде вода-ацетон в инертной среде азота (выход 70÷75 %, т. пл. 76÷77 °С) [3, 4]. Данный метод имеет ряд существенных недостатков: сложности, возникающие при технологическом оформлении стадии хлорметилирования N,N'-этилендинитрамина хлористым водородом; создание инертной среды на стадии азидирования.

В ряде работ рассмотрен синтез непосредственно 1,6-дихлор-2,5-динитро-2,5-диазагексана: 1) расщеплением 1,6-ди-ацетокси-2,5-динитро-2,5-диазагексана хлористым водородом в среде диоксана (выход 83,5 %, т. пл. 104÷108 °С) [5]; 2) взаимодействием 1,4-дихлор-1,4-динитро-1,4-диазобутана с параформом и хлористым водородом в среде диоксана (выход 70 %, т. пл. 106÷108 °С) [6]; 3) обработкой 1,6-дигидрокси-2,5-динитро-2,5-диазагексана избытком хлористого тионила (выход 72 %, т. пл. 106÷108 °С) [7]; 4) хлорметилированием N,N'-этилендинитрамина параформом и хлористым тионилем в среде дихлорэтана (выход 73 %, т. пл. 103÷104 °С) [8].

Получение 1,6-дихлор-2,5-динитро-2,5-диазагексана хлорметилированием N,N'-этилендинитрамина [8] является наиболее технологически удобным, так как в других способах исходные соединения представляют собой его производные и их необходимо дополнительно синтезировать. Также данный метод позволяет устранить недостатки ранее описанного способа хлорметилирования [3, 4] за счет использования в качестве хлорирующего агента хлористого тионила вместо хлороводорода.

Информация о синтезе 1,7-диазидо-2,6-динитро-2,6-диазагептана и его прекурсора – 1,7-дихлор-2,6-динитро-2,6-диазагептана в литературе отсутствует.

В качестве источника линейных N,N'-алкилендинитрамина (N,N'-этилендинитрамин и N,N'-пропилендинитрамин) были рассмотрены циклические производные мочевины – N,N'-этилен- и N,N'-пропилен-мочевина, которые нитруют до соответствующих N,N'-динитро-N,N'-алкиленмочевин и проводят гидролиз кипячением в воде [9, 10].

N,N'-Динитро-N,N'-этиленмочевину получают нитрованием 2-нитрамино- Δ^2 -имидазолина, 1-нитро-2-нитрамино- Δ^2 -имидазолина, 1-нитро-2-амино-2-нитрамино-имидазолина и N,N'-этиленмочевины азотной кислотой в среде уксусного ангидрида с выходом 86,4 %, 64,6 %, 26,5 % и 50 % соответственно [11, 12]. Нитрование N,N'-этиленмочевины проводят также азотным ангидридом в среде инертного растворителя (выход 90 %), 98 %-ной азотной кислотой и серно-азотной смесью (74 % – серная кислота, 15,4 % – азотная кислота, 10,6 % – вода) [10].

N,N'-Динитро-N,N'-пропиленмочевину получают нитрованием N,N'-пропиленмочевины и 2-нитрамино- Δ^2 -диазациклогексена азотной кислотой в среде уксусного ангидрида с выходом 86,8 % и 79,7 % соответственно [11].

Таким образом, цель нашей работы заключается в разработке и отработке метода получения линейных азидоалкилдинитрамина – 1,6-диазидо-2,5-динитро-2,5-диазагексана и 1,7-диазидо-2,6-динитро-2,6-диазагептана на основе циклических производных мочевины, включая исследования по синтезу промежуточных соединений.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Точку плавления образцов измеряли на столике Кофлера (VEB Analytic Dresden PHMK 77/1162).

ИК-спектры образцов в таблетках с KBr записывали на Фурье-спектрометре ФТ-801.

Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C образцов записывали на спектрометре AM-400 фирмы «Bruker» с рабочей частотой 400,13 МГц для ядер ^1H и 100,61 МГц для ядер ^{13}C .

Исходные соединения N,N'-этиленмочевина и N,N'-пропиленмочевина – коммерческие реагенты («Aldrich»).

Нитрование N,N'-алкиленмочевин

К серно-азотной смеси состава 50/50 ($\rho=1,756 \text{ г/см}^3$) при минус 5÷0 °С дозируют исходную N,N'-алкиленмочевину.

А. Модуль нитрования 10. Нитрование проводят при 0÷5 °С, выдерживают 1 ч и выливают в ледяную воду, образовавшийся осадок отфильтровывают, промывают ледяной водой и сушат на воздухе.

Б. Модуль нитрования 3. Нитрование проводят при 10 °С, выдерживают 1 ч и выделяют продукт, как указано в методе А.

N,N'-Динитро-N,N'-этиленмочевина

Получали методом А. Выход продукта 92 %. Температура плавления 225÷227 °С.

ПОЛУЧЕНИЕ АЗИДОАЛКИЛДИНИТРАМИНОВ ИЗ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ МОЧЕВИНЫ

ИК, см⁻¹: 3034, 2929, 2854, 1795, 1688, 1582, 1562, 1478, 1315, 1281, 1244, 1217, 1140, 1100, 1004, 947, 862, 831, 756, 740, 716. Спектр ЯМР ¹H (DMSO-d₆), δ, м.д.: 4,06 (d; 4H; N(NO₂)CH₂CH₂N(NO₂)).

N,N'-Динитро-N,N'-пропиленмочевина

Получали методом Б. Выход продукта 40 %. Температура плавления 116,5÷117 °С. ИК, см⁻¹: 2972, 2838, 1752, 1574, 1472, 1437, 1376, 1260, 1220, 1154, 1104, 1036, 943, 919, 885, 810, 775, 714, 687, 661. Спектр ЯМР ¹H (DMSO-d₆), δ, м.д.: 4,04 (m; 4H; N(NO₂)CH₂CH₂N(NO₂)), 2,19 (m, 2H, CH₂).

Гидролиз N,N'-динитро-N,N'-алкиленмочевин

Гидролиз N,N'-динитро-N,N'-алкиленмочевин проводили описанным в литературе методом [9, 10]: кипячением в воде (соотношение компонентов 1:10) до прекращения газовой выделения, с последующим охлаждением, фильтрацией и сушкой готового продукта.

N,N'-этилендинитрамин [10]

Выход 95 %. Температура плавления 178÷179 °С. ИК, см⁻¹: 3236, 3101, 1593, 1449, 1405, 1351, 1308, 1246, 1118, 983, 789, 775, 689, 599. Спектр ЯМР ¹H (DMSO-d₆), δ, м.д.: 12,00 (s, 2H; (NO₂)NH), 3,52 (HN(NO₂)CH₂).

N,N'-пропилендинитрамин [9]

Выход 82 %. Температура плавления 66÷67 °С. ИК, см⁻¹: 3226, 3101, 2998, 2949, 1579, 1423, 1394, 1343, 1315, 1288, 1114, 1022, 909, 915, 881, 827, 774, 732, 675, 605. Спектр ЯМР ¹H (DMSO-d₆), δ, м.д.: 11,94 (s, 2H; (NO₂)NH), 3,39 (m, 4H, HN(NO₂)CH₂), 1,72 (m, 2H, CH₂).

Хлорметилирование N,N'-алкилендинитраминов

К 25 %-ному раствору N,N'-алкилендинитрамина в дихлорэтаноле при 20÷25 °С последовательно дозируют триоксиметилен, хлористый тионил (соотношение компонентов 1:1:2,7) и в качестве катализатора добавляют серную кислоту.

А. Реакционную массу выдерживают в течение 3 ч при 35÷40 °С, после чего охлаждают до 10 °С, отфильтровывают образовавшийся осадок, промывают охлажденным хлороформом и сушат на воздухе.

Б. Реакционную массу выдерживают в течение 3 ч при 25÷30 °С, отгоняют растворитель, в результате чего получают остаток в виде жидкости светло-желтого цвета.

1,6-Дихлор-2,5-динитро-2,5-диазагексан

Получали методом А. Выход продукта 54 %. Температура плавления 106÷108 °С. ИК, см⁻¹: 3072, 3017, 2813, 1550, 1453, 1423, 1343, 1264, 1160, 1102, 1038, 957, 915, 856, 811,

773, 756, 705, 672, 632, 598. Спектр ЯМР ¹H (DMSO-d₆), δ, м.д.: 5,82 (s; 4H; N₃CH₂N(NO₂)), 4,22 (s; 4H; N(NO₂)CH₂). Спектр ЯМР ¹³C (DMSO-d₆), δ, м.д.: 60,76 (C(CH₂N(NO₂))), 46,94 (N(NO₂)CH₂).

1,7-Дихлор-2,6-динитро-2,6-диазагептан

Получали методом Б. Показатель преломления – n²⁰ 1,5180. Выход продукта 56 %. ИК, см⁻¹: 3030, 2980, 2144, 2106, 1526, 1464, 1435, 1397, 1329, 1293, 1227, 1126, 1076, 996, 958, 893, 851, 765, 669, 643, 619, 563. Спектр ЯМР ¹H (DMSO-d₆), δ, м.д.: 5,80 (s; 4H; C(CH₂N(NO₂))), 3,95 (s; 4H; N(NO₂)CH₂), 2,02 (m; 2H; CH₂). Спектр ЯМР ¹³C (DMSO-d₆), δ, м.д.: 61,25 (C(CH₂N(NO₂))), 48,75 (N(NO₂)CH₂), 21,36 (CH₂).

Азидирование N,N'-дихлорметилдинитраминов

К 25 %-ному водному раствору азидата натрия при 10÷15 °С и охлаждении водяной баней дозируют 25 %-ный ацетоновый раствор N,N'-дихлорметилдинитрамина (мольное соотношение компонентов 3:1, соответственно) и выдерживают реакционную массу в течение 3 ч. Выделение проводят нижеописанными методами.

А. Реакционную массу охлаждают до 2÷5 °С, образовавшийся осадок отфильтровывают, промывают ледяной водой и сушат на воздухе.

Б. Реакционную массу экстрагируют хлористым метиленом, органический слой промывают водой, сушат сульфатом магния и концентрируют, в результате получают остаток в виде жидкости.

1,6-Диазидо-2,5-динитро-2,5-диазагексан

Получали методом А. Выход продукта 76 %. Температура плавления 74÷75 °С. ИК, см⁻¹: 3021, 2980, 2144, 2106, 1526, 1464, 1435, 1397, 1329, 1293, 1227, 1126, 1076, 996, 958, 893, 851, 765, 669, 643, 619, 563. Спектр ЯМР ¹H (DMSO-d₆), δ, м.д.: 5,22 (s; 4H; N₃CH₂N(NO₂)), 4,02 (s; 4H; N(NO₂)CH₂). Спектр ЯМР ¹³C (DMSO-d₆), δ, м.д.: 65,97 (N₃CH₂N(NO₂)), 49,15 (N(NO₂)CH₂).

1,7-Диазидо-2,6-динитро-2,6-диазагептан

Получали методом Б. Показатель преломления – n²⁰ 1,5241. Выход продукта 48 %. ИК, см⁻¹: 3021, 2980, 2144, 2106, 1530, 1460, 1435, 1390, 1285, 1227, 1126, 1028, 996, 962, 887, 851, 764, 669, 643, 633. Спектр ЯМР ¹H (DMSO-d₆), δ, м.д.: 5,89, 5,3 (s; 4H; N₃CH₂N(NO₂)), 3,99 (s; 4H; N(NO₂)CH₂), 2,01 (m, 2H, CH₂). Спектр ЯМР ¹³C (DMSO-d₆), δ,

м.д.: 65,67 ($N_3CH_2N(NO_2)$), 49,28 ($N(NO_2)CH_2$), 21,44 (CH_2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработан общий подход к методу получения линейных азидоалкилдинитраминов – 1,6-диазидо-2,5-динитро-2,5-диазагексану и 1,7-диазидо-2,6-динитро-2,6-диазагептану, который включает в себя следующие стадии (рисунок 1):

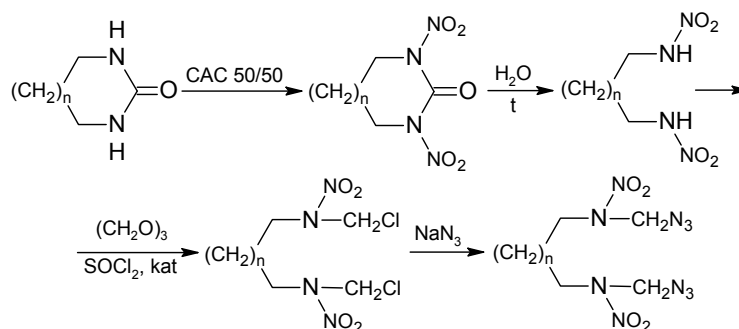


Рисунок 1 – Схема синтеза азидоалкилдинитраминов ($n = 2, 3$).

Получение 1,6-диазидо-2,5-динитро-2,5-диазагексана

Нитрование N,N' -этиленмочевины проводили серно-азотной смесью с модулем нитрования 10. Отличием от описанного в литературе метода является использование смеси состава 50/50, что позволяет получить N,N' -динитро- N,N' -этиленмочевину с количественным выходом – 92 %.

Продукт нитрования подвергали гидролизу посредством его кипячения в воде, в результате чего был получен линейный N,N' -этилендинитрамин с выходом 92÷95 %.

Ранее в работе [13] нами проводилось исследование реакции хлорметилирования N,N' -динитромочевины – ближайшего аналога N,N' -этилендинитрамина по количеству нитраминных групп, углероду и их структурному расположению [14], параформом (или триоксиметиленом) и хлористым тионилом в среде органического растворителя. В результате этих исследований наиболее удобным метилирующим агентом был выбран триоксиметилен за счет его хорошей растворимости в большинстве органических растворителей, что способствует гомогенизации процесса.

Таким образом, получение 1,6-дихлор-2,5-динитро-2,5-диазагексана проводили хлорметилированием N,N' -этилендинитрамина триоксиметиленом и хлористым тионилом в среде дихлорэтана в присутствии катализатора – серной кислоты (выход 76 %).

Помимо серной кислоты в качестве катализатора реакции хлорметилирования бы-

- 1) нитрование соответствующих N,N' -алкиленмочевин серно-азотной смесью;
- 2) гидролиз N,N' -динитро- N,N' -алкиленмочевин кипячением в воде;
- 3) хлорметилирование линейных N,N' -алкилендинитраминов триоксиметиленом и хлористым тионилом в среде органического растворителя;
- 4) азидирование N,N' -дихлорметилдинитраминов избытком азидата натрия в среде вода – ацетон.

ла рассмотрена уксусная кислота и ее смесь с серной кислотой (1:1), в результате чего в первом случае был выделен исходный продукт – N,N' -этилендинитрамин, а во втором – 1-гидроксиметил-2,6-динитро-2,6-диазапентан.

Азидирование 1,6-дихлор-2,5-динитро-2,5-диазагексана проводили в среде вода-ацетон азидом натрия (соотношение компонентов 1:3) при температуре 10÷15 °С в течение 3 ч. В результате получили 1,6-диазидо-2,5-динитро-2,5-диазагексан с выходом 76 % (т. пл. 74÷75 °С). Данный способ позволяет исключить второй недостаток в ранее описанном методе получения 1,6-диазидо-2,5-динитро-2,5-диазагексана [3, 4] – создание инертной среды азотом.

Получение 1,7-диазидо-2,6-динитро-2,6-диазагептана

Нитрование N,N' -пропиленмочевины проводили серно-азотной смесью состава 50/50. В результате исследований максимальный выход N,N' -динитро- N,N' -пропиленмочевины был получен при модуле нитрования 3, температуре реакции 10 °С, времени реакции 1 ч и составил 40 %. Низкий выход продукта нитрования связан с его хорошей растворимостью в воде, что, безусловно, сказывается на выборе модуля нитрования.

До настоящего времени нитрование N,N' -пропиленмочевины серно-азотной смесью в литературе описано не было. Достоин-

ПОЛУЧЕНИЕ АЗИДОАЛКИЛДИНИТРАМИНОВ ИЗ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ МОЧЕВИНЫ

ством предложенного метода нитрования является замена дорогостоящего уксусного ангидрида на более доступную серно-азотную смесь.

N,N'-Пропилендинитрамин получали гидролизом N,N'-динитро-N,N'-пропиленмочевины кипячением в воде с выходом 82 %.

Реакцию хлорметилирования N,N'-пропилендинитрамина проводили триоксиметиленом и хлористым тионилем (соотношение компонентов 1:1:2,7) среде дихлорэтана при температуре реакции 25±30 °С в течение 3 ч, в качестве катализатора использовали серную кислоту, в результате чего был получен 1,7-дихлор-2,6-динитро-2,6-диазагептан в виде жидкости желтого цвета с выходом 56 %.

Азидирование 1,7-дихлор-2,6-динитро-2,6-диазагептана проводили азидом натрия (соотношение компонентов 1:3) в среде вода – ацетон при температуре реакции 10±15 °С в течение 3 ч. После экстракции и отгона растворителя 1,7-диазида-2,6-динитро-2,6-диазагептан был выделен в виде жидкости светло-желтого цвета с выходом 48 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые получен и разработан метод синтеза 1,7-диазида-2,6-динитро-2,6-диазагептана, который представляет собой жидкость и открывает перспективу его использования в качестве пластификатора нитроцеллюлозы и других полимерных связующих. А также отработаны и улучшены условия получения 1,6-диазида-2,5-динитро-2,5-диазагексана и промежуточных соединений в его синтезе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Зиновьев, В.М. Высокоэнергетические пластификаторы смесевых ракетных твердых топлив и баллистических порохов нового поколения / В.М. Зиновьев, Г.В. Куценко // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. – 2009. – № 2. – С. 11–31.
2 Косточко А.В., Баранова Н.В., Бандорин В.Г., Кленько А.В. Некоторые мировые тенденции в области создания высокоэнергетических порохов и зарядов нового поколения // Современные проблемы специальной технической химии: материа-

лы докладов Международной научно-технической и методической конференции, г. Казань, 6-8 декабря 2006. – Казань: Изд-во казанского гос. техн. универ., 2006. – С. 43–49.

3 Пат. 3873579 США, МКИ C07C 117/00, 260/349, 149/88, 149/92. Organic azides and method of preparation thereof / R. Rosher. – № 851765; заявлено 20.08.1965; опубликовано 25.03.1975.

4 Пат. 3697341 США, МКИ C06b 15/02. Cool burning smokeless powder composition containing nitramine ethers / R. Rosher, R.L. Simmons. – № 855463; заявлено 29.08.1969; опубликовано 10.10.1972.

5 Majer, J. Synthesen auf dem gebiet der nitramine. III. N-chlormethylnitramine / J. Majer, J. Denkstein // Collection Czechoslov. Chem. Commun. – 1966. – Vol. 31. – P. 2547–2556; РЖХим., 1Ж146 (1967).

6 Ившин, В.П. К вопросу о синтезе N-(хлорметил)нитрамина / В.П. Ившин, А.А. Фридман // Журнал органической химии. – 1969. – Т. 5, вып. 9. – С. 1705.

7 Фридман А.Л., Коньшина Л.О., Петухов С.А. N-Галоген-N-нитрамина. V. Хлор метилирование первичных нитрамина и их производных // Журнал органической химии. – 1975. – Т. 11, вып. 6. – С. 1187–1190.

8 А. с. 407884 СССР, МКИ С 07С 87/22, 111/00. Способ получения хлорметилнитрамина / А.И. Спиридонов, И.А. Устюжанников (СССР). – № 1736171/23-4; заявлено 10.01.1972, опубликовано 10.12.1973.

9 McKay, A.F. The nitration products of some substituted 2-nitramino-1,3-diazacycloalkenes-2 / A.F. McKay, D.F. Manchester // Journal American Chemical Society. – 1949. – Vol. 71. – P. 1970–1973.

10 Орлова, Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ / Е.Ю. Орлова. – М.: ОБОРОНГИЗ, 1973. – 397 с.

11 McKay, A.F. The nitration products of 2-nitramino- Δ^2 -1,3-diazacycloalkenes / A.F. McKay, G.F. Wright // Journal American Chemical Society. – 1948. – Vol. 70. – P. 3990–3994.

12 Carignax, Y.P. Differential thermal analysis of nitramines, amine salts, and guanidine derivatives / Y.P. Carignax, D.R. Satriana // Journal of Organic Chemistry. – 1967. – Vol. 32. – P. 285–289.

13 Данилова, Е.О. Получение 1,3-диазида-2-нитро-2-азапропана из N,N'-динитромочевины / Е.О. Данилова, С.Г. Ильясов // Ползуновский вестник. – 2013. – № 3. – С. 19–22.

14 Ильясов, С.Г. Исследование процессов горения калиймедной соли этилендинитрамина и составов на ее основе / С.Г. Ильясов, Д.С. Ильясов, И.В. Казанцев, А.А. Аверин, М.В. Шатный // Ползуновский вестник. – 2013. – № 3. – С. 102–108.