



СИНТЕЗ ЗАМЕЩЕННЫХ 4-АРИЛОКСИФТАЛЕВЫХ КИСЛОТ НА ОСНОВЕ 4-НИТРО-N-МЕТИЛФТАЛИМИДА

В. В. Бухалин¹, В. Л. Баклагин¹, А. Д. Котов², И. Г. Абрамов¹

Владимир Владимирович Бухалин, студент; Вячеслав Леонидович Баклагин, аспирант; Александр Дмитриевич Котов, д-р хим. наук, профессор; Игорь Геннадьевич Абрамов, д-р хим. наук, профессор

¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия, abramovig@ystu.ru, baklaginvl@ystu.ru

²Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль, Россия, kotad@mail.ru

Ключевые слова:

4-нитро-N-метилфталимид, активированное ароматическое нуклеофильное замещение, замещенные арилоксифталевые кислоты, арилендиоксифталевые кислоты, арилокси-N-метилфталимиды

Аннотация. На основе реакции активированного ароматического нуклеофильного замещения, протекавшей между 4-нитро-N-метилфталимидом и фенолами, содержащими различные заместители, получены известные и не описанные в литературе 4-арилокси-N-метилфталимиды, в результате щелочного гидролиза которых были получены 4-арилоксифталевые кислоты.

Для цитирования:

Бухалин В.В., Баклагин В.Л., Котов А.Д., Абрамов И.Г. Синтез замещенных 4-арилоксифталевых кислот на основе 4-нитро-N-метилфталимиды // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 51-57. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2023-4-2>

Введение

Фталевый ангидрид **1** и фталимид **2** на его основе являются удобными исходными реагентами для получения 4-нитрофталонитрила (4-НФН) **3** и 4-хлор- / 4-нитро-N-метилфталимиды **4(a,b)** соответственно [1]. В результате взаимодействия указанных субстратов с различными моно- и бифункциональными O-нуклеофильными реагентами и последующей их функционализации образуются ценные для практического применения 4-(арилокси)фталевые **5(c-g)** и 4,4'-(арилендиокси)дифталевые **6** кислоты (в случае использования вместо резорцина других бисфенолов) (рис 1) и диангидриды на их основе [2].

Не секрет, что на основе 4-НФН **3** получено и описано в литературе значительно большее количество диариловых эфиров – замещённых фталонитрилов, использованных для получения фталоцианинов, полиэфиримидов и других материалов перспективных для применения в различных отраслях науки и техники [3-9]. Кроме того, особенно протекания указанной S_NAr реакции с различными S- и N-нуклеофилами, приводящих к получению целевых фталонитрилов с хорошими выходами достаточно подробно описаны в работах [10-13].

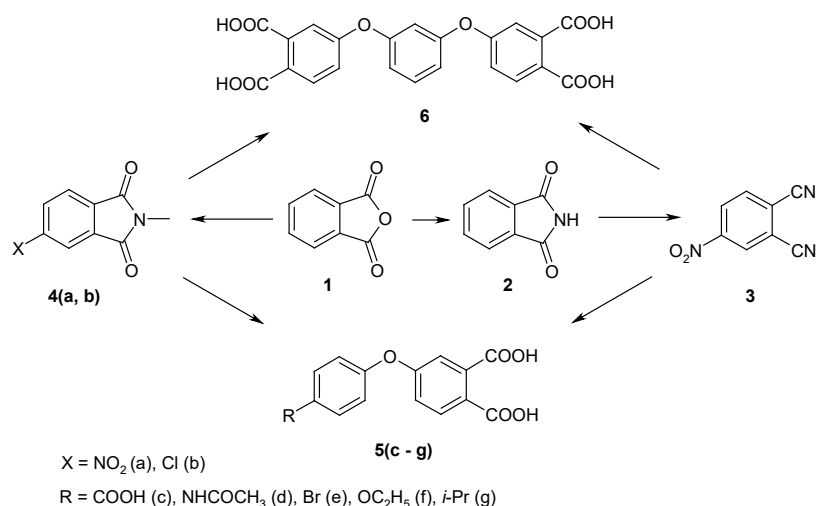


Рис. 1. Схема получения 4-(арилокси)фталевых 5(c-g) и 4,4'-(арилendiокси)дифталевых кислот 6

Реакции с участием 4-нитро-*N*-метилфталимида **4a** и 4-хлор-*N*-метилфталимида **4b** в литературе встречаются значительно реже [14, 15]. По мнению авторов этих работ, оба указанных субстрата являются хорошим сырьём для получения полупродуктов для диангирида Р при условии применения азеотропной отгонки образующейся в ходе реакции воды. В качестве доказательства в статьях приводятся высокие технологические показатели (хороший выход, высокая конверсия, возможность запустить побочные продукты реакции в рецикл на генерацию исходного фталимида и т.д.).

В настоящей работе обсуждается возможность альтернативного метода получения различных феноксифталевых кислот на основе реакции взаимодействия 4-нитро-*N*-метилфталимида **4a** и замещённых фенолов **6(c-h)** (рис. 2).

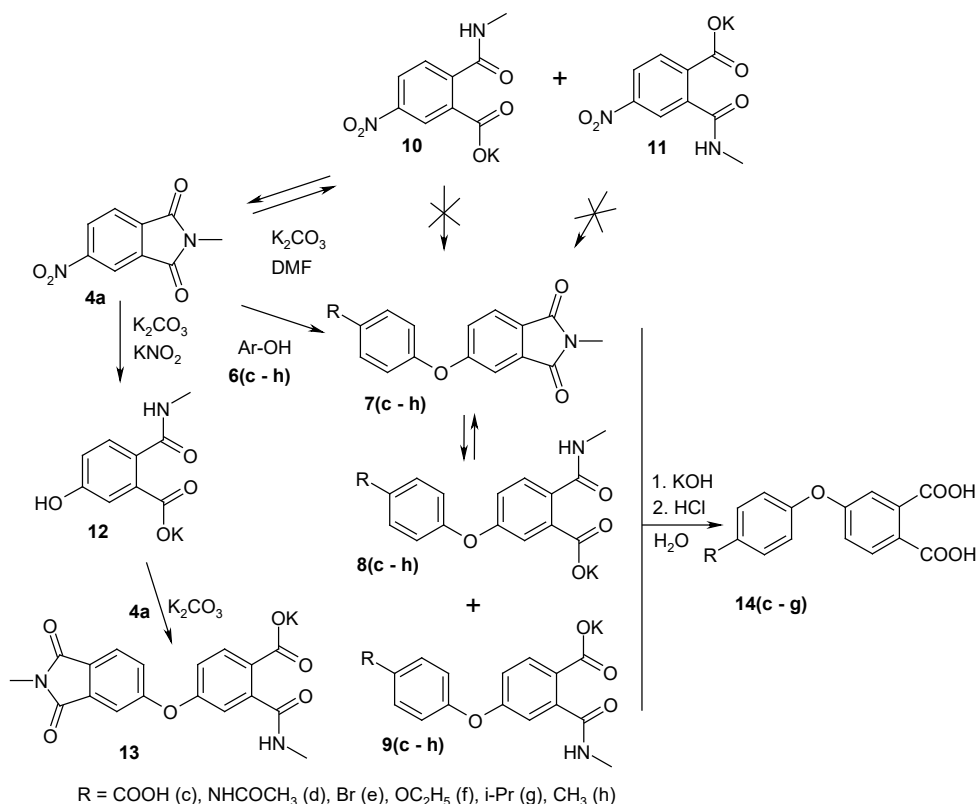


Рис. 2. Реакции с участием 4-нитро-*N*-метилфталимида **4a**



При проведении указанной гетерофазной реакции при 120-140 °С в среде ДМФА в присутствии K_2CO_3 без азеотропной отгонки воды, образующейся при депротонизации фенолов и гидролизе исходного **4a** и целевых фталимидов **7(c-h)** для всех использованных реагентов **6(c-h)** был зафиксирован очень низкий выход целевых продуктов **7(c-h)**. Ход реакции контролировали методом ТСХ (элюент: гептан/этилацетат = 2,5/1). При детальном анализе реакционной массы наряду с имидами **4a**, **7(c-h)** были идентифицированы различные амидокислоты **8(c-h)** и **9(c-h)**, а также ряд других побочных продуктов (см. рис. 2). Это согласуется с результатами работы [15], в которой было показано, что 4-нитро-*N*-метилфталимид **4a** в присутствии K_2CO_3 , ДМФА и *para*-крезола **6h** расходуется значительно быстрее используемого фенола **6h** и кроме целевого продукта замещения нитрогруппы **7h** из реакционной массы были выделены соответствующие изомерные 4-нитроамидокислоты **10**, **11**, образовавшиеся из не успевшего вступить в реакцию исходного 4-нитро-*N*-метилфталимида **4a**.

Данный факт можно объяснить одновременным влиянием на протекание реакции нескольких факторов: реакция проходит в гетерофазных условиях, низкая скорость и, как результат, только частичная депротонизация фенолов, наличие равновесия между фталимидом **4a** и соответствующими солями 4-нитроамидокислот **10** и **11** (см. рис. 2) [16]. Интересно то, что с увеличением времени проведения реакции до 7-9 ч возрастает выход продуктов реакции. Этот факт можно объяснить двумя причинами. Во-первых, 4-нитро-*N*-метилфталимид **4a** повторно образуется из 4-нитроамидокислот **10** и **11**, соли которых неактивны в S_NAr реакции замещения нитрогруппы. Во-вторых, образовавшийся при депротонизации фенолов **6(c-h)** и непосредственно при S_NAr реакции $KHCO_3$ при температуре 120-140 °С разлагается с образованием K_2CO_3 , который снова участвует в депротонизации фенола, приводящей к образованию *O*-нуклеофила [17-18] (рис. 3). Кроме того, среди продуктов побочных реакций могут находиться незначительные количества 4-гидроксиамидокислот **12** и дифенилоксидов **13**, образовавшиеся в результате реакции нитрит-иона с исходным субстратом **4a** [19].

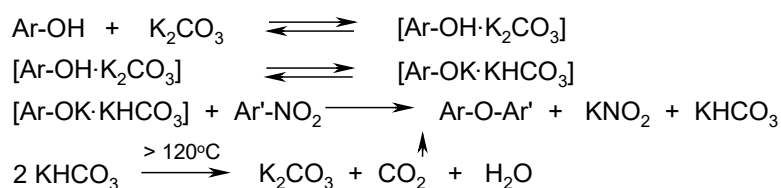


Рис. 3. Реакции с участием карбоната калия и гидрокарбоната калия [18]

Особенностью и преимуществом предлагаемого метода синтеза 4-арилоксифталевых кислот **14(c-g)** является возможность проведения гидролиза всех выделенных продуктов S_NAr реакции без дополнительной очистки. Все три образовавшиеся соединения – 4-арилоксифталимиды **7(c-g)**, и 4-арилоксиамидокислоты **8(c-g)**, **9(c-g)** – при кипячении в водном растворе КОН количественно гидролизуются до соответствующих дикалиевых солей 4-арилоксифталевых кислот, после подкисления которых HCl выделяется только одна целевая 4-арилоксифталевая кислота **14(c-g)**. Незначительные примеси соединений **4a**, **10-13** также гидролизуются до соответствующих фталевых кислот, но последние, обладая большей растворимостью, остаются в фильтрате.



Разработанный метод синтеза 4-арилоксифталевых кислот не подходит для получения 4,4'-(арилендиокси)тетрафталевых кислот (например, **6**) – полупродуктов в синтезе 4,4'-(арилендиокси)дифталевых ангидридов. Это объясняется большим количеством промежуточных продуктов монозамещения в бисфеноле, отделиться от которых на последующих стадиях гидролиза и получения мономеров практически невозможно. Поэтому наиболее эффективным способом получения различных 4,4'-(арилендиокси)дифталевых кислот является метод с использованием 4-нитрофталанитрила [6].

Экспериментальная часть

ИК-спектры записывали на ИК-Фурье спектрометре «PerkinElmerRX-1» с длиной волны 700–4000 см⁻¹ (KBr).

Спектры ¹H NMR регистрировали на приборе «Bruker DRX-500» для пятипроцентных растворов образцов в ДМСО-d₆ при 30 °С. В качестве эталона для отсчета химических сдвигов использовали сигналы остаточных протонов растворителя в протонных спектрах (δ_H 2.50 м.д.) или сигнал ДМСО-d₆ в углеродных спектрах (δ_C 39.5 м.д.).

Элементные анализы выполнены на С, Н, N-анализаторе «Hewlett-Packard HP-85B».

4-Нитро-*N*-метилфталимид **1**, фенолы **6(c-g)**, а также другие реагенты и растворители коммерчески доступные.

4-Арилокси-*N*-метилфталимиды 7 (c-g). Способ А (общая методика). В колбу, снабжённую мешалкой, обратным холодильником и термометром, загружали 0.01 моль 4-нитро-*N*-метилфталимида **4a**, 0.01 моль фенола **6(c-g)**, и 15 см³ ДМФА. После растворения реагентов при интенсивном перемешивании к реакционной смеси прибавляли (0.012 моль) K₂CO₃ (в случае получения **6c** – 0,022 моль). Реакцию проводили при температуре 120–140 °С в течение 7-9 ч. Ход реакции контролировали методом ТСХ. По окончании реакции содержимое колбы охлаждали до комнатной температуры и выливали в 100 см³ холодной воды. Выпавший осадок (**7c-g**) отфильтровывали, промывали водой (3×50 см³) и сушили при 70 °С. Выделенный продукт перекристаллизовывали из смеси изопропанол / ДМФА (1:1). Целевые продукты (**7c-g**) получали с выходом 14-29 % от теории.

Способ В (общая методика). Синтез проводили аналогично способу А. По окончании реакции содержимое колбы охлаждали до комнатной температуры и выливали в подкисленную HCl воду (pH1). Выпавший осадок отфильтровывали, промывали водой (3×50 см³) и сушили при 70 °С. Смесь продуктов (**7c-g**, **8c-g**, **9c-g**) получали с выходом 78-91% от теории, считая на имид, и без очистки направляли на стадию гидролиза.

4-(Арилокси)фталевые кислоты 14(c-g) (общая методика). В колбу, снабжённую мешалкой, обратным холодильником и термометром загружали 30 см³ воды, шестикратный мольный избыток КОН и при перемешивании присыпали **7(c-g)** или смесь (**7-9 c-g**). После 2-х часов кипячения реакционная масса гомогенизируется. Кипячение продолжают до тех пор, пока не перестанет выделяться метиламин. По окончании реакции содержимое колбы охлаждали до комнатной температуры, отфильтровывали, фильтрат подкисляли HCl до pH 1. Выпавший осадок (**14c-g**) отфильтровывали, промывали водой (3×50 см³) и сушили при 70 °С. Целевые продукты (**14c-g**) получали с выходом 62-70% от теории.



7с: Белый порошок. Выход 14%, $T_{пл} = 216,5-217,2$ °С. ИК (ν_{max} , KBr): 2672-2552 (вал. COOH), 1697-1682 (C=O), 1279 (C-O-C), 935 (деф. COOH). Найдено, %: С 64.68; Н 3.78; N 4.74. $C_{16}H_{11}NO_5$. Рассчитано, %: С 64.65; Н 3.73; N 4.71. ЯМР 1H (400 МГц, $DMCO-d_6$, δ , м.д.): 2.71 (с, 3H, N-CH₃), 7.12 (д, J = 8.2 Гц, 2H), 7.27 (д, J = 8.1 Гц, 1H), 7.52 (с, 1H), 7.99 (д, J = 8.7 Гц, 2H), 8.27 (д, J=7.5 Гц, 1H).

7d: Белый порошок. Выход 23%, $T_{пл} = 207,6-209,0$ °С. ИК (ν_{max} , KBr): 3371 (NH), 1699 (C=O), 1224 (C-O-C). Найдено, %: С 65.84; Н 4.57; N 9.06. $C_{17}H_{14}N_2O_4$. Рассчитано, %: С 65,80; Н 4.55; N 9.03. ЯМР 1H (400 МГц, $DMCO-d_6$, δ , м.д.): 2,09 (с, 3H, CH₃), 2,88 (с, 3H, N-CH₃) 7,22 (д, J = 8.1 Гц, 2H), 7,29 (д, J = 8.1 Гц, 1H), 7,50 (с, 1H), 7,92 (д, J = 8.7 Гц, 2H), 8,35 (д, J = 7.1 Гц, 1H), 10,29 (с, 1H, NH).

7e: Белый порошок. Выход 25%, $T_{пл} = 133,5-134,3$ °С. ИК (ν_{max} , KBr): 1704 (C=O), 1235 (C-O-C), 1067 (C-Br). Найдено, %: С 54.26; Н 3.05; N 4.21. $C_{15}H_{10}BrNO_3$. Рассчитано, %: С 54.24; Н 3.03; N 4.22. ЯМР 1H (400 МГц, $DMCO-d_6$, δ , м.д.): 2.88 (с, 3H, N-CH₃), 7.10 (д, J = 8.2 Гц, 2H), 7.27 (д, J = 8.15 Гц, 1H), 7.54 (с, 1H), 7.89 (д, J = 8.1 Гц, 2H), 8.27 (д, J = 7.4 Гц, 1H).

7f: Белый порошок. Выход 29%, $T_{пл} = 134,3,-135,5$ °С. ИК (ν_{max} , KBr): 1700 (C=O), 1239 (C-O-C). Найдено, %: С 68.73; Н 5.13; N 4.80. $C_{17}H_{15}NO_4$. Рассчитано, %: С 68.68; Н 5.09; N 4.71. ЯМР 1H (400 МГц, $DMCO-d_6$, δ , м.д.): 1.91 (т, 3H, CH₃), 2.89 (с, 3H, N-CH₃), 3.70 (м, 2H, CH₂), 7.12 (д, J = 8.2 Гц, 2H), 7.20 (с, 1H), 7.31 (д, J = 8.5 Гц, 1H), 7.35 (д, J = 8.3 Гц, 2H), 7.85 (д, J = 8.13 Гц, 1H).

7g: Белый кристаллический порошок. Выход 28%, $T_{пл} = 90-91$ °С. ИК (ν_{max} , KBr): 1698 (C=O), 1229 (C-O-C). Найдено, %: С 73.22; Н 5.84; N 4,77. $C_{18}H_{17}NO_3$. Рассчитано, %: С, 73.20; Н, 5.80; N, 4.74. ЯМР 1H (400 МГц, $DMCO-d_6$, δ , м.д.): 2.5 (д, 6H, 2CH₃), 2.95 (м, 1H, CH), 3.00 (с, 3H, N-CH₃), 7.08 (д, J = 8.0 Гц, 2H), 7.21 (с, 1H), 7.27 (д, J = 8.5 Гц, 1H), 7.35 (д, J = 8.3 Гц, 2H), 7.83 (д, J = 7.59 Гц, 1H).

14с: Бежевый порошок. Выход 66%, $T_{пл} = >300$ °С. ИК (ν_{max} , KBr): 2481 (вал. COOH), 1713 (C=O), 1254 (C-O-C), 942 (деф. COOH). Найдено, %: С 60.00; Н 3.39. $C_{15}H_{10}O_7$. Рассчитано, % С, 59.61; Н, 3.33. ЯМР 1H (400 МГц, $DMCO-d_6$, δ , м.д.): 7.12 (д, J = 8.7 Гц, 2H), 7.21 (д, J = 8.7 Гц, 1H), 7.72 (с, 1H), 7.95 (д, J = 8.7 Гц, 2H), 8.22 (д, J = 8.7 Гц, 1H).

14d: Белый порошок. Выход 70%, $T_{пл} = >300$ °С. ИК (ν_{max} , KBr): 1690 (C=O), 1554 (COO⁻), 1263(C-O-C). Найдено, %: С 61.59; Н 4.11. $C_{14}H_{11}NO_5$. Рассчитано, % С, 61.54; Н, 4.06. ЯМР 1H (400 МГц, $DMCO-d_6$, δ , м.д.): 6,72 (д, J = 8.1 Гц, 2H), 6,99 (д, J = 8.2 Гц, 1H), 7,30 (с, 1H), 7,62 (д, J = 8.3 Гц, 2H), 7,98 (д, J = 7.2 Гц, 1H).

14e: Белый порошок. Выход 65%, $T_{пл} = 188-190$ °С. ИК (ν_{max} , KBr): 2474 (вал. COOH), 1710 (C=O), 1250 (C-O-C), 1060 (C-Br), 940 (деф. COOH). Найдено, %: С 49.92; Н 2.72. $C_{14}H_9BrO_5$. Рассчитано, %: С, 49.88; Н, 2.69. ЯМР 1H (400 МГц, $DMCO-d_6$, δ , м.д.): 7.14 (д, J = 8.0 Гц, 2H), 7.25 (д, J = 8.15 Гц, 1H), 7.57 (с, 1H), 7.93 (д, J = 8.9 Гц, 2H), 8.33 (д, J=7.1 Гц, 1H).

14f: Светло-бежевый порошок. Выход 67%, $T_{пл} = >300$ °С. ИК (ν_{max} , KBr): 2479 (вал. COOH), 1713 (C=O), 1253 (C-O-C). Найдено, %: С 63.90; Н 4.69. $C_{16}H_{14}O_6$. Рассчитано, С, 63.57; Н, 4.67. ЯМР 1H (400 МГц, $DMCO-d_6$, δ , м.д.): 1.94 (т, 3H, CH₃), 3.65 (м, 2H, CH₂), 6.98 (д, J = 8.60 Гц, 2H), 7.10 (с, 1H), 7.25 (д, J = 8.51 Гц, 1H), 7.31 (д, J = 8.30 Гц, 2H), 7.75 (д, J = 8.12 Гц, 1H).



14g: Светло-бежевый порошок. Выход 62%, $T_{пл} = >300$ °С. ИК (ν_{max} , КВг): 2470 (вал. СООН), 1711 (C=O), 1261 (C-O-C), 941 (деф. СООН). Найдено, %: С 68.09; Н 5.42. $C_{17}H_{16}O_5$. Рассчитано, %: С, 67.99; Н, 5.37; О, 26.64. ЯМР 1H (400 МГц, ДМСО- d_6 , δ , м.д.): 2.44 (д, 6H, 2CH₃), 2.90 (м, 1H, CH), 7.10 (д, J = 7.44 Гц, 2H), 7.22 (с, 1H), 7.31 (д, J = 8.54 Гц, 1H), 7.44 (д, J = 8.27 Гц, 2H), 7.89 (д, J = 8.10 Гц, 1H).

Список источников

1. Пат. 2044726 Российская Федерация, МПК C07D 209/00. Способ получения 4-нитро-N-метилфталимида / Л.В. Радько, В.М. Иванова, С.Н. Таранова, М.В. Дорогов, Е.Л. Вулах, Д.С. Барк. Оpubл. 27.09.1995.
2. Rajasekar S., Venkatesan D. Synthesis and characterization of poly(amideimides)s from 4-(p-carboxyphenoxy)phthalic anhydride and 4-(p-carboxybenzoyl)phthalic anhydride // *Polymer*. 2013. Vol. 54, no. 21. P. 5626-5633. DOI: 10.1016/j.polymer.2013.08.037.
3. Пат. 2459803 Российская Федерация, МПК C07C 253/30, C07C 255/51, C07C 255/54. Способ получения 4,4'-(м-фенилендиокси) дифталонитрила / В.В. Плахтинский, И.Г. Абрамов, В.И. Мильто, Г.Г. Красовская, О.В. Доброхотов. Оpubл. 27.08.2012.
4. Botnar A.A., Domareva N.P., Kazaryan K.Y., Tikhomirova T.V., Abramova M.B. Vashurin A.S. Synthesis and spectral properties of tetraphenoxysubstituted erbium phthalocyanines containing peripheral phenyl and cyclohexyl fragments // *Russian Chemical Bull.* 2022. Vol. 71, no. 5. P. 953-961. DOI: 10.1007/s11172-022-3496-0.
5. Знойко С.А., Елизарова А.П., Кустова Т.В., Наконечная А.Н. Комплексы эрбия и лютеция «сэндвичевого» типа, содержащие фрагменты тетраантрахинонопорфиразаина и замещенных фталоцианинов // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64, вып. 4. С. 42-51. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6380.
6. Orlova A.M., Alentiev A.Yu., Kolesnikov T.I., Tsegelskaya A.Yu., Monakhova K.Z., Chirkov S.V., Nikiforov R. Yu., Abramov I.G., Kuznetsov A.A. Novel organo-soluble poly(etherimide)s based on diethyltoluenediamine: Synthesis, characterization and gas transport properties // *Polymer*. 2022. Vol. 256. P. 125258 DOI: 10.1016/J.polymer.2022.125258.
7. Soldatova A.E., Tsegelskaya A.Yu., Semenova G.K., Bezsudnov I.V., Polinskaya M.S., Abramov I.G., Kuznetsov A.A. Synthesis of tetraarm stars with polyetherimide-polyether block copolymer arms // *Russian Chemical Bulletin*. 2022. Vol. 71, no. 4. P. 777-786. DOI: 10.1007/s11172-022-3478-2.
8. Orlova A.M., Tsegelskaya A.Yu., Kolesnikov T.I., Abramov I.G., Kuznetsov A.A. Novel Polyetherimides Based on 5-Methyl-1,3-phenylene-bis-4-oxophthalic Acid Dianhydride: Synthesis and Physicochemical Properties // *Polymer Science, Series B*. 2022. Vol. 64, no. 1. P. 17-25. DOI: 10.1134/S1560090422010031.
9. Berezin D.B., Makarov V.V., Znoyko S.A., Mayzlish V.E., Kustov A.V. Aggregation water soluble octaanionicphthalocyanines behavior and their photoinactivation antimicrobial effect in vitro // *Mendeleev Communications*. 2020. Vol. 30, no. 5. P. 621-623. DOI: 10.1016/j.mencom.2020.09.023.
10. Абрамов И.Г., Плахтинский В.В., Абрамова М.Б., Смирнов А.В., Красовская Г.Г. Синтез гетерилфталонитрилов // *Хим. гетероцикл. соединений* 1999. № 11. С. 1537-1539.
11. Абрамов И.Г., Гусева В.В., Балагурова Е.В., Захаркин Л.И. Первый пример реакции нуклеофильного замещения нитрогруппы в 4-нитрофталонитриле на карборанильную группу при действии В-производного карборана // *Журнал общей химии*. 1999. Т. 69, вып. 10. С. 1753.
12. Абрамов И.Г., Баклагин В.Л., Макарова Е.С., Клейкова Д.Э. Использование азотсодержащих гетероциклических О-, и S-нуклеофилов в реакциях с 4-нитрофталонитрилом и 4-бром-5-нитрофталонитрилом // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2021. Т. 2, вып. 4. С. 43-49. DOI: 10.52957/2782I900_2021_04_43. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2021-2-4>
13. Malysova A.S., Kostrova E.A., Abramov I.G., Maizlish V.E., Koifman O.I. Synthesis, acid-base interactions, and photostability of copper(II) tetrakis(3,5-di-tert-butylbenzoyloxy)phthalocyanine // *Russian Chemical Bulletin*. 2021. Vol. 70, no. 12. P. 2405-2415. DOI: 10.1007/s11172-021-3360-7
14. Мильто В.И., Тарасов А.В., Ножнин Н.А., Шленев Р.М., Светличный В.М., Юдин В.Е. Разработка лабораторной технологии синтеза диангирида Р – мономера для термопластичных полиэфиримидов



- // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции. Нальчик: Изд-во «Принт Центр», 2020. С. 292-295.*
15. Мильто В.И., Ножнин Н.А., Тарасов А.В., Рыбина Г.В. Разработка прикладного метода синтеза 4,4'-(м-фенилендиокси)-N-метилфталимида – полупродукта для получения полиэфиримидов // *Известия Кабардино-балкарского государственного университета*. 2023. Т. XIII, № 1. С. 69-73.
 16. Relles, H.M. D.S. Johnson, B.A. Dellacoletta. Diaryl Ether Formation via Nitro Displacement with 4-Methylphenol and Potassium Carbonate on 4-Nitro-N-methylphthalimide // *J. Org. Chem.* 1980. Vol. 45. P. 1374-1379.
 17. Дорогов М.В., Ивановский С.А., Красовская Г.Г., Абрамов И.Г. Использование гидрокарбоната калия как источника активного депротонирующего агента в реакции ароматического замещения нитрогруппы нуклеофилами // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 1999. Т. 42, вып. 6. С. 69-71.
 18. Плахтинский В.В., Канинский П.С., Миронов Г.С., Ясинский О.А., Абрамов И.Г. Замещение нитрогруппы в 4-нитрофталонитриле с использованием системы фенол – карбонат металла в качестве нуклеофила // *Журн. орган. химии*. 1992. Т. 28, вып. 6. С. 1232-1235.
 19. Плахтинский В.В., Устинов В.А., Миронов Г.С. Ароматическое нуклеофильное замещение с участием нитрит-иона // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 1985. Т. 28, № 1. С. 3-18.

Поступила в редакцию 25.05.2023

Одобрена после рецензирования 29.05.2023

Принята к опубликованию 16.06.2023