

ОСОБЕННОСТИ ДИСМУТАЦИИ АРИЛДИХЛОРОСФИТОВ

П.В. Слитиков

pvs@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрена самопроизвольная перегруппировка (дисмутация) дихлорангидридов фосфористой кислоты (арилдихлорфосфитов) в хлорангидриды (диарилхлорфосфиты) с отделением треххлористого фосфора. Исходные вещества имели в составе в качестве ароматических радикалов фенил, 1- и 2-нафтолы. Выявлены основные закономерности дисмутации арилдихлорфосфитов и определены базовые факторы, оказывающие влияние на время процесса. Проведено сравнение параметров дисмутации арилдихлорфосфитов с выявленными ранее закономерностями для аналогичного процесса с участием диамидозфиров фосфористой кислоты, содержащих фенильный и нафтильные заместители в качестве эфирного компонента. Осуществлены расчеты термодинамических функций состояния (стандартных энтальпий образования $\Delta_f H_{298}^0$ и энтропий S_{298}^0) для участников дисмутации, рассчитаны стандартные значения энергии Гиббса реакций $\Delta_r G_{298}^0$. Расчеты проведены без учета влияния растворителя и для случая стандартных условий, как и на аналогичных системах — диамидозэфирах фосфористой кислоты. На основании расчетов показана термодинамическая возможность осуществления дисмутации арилдихлорфосфитов при сравнительно низких значениях температуры. Использование полуэмпирического метода расчета (RM1) позволило установить наиболее низкоэнергетические конформации образующихся в результате дисмутации диарилхлорфосфитов и показать их принципиальное различие

Ключевые слова

Дисмутация, хлорангидриды фосфористой кислоты, термодинамические функции состояния, компьютерное моделирование

Поступила 13.12.2021

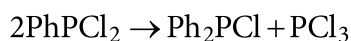
Принята 29.12.2021

© Автор(ы), 2022

Введение. В настоящее время производные фосфористой кислоты — фосфиты — различного состава и строения находят широкое применение в различных отраслях, например текстильной, сельском хозяйстве,

нефтехимии [1]. На их основе синтезируют реагенты для гидрометаллургии [2], полимеры с заданными свойствами [3, 4], антипирены [5], лиганды для создания комплексов, являющихся эффективными гомогенными катализаторами [6]. Исходными соединениями для синтеза производных фосфористой кислоты (эфиров, амидов и т. д.) наиболее часто служат ее хлорангидриды [7]. Из всех производных они являются самыми реакционноспособными, доступны и просты в получении. Несмотря на то что арилдихлорфосфиты известны уже более 60 лет [8], некоторые аспекты их поведения остаются нераскрытыми, в частности обмен заместителями и самопроизвольное превращение арилдихлорфосфитов в диарилхлорфосфиты [9].

В общем случае обмен заместителями между молекулами одинакового строения играет важную роль и в химической технологии, и в органическом синтезе. В качестве инициаторов указанных процессов могут выступать кислоты, как например, в циклических перегруппировках Демьянова [10] и Мейнвальда [11]; основания — в реакциях Кэрролла [12] и Каниццарро [13], а также нагрев до высоких значений температуры. В качестве примеров последнего можно привести длительный (несколько дней) нагрев двухкомпонентной системы $P(O\text{Ph})_3\text{-PCl}_3$, приводящий к образованию смеси различных хлорфосфитов [14], и промышленный процесс получения дифенилхлорфосфина, сопровождающийся разрывом прочной P–C-связи [15]:

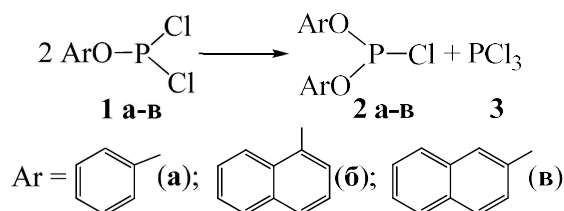


В некоторых случаях обмен заместителями протекает самопроизвольно, при комнатной температуре, исключительно под воздействием растворителя [16–19] или даже без него [20].

Цель исследования — теоретическое обоснование экспериментально установленного факта дисмутации арилдихлорфосфитов путем расчета стандартных термодинамических функций состояния и сопоставление полученных результатов с данными эксперимента.

Результаты и обсуждение. Экспериментально установлено, что такие способствующие дисмутации факторы, как наличие ароматического радикала и его природа, полярность растворителя, термодинамическая устойчивость продуктов реакции и т. п. [16–19] оказывают влияние на аналогичный процесс в системах, потенциально к дисмутации не predisposed. Тем не менее схожие процессы отмечены на фосфитах различного строения. В частности, в пользу положения об определяющей роли ароматического фрагмента в дисмутации [19] свидетельствует тот

факт, что она возможна и для дихлорангидридов ариловых эфиров фосфористой кислоты (арилдихлорфосфитов). Процесс может быть представлен уравнением


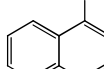
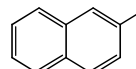


Исходные дихлорангидриды **1 а-в** получали классическим способом: длительное кипячение соответствующего фенола в шестикратном избытке свежеперегнанного PCl_3 в присутствии каталитических количеств сухого MgSO_4 с последующей перегонкой образовавшихся продуктов в вакууме (1 мм рт. ст.) [8]. В ИК-спектрах всех производных **1 а-в** имели место сильные полосы поглощения в области $520 \dots 480 \text{ см}^{-1}$, соответствующие валентным колебаниям связи $\text{P}-\text{Cl}$.

Методика проведения дисмутации аналогична описанной ранее для диамидоарилфосфитов [18, 19]. В ампулу помещали 0,2 мл дихлорангидрида **1 а-в** и добавляли 1,2...1,5 мл сухого растворителя (метиленхлорида, 1,4-диоксана, бензола, гексана). Ампулу запаивали и через определенные промежутки времени регистрировали сигналы в спектрах ЯМР ^{31}P *. Если в указанных спектрах сигнал от исходного арилдихлорфосфита **1 а-в** исчезал полностью, то реакцию полагали прошедшей до конца (табл. 1).

Таблица 1

Данные спектроскопии ЯМР ^{31}P (δ_{P} , м.д.) хлорангидридов фосфористой кислоты **1** и **2** (растворитель 1,4-диоксан)

Ar	 а	 б	 в
1	179	184	182
2	158	162	161

В случае изучаемых арилдихлорфосфитов **1 а-в** прослеживалась аналогичная с диамидоарилфосфитами тенденция: при комнатной температуре устанавливалось состояние заторможенного равновесия между всеми

* Спектры ЯМР ^{31}P регистрировали на приборе *Bruker WP-80SY* на частоте 32,4 МГц относительно 85%-ной H_3PO_4 .

участниками процесса и наименьшее время его достижения отмечалось при использовании в качестве растворителя метиленхлорида, наибольшее — при 1,4-диоксане [18, 19]. Так, по истечении трех месяцев конверсия дихлорангидридов **1 а-в** (в зависимости от растворителя) составила (%):

Исходное вещество	1 а	1 б	1 в
Метиленхлорид.....	18	22	5
1,4-Диоксан	10	12	4

Следует отметить, что дихлорангидрид на основе 2-нафтола **1 в** практически не подвергался дисмутации — конверсия составляла около 5 %. Это отличает указанный хлорангидрид от аналогичных диамидофосфитов на основе 2-нафтола, которые подвергались дисмутации с более высокой конверсией за аналогичное время [18, 19]. Показано, что наибольшая стабильность арилдихлорфосфитов наблюдалась в гексане и бензоле — в случае всех производных конверсия не превысила 3 % за три месяца. Таким образом, по скорости обмена в процессе дисмутации заместители в арилдихлорфосфите **1** располагаются в ряд: фенил \approx 1-нафтил > 2-нафтил.

Как и в случаях с амидоарилфосфитами, проведена оценка стандартных термодинамических функций состояния $\Delta_f H_{298}^0$ и S_{298}^0 полуэмпирическим методом RM1, имеющим минимальную погрешность при расчетах молекул, в состав которых входят тяжелые атомы (P, Cl и т. д.) [21]. Расчет выполнен для всех участников процесса без учета влияния растворителя, так как в [16, 17] было показано, что существенного изменения в значениях $\Delta_r H_{298}^0$ и $\Delta_r S_{298}^0$ с учетом влияния растворителя не наблюдается.

Согласно приведенным в табл. 2 данным, дихлорарилфосфиты с нафталиновыми заместителями **1 б,в** имеют более низкие значения стандартных энтальпий образования $\Delta_f H_{298}^0$, чем фенильный **1 а**. Во всех случаях $\Delta_r H_{298}^0 < 0$ и $\Delta_r S_{298}^0 < 0$, что означает потенциальное достижение состояния равновесия при сравнительно низкотемпературном режиме протекания процесса.

Исходя из расчетов стандартной энергии Гиббса реакции $\Delta_r G_{298}^0$ по стандартному уравнению Гиббса — Гельмгольца

$$\begin{aligned} \Delta_r G_{298}^0 &= \Delta_r H_{298}^0 - 298 \Delta_r S_{298}^0 = \\ &= \left(\sum v_i \Delta_f H_{298i}^0 - \sum v_j \Delta_f H_{298j}^0 \right) - 298 \left(\sum v_i S_{298i}^0 - \sum v_j S_{298j}^0 \right), \end{aligned}$$

процесс термодинамически возможен для фенильного и α -нафтильного производных, причем для последнего он термодинамически более вероя-

тен. При этом для 2-нафтильного производного $\Delta_r G_{298}^0 > 0$, что объясняет практически полное отсутствие дисмутации.

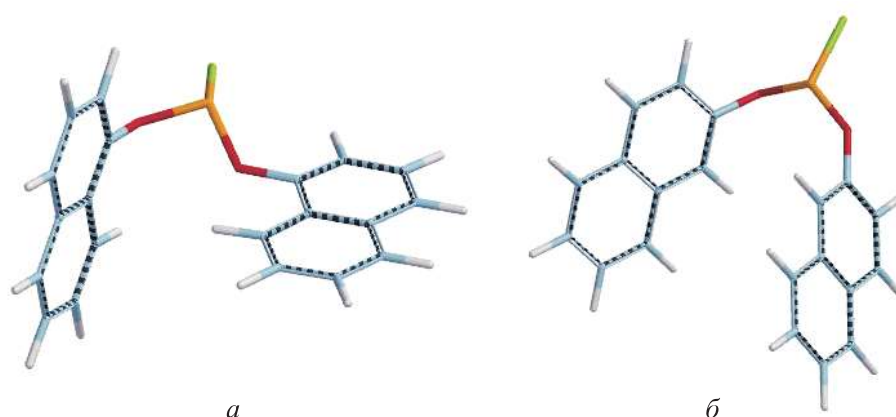
Таблица 2

**Значения стандартных термодинамических функций состояния
для дихлорарилфосфитов (1) и хлордиарилфосфитов (2)**

Параметр	Ar		
	Ph (а)	1-Naph (б)	2-Naph (в)
<i>Дихлорарилфосфиты 1</i>			
$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	-293,5	-213,8	-220,7
S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	417,4	465,4	468,3
Параметр	Ar		
	Ph (а)	1-Naph (б)	2-Naph (в)
<i>Хлордиарилфосфиты 2</i>			
$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	-294,6	-142,4	-148,5
S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	506,6	607,4	563,2
<i>Трихлорид фосфора 3</i>			
$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	-318,6		
S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	219,5		
$\Delta_r G_{298}^0$, кДж	-9,5	-18,1	4,4

Кроме проведенных расчетов термодинамических функций состояния, впервые осуществлено компьютерное моделирование получаемых в результате дисмутации нафтилхлорфосфитов **2 б,в** с целью установить наиболее стабильную конформацию указанных соединений. Показано, что нафтилхлорфосфиты **2 б,в** конформационно лабильные системы и в случае 1-нафтильного производного **2 а** наиболее энергетически выгодной является конформация с перпендикулярным расположением ароматических фрагментов (рисунок *а*), тогда как в случае 2-нафтильного производного **2 б** — с планарным расположением (рисунок *б*).

В случае производного **2 а** его молекула имеет стэкинг-взаимодействие типа «торец к плоскости» с расстоянием от электрон-дефицитного атома водорода Н8 одного нафталинового кольца до плоскости второго кольца порядка 2,96...3,01 Å. В то же время у производного **2 б** для стэкинг-взаимодействия расстояние между ароматическими фрагментами достаточно велико (4,58...4,61 Å). Такие данные могут косвенно подтвердить экспериментально установленный факт бóльшей конверсии производного **1 а**.



Результаты компьютерного моделирования молекул хлорбис(1-нафтил)фосфита **2 а** (а) и хлорбис(2-нафтил)фосфита **2 б** (б)

Заключение. Установлено, что проведенные теоретические расчеты термодинамических функций состояния для участников дисмутации арилдихлорфосфитов, осуществленные полуэмпирическим методом RM1, согласуются с результатами проведенных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Corbridge D.E.C. Phosphorus. Chemistry, biochemistry and technology. CRC Press, 2013.
- [2] Free M.L. Hydrometallurgy. Fundamentals and applications. Wiley, 2013.
- [3] Duda A., Kubisa P., Lapienis G., et al. Milestones in development of a ring-opening polymerization of the heterocyclic monomers — view from a personal perspective. *Polimery*, 2014, vol. 59, no. 1, pp. 9–23.
- [4] Salmeia K.A., Gaan S., Malucelli G. Recent advances for flame retardancy of textiles based on phosphorus chemistry. *Polymers, Special Iss.: Recent Advances in Flame Retardancy of Textile Related Products*, 2016, vol. 8, iss. 9, art. 319. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym8090319>
- [5] Schartel B. Phosphorus-based flame retardancy mechanisms — old hat or a starting point for future development? *Materials, Special Iss.: Flame Retardants*, 2010, vol. 3, iss. 10, pp. 4710–4745. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma3104710>
- [6] Kamer P.C.J., Leeuwen P.W.N.M. Phosphorus(III) ligands in homogeneous catalysis. Design and synthesis. Wiley, 2012.
- [7] Nifant'ev E.E., Grachev M.K., Burmistrov S.Yu. Amides of trivalent phosphorus acids as phosphorylating reagents for proton-donating nucleophiles. *Chem. Rev.*, 2000, vol. 100, iss. 10, pp. 3755–3799. DOI: <https://doi.org/10.1021/cr9601371>
- [8] Tolkmith H. Aromatic phosphorodichloridites and phosphorodichloridothioates. I. Aryl phosphorodichloridites. *J. Org. Chem.*, 1958, vol. 23, iss. 11, pp. 1682–1684. DOI: <https://doi.org/10.1021/jo01105a025>

- [9] Слитиков П.В. Особые случаи дисмутации производных трехвалентного фосфора на примере арилдихлорфосфитов. *11-я Всерос. конф. «Необратимые процессы в природе и технике»*. Ч. 1. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, с. 79–82.
- [10] Fattori D., Henry S., Vogel P. The Demjanov and Tiffeneau — Demjanov one-carbon ring enlargements of 2-aminomethyl-7-oxabicyclo[2.2.1]heptane derivatives. The stereo- and regioselective additions of 8-oxabicyclo[3.2.1]oct-6-en-2-one to soft electrophiles. *Tetrahedron*, 1993, vol. 49, iss. 8, pp. 1649–1664.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)80352-5](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)80352-5)
- [11] Sun H., Yang J., Amaral K.E., et al. Synthesis of a new transition-state analog of the sialyl donor. Inhibition of sialyltransferases. *Tetrahedron Lett.*, 2001, vol. 42, iss. 13, pp. 2451–2453. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)00204-0](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)00204-0)
- [12] Hatcher M.A., Posner G.N. [3,3]-Sigmatropic rearrangements: short, stereocontrolled syntheses of functionalized vitamin D₃ side-chain units. *Tetrahedron Lett.*, 2002, vol. 43, iss. 28, pp. 5009–5012.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(02\)00904-8](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(02)00904-8)
- [13] Russell A.E., Miller S.P., Morken J.P. Efficient Lewis acid catalyzed intramolecular Cannizzaro reaction. *J. Org. Chem.*, 2000, vol. 65, iss. 24, pp. 8381–8383.
DOI: <https://doi.org/10.1021/jo0010734>
- [14] Fluck E., van Waser J.R., Groenweghe L.C.D. Principles of phosphorus chemistry. VIII. Reorganization of triply connected monophosphorus compounds. *J. Am. Chem. Soc.*, 1959, vol. 81, iss. 24, pp. 6363–6366.
DOI: <https://doi.org/10.1021/ja01533a005>
- [15] Brown M.P., Silver H.B. An improved method of preparation for diphenylchlorophosphine. *Chem. Ind.*, 1961, no. 1, pp. 24–27.
- [16] Слитиков П.В. Оценка термодинамической возможности дисмутации диамидофенилфосфитов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2017, № 6 (75), с. 96–102. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2017-6-96-102>
- [17] Slitikov P.V. Thermodynamic aspects of naphthylamidophosphite dismutation. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2019, vol. 1348, art. 012074.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1348/1/012074>
- [18] Nifant'ev E.E., Rasadkina E.N., Slitikov P.V., et al. Dismutation of diamidoarylphosphites. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elem.*, 2003, vol. 178, iss. 11, pp. 2465–2477. DOI: <https://doi.org/10.1080/714040960>
- [19] Расадкина Е.Н., Слитиков П.В., Нифантьев Э.Е. Дисмутации диамидоарилфосфитов. Особенности и аспекты препаративного использования. *Журн. общ. химии*, 2006, т. 76, № 2, с. 196–210.
- [20] Налибаева А.М. Синтез и свойства новых фторсодержащих ациклических и циклических фосфитов и фосфатов. Дис. ... канд. хим. наук. Иркутск, ИрИХ, 2021.
- [21] Rocha G.B., Freire R.O., Simas A.M., et al. RM1: a reparametrization of AM1 for H, C, N, O, P, S, F, Cl, Br and I. *J. Comp. Chem.*, 2006, vol. 27, iss. 10, pp. 1101–1111.
DOI: <https://doi.org/10.1002/jcc.20425>

Слитиков Павел Владимирович — д-р хим. наук, профессор кафедры «Химия» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Слитиков П.В. Особенности дисмутации арилдихлорфосфитов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2022, № 2 (101), с. 102–111.

DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2022-2-102-111>

FEATURES OF DISMUTATION OF ARYLDICHLORPHOSPHITES

P. V. Slitikov

pvs@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper considers the spontaneous rearrangement, i.e., dismutation, of phosphorous acid dichlorides (aryl dichlorophosphites) into acid chlorides (diaryl chlorophosphites) with separation of phosphorus trichloride. The starting materials contained phenyl, 1- and 2-naphthols as aromatic radicals. The main patterns of dismutation of aryldichlorophosphites were revealed and the basic factors influencing the process time were determined. The dismutation parameters of aryldichlorophosphites were compared with the regularities revealed earlier for a similar process with the participation of diamidoesters of phosphorous acid containing phenyl and naphthyl substituents as an ether component. Calculations of thermodynamic functions of state, i.e., standard enthalpies of $\Delta_f H_{298}^0$ formation and S_{298}^0 entropies, for the dismutation participants, standard values of the Gibbs energy of $\Delta_r G_{298}^0$ reactions, were calculated. Calculations were carried out without taking into account the influence of the solvent and for the case of standard conditions, as well as for similar systems — diamidoesters of phosphorous acid. The calculations allowed us to show the thermodynamic possibility of implementing dismutation of aryl dichlorophosphites at relatively low temperatures. The semi-empirical calculation method (RM1) made it possible to establish the lowest-energy conformations of diaryl chlorophosphites formed as a result of dismutation and show their fundamental difference

Keywords

Dismutation, phosphorous acid chlorides, thermodynamic state functions, computer simulation

Received 13.12.2021

Accepted 29.12.2021

© Author(s), 2022

REFERENCES

- [1] Corbridge D.E.C. Phosphorus. Chemistry, biochemistry and technology. CRC Press, 2013.
- [2] Free M.L. Hydrometallurgy. Fundamentals and applications. Wiley, 2013.
- [3] Duda A., Kubisa P., Lapienis G., et al. Milestones in development of a ring-opening polymerization of the heterocyclic monomers — view from a personal perspective. *Polimery*, 2014, vol. 59, no. 1, pp. 9–23.
- [4] Salmeia K.A., Gaan S., Malucelli G. Recent advances for flame retardancy of textiles based on phosphorus chemistry. *Polymers, Special Iss.: Recent Advances in Flame Retardancy of Textile Related Products*, 2016, vol. 8, iss. 9, art. 319.
DOI: <https://doi.org/10.3390/polym8090319>
- [5] Scharfel B. Phosphorus-based flame retardancy mechanisms — old hat or a starting point for future development? *Materials, Special Iss.: Flame Retardants*, 2010, vol. 3, iss. 10, pp. 4710–4745. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma3104710>
- [6] Kamer P.C.J., Leeuwen P.W.N.M. Phosphorus(III) ligands in homogeneous catalysis. Design and synthesis. Wiley, 2012.
- [7] Nifant'ev E.E., Grachev M.K., Burmistrov S.Yu. Amides of trivalent phosphorus acids as phosphorylating reagents for proton-donating nucleophiles. *Chem. Rev.*, 2000, vol. 100, iss. 10, pp. 3755–3799. DOI: <https://doi.org/10.1021/cr9601371>
- [8] Tolkmith H. Aromatic phosphorodichloridites and phosphorodichloridothioates. I. Aryl phosphorodichloridites. *J. Org. Chem.*, 1958, vol. 23, iss. 11, pp. 1682–1684.
DOI: <https://doi.org/10.1021/jo01105a025>
- [9] Slitikov P.V. [Particular dismutation cases of trivalent phosphor derivatives using the example of aryldichlorophosphites]. *11-ya Vseros. konf. "Neobratimye protsessy v prirode i tekhnike". Ch. 1* [11th Russ. Conf. "Irreversible Processes in Nature and Technics". P. 1]. Moscow, BMSTU Publ., 2021, pp. 79–82 (in Russ.).
- [10] Fattori D., Henry S., Vogel P. The Demjanov and Tiffeneau — Demjanov one-carbon ring enlargements of 2-aminomethyl-7-oxabicyclo[2.2.1]heptane derivatives. The stereo- and regioselective additions of 8-oxabicyclo[3.2.1]oct-6-en-2-one to soft electrophiles. *Tetrahedron*, 1993, vol. 49, iss. 8, pp. 1649–1664.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)80352-5](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)80352-5)
- [11] Sun H., Yang J., Amaral K.E., et al. Synthesis of a new transition-state analog of the sialyl donor. Inhibition of sialyltransferases. *Tetrahedron Lett.*, 2001, vol. 42, iss. 13, pp. 2451–2453. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)00204-0](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)00204-0)
- [12] Hatcher M.A., Posner G.N. [3,3]-Sigmatropic rearrangements: short, stereocontrolled syntheses of functionalized vitamin D3 side-chain units. *Tetrahedron Lett.*, 2002, vol. 43, iss. 28, pp. 5009–5012. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(02\)00904-8](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(02)00904-8)
- [13] Russell A.E., Miller S.P., Morcken J.P. Efficient Lewis acid catalyzed intramolecular Cannizzaro reaction. *J. Org. Chem.*, 2000, vol. 65, iss. 24, pp. 8381–8383.
DOI: <https://doi.org/10.1021/jo0010734>

- [14] Fluck E., van Waser J.R., Groenweghe L.C.D. Principles of phosphorus chemistry. VIII. Reorganization of triply connected monophosphorus compounds. *J. Am. Chem. Soc.*, 1959, vol. 81, iss. 24, pp. 6363–6366. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja01533a005>
- [15] Brown M.P., Silver H.B. An improved method of preparation for diphenylchlorophosphine. *Chem. Ind.*, 1961, no. 1, pp. 24–27.
- [16] Slitikov P.V. Thermodynamic evaluation of diamidophosphite dismutation capability. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2017, no. 6 (75), pp. 96–102 (in Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2017-6-96-102>
- [17] Slitikov P.V. Thermodynamic aspects of naphthyldiamidophosphite dismutation. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2019, vol. 1348, art. 012074.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1348/1/012074>
- [18] Nifant'ev E.E., Rasadkina E.N., Slitikov P.V., et al. Dismutation of diamidoarylphosphites. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elem.*, 2003, vol. 178, iss. 11, pp. 2465–2477. DOI: <https://doi.org/10.1080/714040960>
- [19] Rasadkina E.N., Slitikov P.V., Nifant'ev E.E. Dismutation of arylenephosphorodiamidites: specific features and aspects of preparative use. *Russ. J. Gen. Chem.*, 2006, vol. 76, pp. 183–197. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070363206020046>
- [20] Nalibaeva A.M. Sintez i svoystva novykh ftorsoderzhashchikh atsiklicheskikh i tsiklicheskikh fosfitov i fosfatov. Dis. kand. khim. nauk [Synthesis and properties of new fluorine-containing acyclic and cyclic phosphites and phosphates. Cand. Sc. Eng. Diss.]. Irkutsk, IrICh, 2021 (in Russ.).
- [21] Rocha G.B., Freire R.O., Simas A.M., et al. RM1: a reparametrization of AM1 for H, C, N, O, P, S, F, Cl, Br and I. *J. Comp. Chem.*, 2006, vol. 27, iss. 10, pp. 1101–1111. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcc.20425>

Slitikov P.V. — Dr. Sc. (Chem.), Professor, Department of Chemistry, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Slitikov P.V. Features of dismutation of aryldichlorophosphites. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2022, no. 2 (101), pp. 102–111 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2022-2-102-111>