

С. П. Ивонин, А. В. Мазепа^а, А. В. Лапандин

**МАСС-СПЕКТРАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ
И ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕТАРИЛЬНЫХ АНАЛОГОВ
НЕСИММЕТРИЧНЫХ БЕНЗОИНОВ**

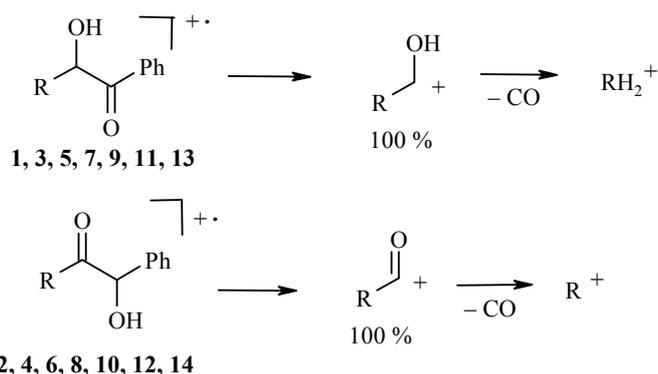
Основным направлением масс-спектрального распада гетарильных аналогов несимметричных бензоинов является β -фрагментация с разрывом центральной связи С–С. При этом в масс-спектре α -бензоинов наиболее интенсивным пиком является пик гидроксиметилгетарильного катиона, β -бензоинов – пик гетароильного катиона. Изучена термическая $\alpha \rightarrow \beta$ -изомеризация гетарильных аналогов бензоинов. В случае производных индола и пиррола наблюдается образование полигетероциклических систем.

Ключевые слова: бензоины, полигетероциклы, изомеризация, масс-спектрометрия.

Бензоины нашли широкое применение в качестве синтонов в органическом синтезе (см., например, [1–8]). Особый интерес в последнее время к химии бензоинов вызван использованием их в качестве модельных биохимических субстратов (см. например [9–11]). Однако многие вопросы в строении и свойствах несимметричных бензоинов до сих пор не выяснены. Так, при изучении спектральных свойств несимметричных бензоинов с целью установления их структуры и принадлежности к изомерному ряду (α - или β -изомер) было показано, что масс-спектрометрия электронного удара мало пригодна для этих целей [12]. Отмечалось, что основным направлением фрагментации оказалась β -фрагментация с разрывом центральной связи С–С и в масс-спектре наблюдаются пики обоих ароильных и обоих гидроксibenзильных катионов. Интересно отметить, что подобный разрыв связи является источником радикалов при полимеризации, где в качестве фоточувствительного вещества используются бензоины и их алкиловые эфиры [13]. В работе [14] при получении несимметричных бензоинов для подтверждения структуры полученных соединений были использованы масс-спектры, причем основным направлением фрагментации также является разрыв центральной связи С–С. Однако, анализируя масс-спектральные данные, трудно установить какую-либо общую закономерность в фрагментации и образовании ионов, дающих базовые пики.

Ранее при изучении изомеризации α -бензоинов, полученных электрофильным гидроксиметилированием π -избыточных гетероциклов [15], нами были показаны различия ЯМР ^1H спектральных характеристик α - и β -изомеров [16]. В настоящей работе изучены различия масс-спектральных характеристик полученных изомерных бензоинов. Регистрация спектров проводилась с использованием системы прямого ввода образца в область ионизации.

Нами установлено, что реализуется основное направление β -фрагментации. При этом заряд с подавляющим преимуществом локализуется на фрагменте, в котором реализуется наибольшая стабилизация положительного заряда; для гетарилфенилбензоинов – на катионе, содержащем остаток π -избыточного гетероцикла. Каждый из изученных рядов изомеров имеет собственный базисный пик, что позволяет их четко различать: для α -изомеров – пик гидроксibenзоильного катиона; для β -изомера – гетароильного катиона. В случае β -бензоина **10**, в котором осколки обладают примерно одинаковой способностью делокализовать положительный заряд и массой, образуются оба вида катиона с примерно одинаковой интенсивностью.



В большинстве случаев (за исключением гидразонов **11–14**) в масс-спектрах вторым по интенсивности является пик фрагментов, которые образуются при последующем элиминировании приведенными выше ионами молекулы CO. В случае α -изомеров это σ -комплекс. При этом интенсивность данного пика связана, по-видимому, со стабильностью этого комплекса для данного гетероцикла. Так, наибольшая интенсивность наблюдается в случае производных 1,2,5-триметилпиррола и индола; а в случае производных фурана такие сигналы вообще отсутствуют. В случае β -изомеров интенсивность аналогично образующихся элиминированием CO гетарилкатионов ниже, что связано с их низкой стабильностью.

Следует отметить, что ряды изомеров отличаются по своей устойчивости к электронному удару. α -Изомеры дают более устойчивые молекулярные ионы по сравнению с β -изомерами. В случае фуранов **7, 8** молекулярные пики имеют одинаковую интенсивность, что связано с малой разницей в электронодонорных свойствах фенильного и фуранового остатков. Эта закономерность нарушается только для гидразонов **11–14**, в которых сопряжение между диметиламино- и карбонильной группами приводит к более высокой устойчивости молекулярных пиков β -изомеров.

Однако, как видно из данных табл. 1, в каждом масс-спектре одного изомера присутствуют сигналы, в большей мере характерные для другого изомера. По нашему мнению, это связано с тем, что некоторая часть молекул вещества в ионизационной камере до ионизации успевает претерпеть термическую изомеризацию при нагревании в вакууме [17] в эндиольную форму, которая всегда присутствует в бензоине [18]. Хотя измерение при более высоких температурах ионизационной камеры (до 240 °C) картины масс-спектров веществ практически не изменяет.

Таблица 1

Масс-спектры бензоинов 1–14*

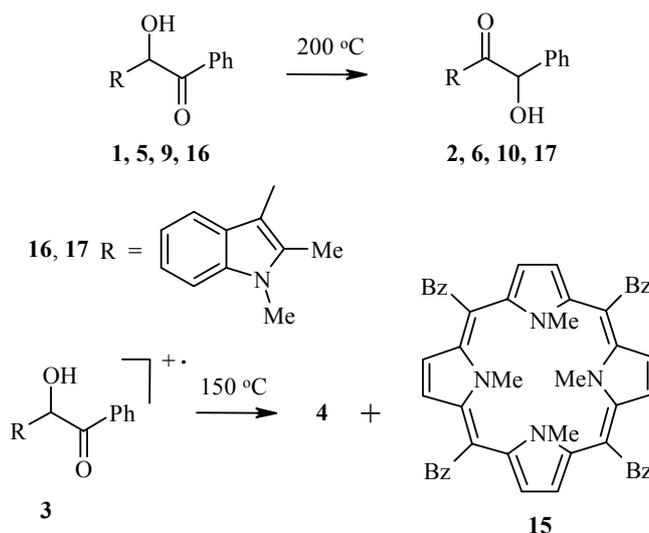
Соединение	R	<i>m/z</i> (<i>I</i> , %)					<i>I</i> , %**			
		M ⁺	RC ⁺ H(OH)	RH ₂ ⁺	RC ⁺ =O	R ⁺	PhC ⁺ H(OH)	PhH ₂ ⁺	PhC ⁺ =O	Ph ⁺
1	4-Диметиламинофенил	255 (8)	150 (100)	122 (8)	148 (5)	120 (7)	6	2	9	9
2	4-Диметиламинофенил	255 (7)	150 (1)	–	148 (100)	–	1	4	6	7
3	1-Метилпиррол-2-ил	215 (9)	110 (100)	82 (22)	108 (7)	80 (3)	–	–	4	8
4	1-Метилпиррол-2-ил	215 (3)	110 (3)	–	108 (100)	80 (7)	5	5	1	6
5	1,2,5-Триметилпиррол-3-ил	243 (12)	137 (100)	109 (58)	135 (13)	107 (7)	7	2	5	6
6	1,2,5-Триметилпиррол-3-ил	243 (4)	–	–	135 (100)	107 (2)	2	1	1	2
7	Индол-3-ил	251 (10)	146 (100)	118 (35)	144 (32)	116 (6)	–	1	8	11
8	Индол-3-ил	251 (5)	146 (1)	–	144 (100)	116 (11)	–	2	–	3
9	5-Метил-2-фурил	216 (6)	111 (100)	83 (3)	109 (2)	81 (1)	–	1	7	12
10	5-Метил-2-фурил	216 (8)	111 (16)	83 (6)	109 (100)	81 (4)	91	44	5	25
11	5-Диметилгидразонометил-1-метилпиррол-2-ил	285 (16)	180 (100)	152 (2)	178 (6)	150 (4)	7	–	5	5
12	5-Диметилгидразонометил-1-метилпиррол-2-ил	285 (23)	–	–	178 (100)	–	4	4	1	–
13	5-Диметилгидразонометил-2-фурил	272 (14)	167 (100)	–	165 (11)	137 (1)	5	1	16	13
14	5-Диметилгидразонометил-2-фурил	272 (28)	167 (10)	–	165 (100)	137 (6)	4	9	4	11

* Нечетные номера – α-изомеры RCH(OH)C(O)Ph; четные номера – β-изомеры RC(O)CH(OH)Ph.

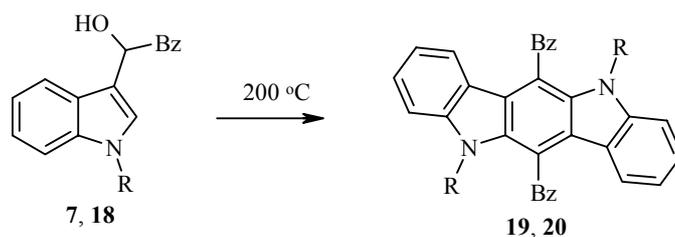
** Приведены интенсивности соответствующих пиков.

По-видимому, именно химическими превращениями в условиях снятия масс-спектров можно объяснить отсутствие закономерности в масс-спектральных данных бензоинов в работе [14], т. е. полученные масс-спектры не были данными индивидуального соединения.

В подтверждение нами была изучена термическая стабильность несимметричных бензоинов. Так, α -бензоины **1**, **3**, **5**, **9** способны изомеризоваться в β -изомеры при нагревании при 200 °С (для пиррола **3** при 150 °С) в течение 10 мин с количественным выходом (для пиррола **3** – 10%) (табл. 2). Увеличение времени нагревания до 30 мин выхода не снижает. Это говорит о том, что протекание термической изомеризации не зависит от структуры бензоина в отличие от $\alpha \rightarrow \beta$ -изомеризации в основной среде, где время превращения сильно зависит от электронного влияния гетерильного остатка [16]. Следовательно, термическое превращение протекает через эндиольную форму в результате кето-енольной таутомерии. В случае пиррола **3** при проведении термической изомеризации был выделен продукт тетрамеризации – порфирин **15**, структура которого подтверждается спектральными данными. Так, в его масс-спектре присутствует пик молекулярного иона при m/z 784. В спектре ЯМР ^1H присутствуют синглеты в области 5.41 и 6.25 м. д., отвечающие олефиновым и пиррольным протонам соответственно.



Поведение производных индола в этих условиях более сложно. Так, 1,2-диметилиндола **16** изомеризуется в β -изомер **17** с высоким выходом. В то же время индолы **7**, **18**, не содержащие заместителей в положении 2, образуют продукты димеризации индоло[3,2-*b*]карбазолы **19**, **20**. При этом в случае индола **7** наблюдается сильное осмоление и димер **19** удаётся выделить с низким выходом, тогда как N-метилиндола **18** образует димер **20** с высоким выходом. Структура димерных продуктов подтверждается масс-спектральными данными, в которых присутствуют соответствующие пики молекулярных ионов, тогда как в спектрах ЯМР ^1H положение сигналов мало отличается от сигналов соответствующих протонов исходных α -бензоинов [15].

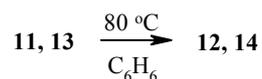


7, 19 R = H, 18, 20 R = Me

Образование полигетероциклических продуктов протекает, вероятно, как электрофильное алкилирование *орто*-положения гетероцикла бензильной гидроксигруппой с дальнейшим окислением, что приводит к образованию ароматической структуры. Найденная таким образом димеризация α -бензоинов является одним из новых способов синтеза индолокарбазолов [19].

β -Бензоины **2**, **4**, **6**, **8**, **10** при нагревании остаются устойчивыми, хотя при очень длительном (более 2 ч) нагревании происходит осмоление.

Гидразоны **11**, **13** образуют β -изомеры **12**, **14**, соответственно, даже в кипящем бензоле. Однако, по-видимому, в данном случае реализуется $\alpha \rightarrow \beta$ -изомеризация [16] под действием основной диметиламиногруппы.



Таким образом, нами показано, что основным направлением распада в масс-спектре несимметричных бензоинов является β -фрагментация с сохранением заряда на фрагменте с возможностью наибольшей делокализации положительного заряда. α -Бензоины способны термически изомеризоваться в β -изомеры.

Т а б л и ц а 2

Выход продуктов термической изомеризации α -бензоинов

Исходное соединение	Продукт	Т. пл. продукта, °С (растворитель)	Выход, %
1	2	167–168 (этанол) [12]	95
3	4	107–108 (гексан) [16]	10
	15	217–218 (метанол)	20
5	6	137–138 (этанол) [16]	96
7	19	299–301 (бензол)	10
9	10	150–151 (этанол) [16]	97
16	17	185 (этанол) [16]	89
18	19	213–215 (метанол)	91

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР ^1H измерены в DMCO-d_6 на приборе VarianVXR-300 (300 МГц), внутренний стандарт ТМС, ИК спектры – на приборе UR-20 в таблетках KBr, УФ спектры – на приборе Specord M-40 в ДМФА при длине поглощающего слоя 1 см. Масс-спектры записаны на приборе MX-1321 в режиме ЭУ при 70 эВ, система прямого ввода образца, температура ионизационной камеры – 160 °С (данные для бензоинов см. в табл. 1). Контроль за ходом реакции и чистотой полученных соединений осуществлялся методом ТСХ на пластинках Silufol UV-254 в системе бензол–ацетон, 5:1. Бензоины **1**, **3**, **5**, **7**, **9**, **16**, **18** [15], **4**, **6**, **8**, **10** [16] получены согласно известным методикам. Физико-химические характеристики β -бензоинов **2** [12], **4**, **6**, **10**, **17** [16] полностью согласуются с литературными данными.

Получение α -бензоинов 11, 12 (общая методика). К раствору 0.76 г (5.00 ммоль) гидрата фенилглиоксаля в 5 мл дихлорметана приливают раствор N,N-диметилгидразона фурфурола или N-метилпиррол-2-карбальдегида (5.00 ммоль) в 5 мл дихлорметана. Полученный раствор выдерживают 3 сут при комнатной температуре, сушат над Na_2SO_4 , фильтруют, упаривают в вакууме. Остаток кристаллизуют из гексана.

2-Гидрокси-2-[5-(диметилгидразонометил)фуран-2-ил]-1-фенилэтанон (11). Выход 86%. Желтый порошок. Т. пл. 136.5–137 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3430, 3140, 3000, 2940, 2875, 2805, 1690, 1600, 1575, 1290, 1230. УФ спектр, λ_{max} , нм ($\lg \epsilon$): 244.9 (3.94), 308.3 (4.23). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.87 (6H, с, $\text{N}(\text{CH}_3)_2$); 5.00 (1H, д, $J = 6.5$, CHOH); 6.19 (1H, д, $J = 6.5$, CHOH); 6.32 (1H, д, $J = 3.4$, H-3 Fur); 6.45 (1H, д, $J = 3.4$, H-4 Fur); 7.05 (1H, с, CH=N); 7.49 (2H, т, $J = 7.8$, H-3,5 Ph); 7.62 (1H, д, $J = 7.8$, H-4 Ph); 8.05 (2H, д, $J = 7.8$, H-2,6 Ph). Найдено, %: С 66.32; Н 5.81. $\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_3$. Вычислено, %: С 66.16; Н 5.92.

2-Гидрокси-2-[5-(диметилгидразонометил)-1-метил-1Н-пиррол-2-ил]-1-фенилэтанон (12). Выход 88%. Желтый порошок. Т. пл. 136–137 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3175, 2970, 2868, 1682, 1597, 1261, 1234, 1200, 1155, 1070, 1042, 1013, 990, 952, 920. УФ спектр, λ_{max} , нм ($\lg \epsilon$): 243.9 (4.06), 305.3 (4.20). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.30 (3H, с, CH_3 Pyr); 3.81 (1H, с, $\text{N}(\text{CH}_3)_2$); 5.63 (1H, д, $J = 7.6$, CHOH); 5.70 (1H, д, $J = 4.0$, H-3 Pyr); 6.03 (1H, д, $J = 4.0$, H-4 Pyr); 6.17 (1H, д, $J = 7.6$, CHOH); 7.25 (1H, с, CH=N); 7.43 (2H, т, $J = 8.6$, H-3,5 Ph); 7.57 (1H, д, $J = 8.6$, H-4 Ph); 7.90 (2H, д, $J = 8.06$, H-2,6 Ph). Найдено, %: С 67.36; Н 6.71. $\text{C}_{16}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_2$. Вычислено, %: С 67.35; Н 6.71.

Термическая изомеризация (общая методика). Выдерживают 1.5 ммоль α -бензоина при температуре 200 °С (150 °С в случае пиррола **3**) в течение 10 мин. Остаток охлаждают до комнатной температуры и кристаллизуют (табл. 2). Далее приведены характеристики полигетероциклических продуктов, образующихся в условиях термической изомеризации, и некоторые особенности проведения эксперимента.

Фенил(10,15,20-трибензил-21,22,23,24-тетраметил-21,22,23,24-тетрагидропорфирин-5-ил)метанон (15) получают кристаллизацией не растворившегося в гексане остатка. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3085, 2965, 1705, 1610, 1470, 1425, 1320, 1225, 1015. УФ спектр, λ_{max} , нм ($\lg \epsilon$): 284.1 (4.47). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.31 (12H, с, NCH_3); 5.41 (4H, с, H-7,8,17,18 Het); 6.25 (4H, с, H-2,3,12,13 Het); 7.46 (8H, т, $J = 7.8$, H-3,5 Ph); 7.56 (4H, т, $J = 7.8$, H-4 Ph); 7.95 (8H, д, $J = 7.8$, H-2,6 Ph). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 784 $[\text{M}]^+$ (3), 488 (14), 409 (11), 291 (37), 212 (21), 173 (18), 122 (14), 105 (100), 94 (94), 77 (65). Найдено, %: С 79.39; Н 5.10. $\text{C}_{52}\text{H}_{40}\text{N}_4\text{O}_4$. Вычислено, %: С 79.57; Н 5.14.

(11-Бензил-6,12-дигидро-6,12-диазаиндено[1,2-*b*]флуорен-5-ил)фенилэтанон (19). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3420, 3080, 1695, 1610, 1470, 1333, 1239, 1012. УФ спектр, λ_{max} , нм ($\lg \epsilon$): 284.8 (4.40). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 6.90 (2H, т, $J = 7.8$, H-3,9 Het); 7.30 (2H, т, $J = 7.8$, H-4,10 Het); 7.31 (2H, д, $J = 7.8$, H-2,8 Het); 7.45 (2H, д, $J = 7.8$, H-5,11 Het); 7.57 (4H, д, $J = 7.8$, H-3,5 Ph); 7.73 (2H, т, $J = 7.8$, H-4 Ph); 7.99 (4H, д, $J = 7.8$, H-2,6 Ph); 11.32 (2H, с, NH). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 464 $[\text{M}]^+$ (100), 359 (5), 245 (19), 179 (10), 105 (46), 77 (24). Найдено, %: С 82.70; Н 4.25. $\text{C}_{32}\text{H}_{20}\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: С 82.74; Н 4.34.

(11-Бензил-6,12-диметил-6,12-диазаиндено[1,2-*b*]флуорен-5-ил)фенилэтанон (20). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3076, 2958, 1704, 1610, 1490, 1382, 1345, 1219, 1010. УФ спектр, λ_{max} , нм ($\lg \epsilon$): 286.7 (4.45). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.53 (6H, с, NCH_3); 6.48 (2H, т, $J = 7.8$, H-3,9 Het); 6.98 (2H, т, $J = 7.8$, H-4,10 Het); 7.31 (2H, д, $J = 7.8$, H-2,8 Het); 7.38 (2H, д, $J = 7.8$, H-5,11 Het); 7.45 (4H, д, $J = 7.8$, H-3,5 Ph); 7.73 (2H, т, $J = 7.8$, H-4 Ph); 8.06 (4H, д, $J = 7.8$, H-2,6 Ph). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 492 $[\text{M}]^+$ (7), 388 (11), 273 (12), 249 (14), 144 (100), 105 (21), 77 (20). Найдено, %: С 82.84; Н 4.79. $\text{C}_{34}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: С 82.91; Н 4.91.

Изомеризация бензоинов 11, 12 (общая методика). Раствор 1.50 ммоль α -бензоина кипятят в 6 мл бензола 1 ч 30 мин. Охлаждают, выпавший осадок β -бензоина отфильтровывают и кристаллизуют из бензола.

2-Гидрокси-1-[5-(диметилгидразонометил)фуран-2-ил]-2-фенилэтанон (13). Выход 53%. Желтый порошок. Т. пл. 160–162 °С. ИК спектр, ν , см^{-1} : 3425, 3115, 2955, 2880, 1650, 1560, 1510, 1350, 1275. УФ спектр, λ_{max} , нм (lg ϵ): 293.8 (3.88), 375.4 (4.14). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.99 (6H, с, $\text{N}(\text{CH}_3)_2$); 5.70 (1H, д, $J = 5.1$, CHOH); 6.06 (1H, д, $J = 5.1$, CHOH); 6.54 (1H, д, $J = 3.6$, H-4 Fur); 7.09 (1H, с, $\text{CH}=\text{N}$); 7.28 (1H, д, $J = 7.5$, H-4 Ph); 7.32 (2H, т, $J = 7.5$, H-3,5 Ph); 7.47 (2H, д, $J = 7.5$, H-2,6 Ph); 7.65 (1H, д, $J = 3.6$, H-3 Fur). Найдено, %: С 66.15; Н 5.89. $\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_3$. Вычислено, %: С 66.16; Н 5.92.

2-Гидрокси-1-[5-(диметилгидразонометил)-1-метил-1H-пиррол-2-ил]-2-фенилэтанон (14). Выход 45%. Желтый порошок. Т. пл. 140–141 °С. ИК спектр, ν , см^{-1} : 3390, 3136, 2940, 2885, 2800, 1616, 1568, 1494, 1446, 1400, 1360, 1340, 1297, 1207, 1180, 1056, 1000, 931, 909. УФ спектр, λ_{max} , нм (lg ϵ): 254.1 (3.74), 367.1 (4.42). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.33 (6H, с, $\text{N}(\text{CH}_3)_2$); 3.69 (3H, с, CH_3 Pyr); 5.66 (1H, д, $J = 6.9$, CHOH); 5.77 (1H, д, $J = 6.9$, CHOH); 6.31 (1H, д, $J = 4.5$, H-4 Pyr); 7.17 (1H, с, $\text{CH}=\text{N}$); 7.23 (1H, д, $J = 4.5$, H-3 Pyr); 7.30 (1H, д, $J = 9.0$, H-4 Ph); 7.37 (2H, т, $J = 9.0$, H-3,5 Ph); 7.46 (2H, д, $J = 9.0$, H-2,6 Ph). Найдено, %: С 67.28; Н 6.59. $\text{C}_{16}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_2$. Вычислено, %: С 67.35; Н 6.71.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Украины (госрегистрация № 0104U000476).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Shi, J. E. T. Corrie, P. J. Wan, *J. Org. Chem.*, **62**, 8278 (1997).
2. W. Pei, S. Li, X. Nie, Y. Li, J. Pei, B. Chen, J. Wu, X. Ye, *Synthesis*, 1298 (1998).
3. P. Šimon, M. Landl, M. Breza, *Dyes & Pigments*, **43**, 227 (1999).
4. V. K. Pandey, A. Shukla, *Indian J. Chem.*, **38B**, 1381 (1999).
5. Y. Aoyagi, N. Agata, N. Shibata, M. Horiguchi, R. M. Williams, *Tetrahedron Lett.*, **41**, 10159 (2000).
6. M. S. Singh, G. Pandey, *Synth. Commun.*, **30**, 3589 (2000).
7. J. A. Mohan, *Indian J. Chem.*, **40B**, 368 (2001).
8. C. M. Gordon, C. Ritchie, *Green Chem.*, **4**, 124 (2002).
9. M. J. White, F. J. Leeper, *J. Org. Chem.*, **66**, 5124 (2001).
10. Y. Aoyagi, A. Iijima, R. M. Williams, *J. Org. Chem.*, **66**, 8010 (2001).
11. M. Pohl, B. Lingen, M. Müller, *Chem. Eur. J.*, **8**, 5288 (2002).
12. S. Yoshima, K. Yamamoto, *Yakugaku Zasshi*, **92**, 359 (1972); *Chem. Abstr.*, **77**, 5264 (1972).
13. M. R. Pokhrel, K. Janik, S. H. Bossmann, *Macromolecules*, **33**, 3577 (2000); и ссылки в ней.
14. A. Clerici, O. Porta, *J. Org. Chem.*, **58**, 2889 (1993).
15. S. P. Ivonin, A. V. Lapandin, A. A. Anishchenko, V. G. Shtamburg, *Synth. Commun.*, **34**, 451 (2004).
16. С. П. Ивонин, А. В. Лапандин, В. Г. Штамбург, *XTC*, 187 (2004).
17. P. L. Julian, W. Passler, *J. Am. Chem. Soc.*, **54**, 4756 (1932).
18. Z. Pawelka, E. S. Kryachko, T. Zeegers-Huyskens, *Chem. Phys.*, **287**, 143 (2003).
19. N. Wahlström, B. Stensland, J. Bergman, *Synthesis*, 1187 (2004).

Днепропетровский национальный университет,
Днепропетровск 49050, Украина
e-mail: ivonin@dp.ukrtel.net

Поступило в редакцию 07.06.2004

^aФизико-химический институт
им. А. В. Богатского НАН Украины,
Одесса 65080
e-mail: chemtor@paco.net