

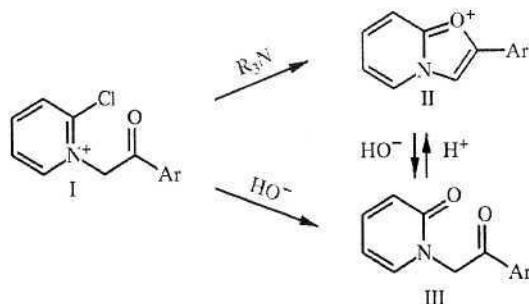
Е. В. Бабаев, В. Б. Рыбаков, С. Г. Жуков,
И. А. Орлова

ГЕТЕРОЦИКЛЫ С МОСТИКОВЫМ АТОМОМ АЗОТА

10*. НЕОЖИДАННОЕ ЗАМЫКАНИЕ ОКСАЗОЛЬНОГО ЦИКЛА
ПРИ РЕАКЦИИ СОЛИ 1-ФЕНАЦИЛ-2-ХЛОРПИРИДИНИЯ
С ЦИАНАТОМ КАЛИЯ. КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА БРОМИДА
2-(*para*-НИТРОФЕНИЛ)ОКСАЗОЛО[3,2-*a*]ПИРИДИНИЯ
И N-(*para*-НИТРОФЕНАЦИЛ)ПИРИДОНА-2

Обнаружено образование бромида 2-(*para*-нитрофенил)оксазолпиридиния при реакции бромида N-(*para*-нитрофенил)-2-хлорпиридиния с цианатом калия в ацетонитриле. При проведении той же реакции в метаноле выделен N-(*para*-нитрофенил)пиридон-2. Структура полученных соединений доказана данными РСА.

Соли 2-галоген-1-фенацилпиридиния I являются полезными интермедиами в синтезе разнообразных гетероциклов, в частности мостиковых имидазо[1,2-*a*]пиридинов [2], тиазоло[3,2-*a*]пиридинов [3], индолизинов [4], оксазолилбутадиенов [5] и ряда других систем. Ключевая особенность реакционной способности солей I заключена в возможности легкого нуклеофильного замещения галогена в положении 2. Такой процесс может протекать не только межмолекулярно, но и внутримолекулярно. Так, под действием стерически затрудненных аминов фенацильная группа солей I енолизуется, и образующиеся енол-бетаины подвергаются внутримолекулярной циклизации (с вытеснением галогена у атома C(2)) в катионы оксазо[3,2-*a*]пиридиния II [6]. Со щелочами соли I (как и соли II) образуют фенацилпиридоны III. В свою очередь, пиридоны III служат удобными предшественниками для получения солей оксазолпиридиния II. Взаимосвязь соединений I, II, III представлена на схеме.

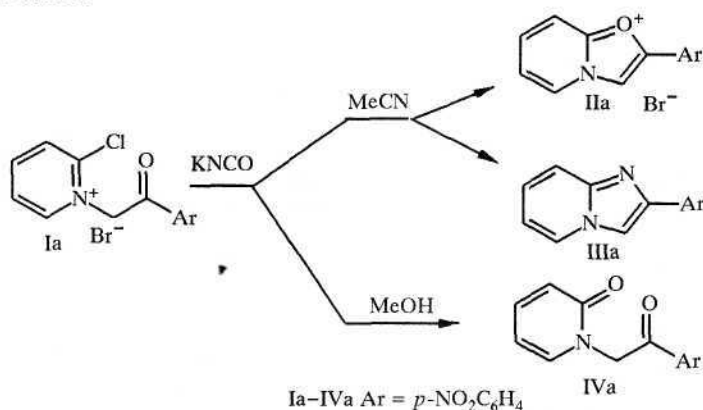


Продолжая исследование реакционной способности солей I с нуклеофилами, мы изучили взаимодействие бромида 1-(*para*-нитрофенил)-2-хлорпиридиния (Ia) с цианатом калия. Мы полагали, что амбидентный цианат-анион мог бы выступать в качестве нуклеофила, вытесняя атом галогена в пиридиниевой соли с возможностью последующей гетероциклизации с участием цианатной и фенацильной групп.

При проведении реакции между солью Ia и $KNCO$ в ацетонитриле было выделено желтое кристаллическое вещество. Отобранный монокристалл, согласно данным рентгеноструктурного анализа, соответствовал бромиду 2-(*para*-нитрофенил)оксазо[3,2-*a*]пиридиния (IIa).

* Сообщение 9 см. [1].

В спектре ПМР полученного соединения действительно присутствовали ожидаемые сигналы оксазоло[3,2-*a*]пиридиния (ср. [7]). Между тем, в том же спектре присутствовали дополнительные сигналы ароматических протонов, расположенные в более сильном поле (6,8...7,6 м. д.). Положение и мультиплетность этих дополнительных пиков отвечали фрагменту $\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}$, типичному, например, для пиридинового фрагмента незаряженных азолопиридинов с мостиковым атомом азота, что позволяло предположить присутствие в смеси с бромидом IIa минорной примеси ковалентного вещества. При экстракции этилацетатом из полученных кристаллов удалось выделить соединение, идентичное по свойствам 2-(*para*-нитрофенил)имидазо[1,2-*a*]пиридину (IIIa). Согласно спектральным данным, соотношение IIa : IIIa составляет 5:1. Степень превращения исходной соли весьма велика — выходы соединений IIa и IIIa 83 и 16% соответственно.



В аналогичной реакции между цианатом калия и солью Ia в метаноле было выделено единственное вещество, представляющее собой, по данным РСА, *N*-(*para*-нитрофенил)пиридон-2 (IVa).

Геометрия молекул IIa и IVa приведена на рис. 1, 2; координаты атомов, длины связей и валентные углы — в табл. 1—6. В случае бромида IIa молекула представляет собой кристаллогидрат. Ядро оксазолопиридиния в молекуле IIa плоское, причем фенильная группа лежит практически в плоскости гетероцикла, а угол поворота нитрогруппы составляет лишь 9°.

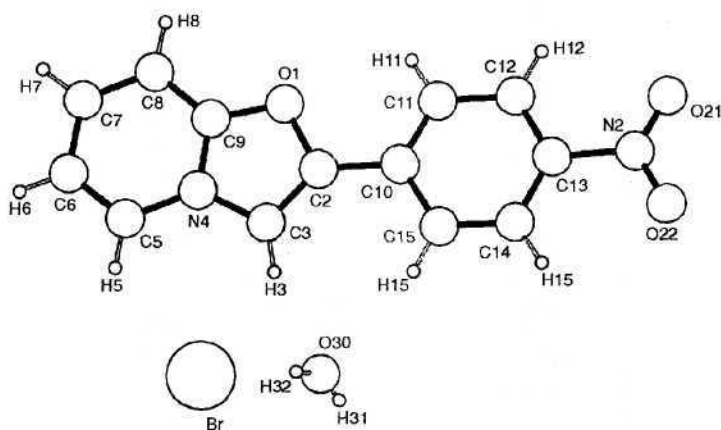


Рис. 1. Нумерация атомов и структура соединения IIa

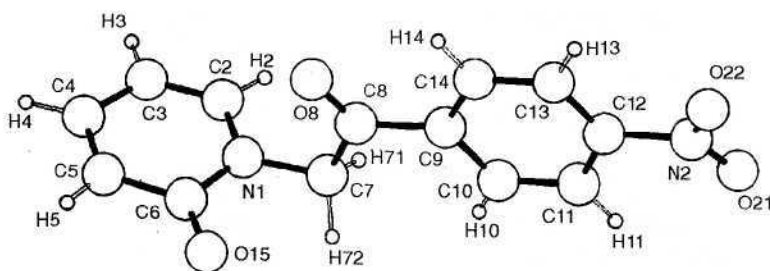


Рис. 2. Нумерация атомов и структура соединения IVa

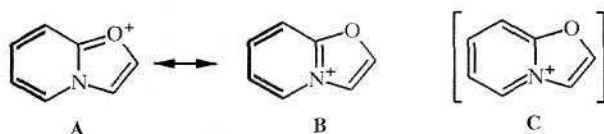
Таблица 1

Координаты атомов ($\times 10^4$) и эквивалентные изотропные параметры ($U_{\text{экв}} \times 10^3$) в исследованной структуре IIa

Атом	x	y	z	$U_{\text{экв}}$
Br	8831 (1)	8069(1)	6870(1)	49(1)
O(1)	13698(2)	6006(1)	8186(2)	38(1)
C(2)	11950(3)	6216(1)	6796(3)	36(1)
C(3)	12478(3)	6604(1)	6258(3)	37(1)
N(4)	14593(2)	6644(1)	7340(3)	32(1)
C(5)	15949(4)	6978(1)	7422(4)	42(1)
C(6)	17950(4)	6923(1)	8645(4)	51(1)
C(7)	18639(4)	6539(1)	9807(4)	48(1)
C(8)	17309(3)	6210(1)	9739(3)	40(1)
C(9)	15271(3)	6278(1)	8497(3)	34(1)
C(10)	10031(3)	5970(1)	6264(3)	35(1)
C(11)	10043(3)	5561(1)	7029(4)	49(1)
C(12)	8189(4)	5335(1)	6553(4)	51(1)
C(13)	6429(3)	5525(1)	5258(3)	43(1)
C(14)	6368(3)	5937(1)	4441(4)	42(1)
C(15)	8182(3)	6159(1)	4916(3)	36(1)
N(2)	4459(3)	5282(1)	4776(4)	59(1)
O(21)	4560(4)	4906(1)	5358(4)	95(1)
O(22)	2855(3)	5473(1)	3771(4)	82(1)
O(30)	18693(3)	7258(1)	13630(3)	58(1)
H(3)	11657(34)	6808(7)	5404(35)	33(6)
H(5)	15519(34)	7232(7)	6650(35)	39(7)
H(6)	18858(37)	7149(9)	8705(36)	50(7)
H(7)	19974(36)	6498(7)	10623(35)	49(7)
H(8)	17741(37)	5962(7)	10427(35)	45(7)
H(11)	11178(37)	5433(8)	7933(34)	46(7)
H(12)	8207(32)	5071(8)	7080(36)	47(7)
H(14)	5189(35)	6063(7)	3619(34)	36(6)
H(15)	8126(34)	6423(8)	4410(34)	36(6)
H(31)	8066(40)	7264(8)	2837(38)	57(8)
H(32)	8824(36)	7450(7)	4396(37)	40(7)

В молекуле фенацилпиридона IVa карбонильная группа лежит в плоскости фенильного кольца, тогда как нитрогруппа отклоняется от этой плоскости на 13°; плоскость фенацильной группы располагается практически ортогонально плоскости пиридинового фрагмента.

При анализе структуры катиона IIa можно обратить внимание на следующую особенность. Для конденсированных катионов II теоретически возможно нарисовать три резонансных структуры A, B и C:



Из данных рентгеноструктурного анализа молекулы IIa однозначно следует, что шестичленный фрагмент бицикла II содержит бутадиеновый фрагмент, т. е. является «пиридоновым», а не «пиридиновым». Другими словами, резонансная структура C не вносит существенного вклада, а потому методически более правильно рассматривать геометрию катиона II как суперпозицию двух структур A и B с отчетливым альтернированием существенно простых и существенно двойных связей. Таким образом, «резонанс» имеет место исключительно между фрагментами $N^+=C-O$ и $N-C=O^+$ пятичленного цикла. Еще более поучительно сопоставление длин связей в «пиридоновом» фрагменте $N-C=C-C=C-C=O$ молекулы IIa и пиридона IVa:

	$N-C=C-C=C-C=O$					
IIa	1,38	1,35	1,40	1,36	1,38	1,33
IVa	1,36	1,33	1,41	1,36	1,44	1,23

Как видно, численные значения длин связей во фрагментах $N-C=C-C=C$ обеих молекул практически совпадают.

Для объяснения механизма несколько неожиданных циклизаций пиридина Ia под действием KNCO в соединения IIa и IIIa можно предположить, что в реакционной среде присутствует (или появляется) сильное основание, вызывающее конверсию $I \rightarrow II$ через стадию внутримолекулярной циклизации енол-бетаина. Основность самого цианат-аниона (pK_b 10,1) явно недостаточно высока, чтобы вызвать депротонирование фенацильной группы в соли Ia. (Показано, что такая реакция протекает лишь с высокоосновными аминами [2]). Вероятнее всего, действие следов влаги ведет к образованию неустойчивого карбамата — сильного основания и источника аммиака, что и приводит к образованию как оксазолопиридиния IIa, так и имидазопиридина IIIa. Менее вероятно образование соединений IIa и IIIa за счет нуклеофильной атаки амбидентного цианат-иона с вытеснением атома хлора в положении 2. В этом случае механизм циклизации образующихся ионных интермедиатов в молекулы IIa и IIIa не является очевидным, и в дальнейшем мы намереемся прояснить эту проблему детальнее.

Длины связей в молекуле Па

Связь	l , Å	Связь	l , Å
O(1)—C(9)	1,333(3)	C(8)—H(8)	0,89(2)
O(1)—C(2)	1,393(2)	C(10)—C(11)	1,355(3)
C(2)—C(3)	1,338(3)	C(10)—C(15)	1,401(3)
C(2)—C(10)	1,462(3)	C(11)—C(12)	1,397(4)
C(3)—N(4)	1,391(3)	C(11)—H(11)	0,89(2)
C(3)—H(3)	0,90(2)	C(12)—C(13)	1,351(3)
N(4)—C(9)	1,350(3)	C(12)—H(12)	0,88(2)
N(4)—C(5)	1,382(3)	C(13)—C(14)	1,371(4)
C(5)—C(6)	1,348(3)	C(13)—N(2)	1,492(3)
C(5)—H(5)	0,92(2)	C(14)—C(15)	1,368(3)
C(6)—C(7)	1,398(4)	C(14)—H(14)	0,89(2)
C(6)—H(6)	0,93(3)	C(15)—H(15)	0,88(2)
C(7)—C(8)	1,359(4)	N(2)—O(21)	1,211(3)
C(7)—H(7)	0,90(2)	N(2)—O(22)	1,223(3)
C(8)—C(9)	1,376(3)		

Таблица 3

Валентные углы в молекуле Па

Угол	ω , град.	Угол	ω , град.
C(9)—O(1)—C(2)	106,6(2)	O(1)—C(9)—C(8)	127,5(2)
C(3)—C(2)—O(1)	109,5(2)	N(4)—C(9)—C(8)	122,9(2)
C(3)—C(2)—C(10)	135,4(2)	C(11)—C(10)—C(15)	120,3(2)
O(1)—C(2)—C(10)	115,2(2)	C(11)—C(10)—C(2)	120,4(2)
C(2)—C(3)—N(4)	106,3(2)	C(15)—C(10)—C(2)	119,4(2)
C(2)—C(3)—H(3)	128(2)	C(10)—C(11)—C(12)	119,7(2)
N(4)—C(3)—H(3)	125(2)	C(10)—C(11)—H(11)	123(2)
C(9)—N(4)—C(5)	120,2(2)	C(12)—C(11)—H(11)	117(2)
C(9)—N(4)—C(3)	108,1(2)	C(13)—C(12)—C(11)	118,8(2)
C(5)—N(4)—C(3)	131,7(2)	C(13)—C(12)—H(12)	122,0(14)
C(6)—C(5)—N(4)	118,2(2)	C(11)—C(12)—H(12)	119,2(14)
C(6)—C(5)—H(5)	120,1(14)	C(12)—C(13)—C(14)	122,9(2)
N(4)—C(5)—H(5)	121,7(14)	C(12)—C(13)—N(2)	118,2(2)
C(5)—C(6)—C(7)	121,0(2)	C(14)—C(13)—N(2)	118,9(2)
C(5)—C(6)—H(6)	118,0(14)	C(15)—C(14)—C(13)	118,3(2)
C(7)—C(6)—H(6)	120,9(14)	C(15)—C(14)—H(14)	120(2)
C(8)—C(7)—C(6)	121,0(2)	C(13)—C(14)—H(14)	122(2)
C(8)—C(7)—H(7)	117(2)	C(14)—C(15)—C(10)	120,0(2)
C(6)—C(7)—H(7)	122(2)	C(14)—C(15)—H(15)	117,7(14)
C(7)—C(8)—C(9)	116,7(2)	C(10)—C(15)—H(15)	122,2(14)
C(7)—C(8)—H(8)	122(2)	O(21)—N(2)—O(22)	124,4(2)
C(9)—C(8)—H(8)	122(2)	O(21)—N(2)—C(13)	117,8(2)
O(1)—C(9)—N(4)	109,6(2)	O(22)—N(2)—C(13)	117,8(2)

Координаты атомов ($\times 10^4$) и эквивалентные изотропные параметры ($U_{\text{экв}} \times 10^3$) в исследованной структуре IVa

Атом	x	y	z	$U_{\text{экв}}$
N(1)	-1588(2)	-1158(2)	10214(2)	40(1)
C(2)	-3110(3)	-2162(3)	9752(2)	49(1)
C(3)	-4458(3)	-2319(3)	10420(2)	54(1)
C(4)	-4342(3)	-1405(3)	11616(2)	53(1)
C(5)	-2846(3)	-389(3)	12078(2)	52(1)
C(6)	-1344(3)	-223(3)	11394(2)	46(1)
C(7)	-209(3)	-965(3)	9403(2)	46(1)
C(8)	-875(3)	304(2)	8311(2)	40(1)
O(8)	-2299(2)	1067(2)	8244(2)	62(1)
C(9)	275(3)	542(3)	7279(2)	39(1)
C(10)	1963(3)	-278(3)	7351(2)	49(1)
C(11)	3008(3)	-31(3)	6412(2)	56(1)
C(12)	2319(3)	1089(3)	5386(2)	48(1)
C(13)	673(3)	1928(3)	5292(2)	55(1)
C(14)	-350(3)	1647(3)	6234(2)	47(1)
N(2)	3466(2)	1473(4)	4390(2)	75(1)
O(21)	4625(3)	499(4)	4285(2)	123(1)
O(22)	3106(3)	2667(3)	3732(2)	82(1)
O(15)	70(2)	649(2)	11774(2)	61(1)
H(2)	-3133(27)	-2808(28)	8981(21)	50(6)
H(3)	-5494(31)	-3112(34)	10143(25)	72(8)
H(4)	-5346(24)	-1477(25)	12131(19)	42(5)
H(5)	-2652(31)	151(31)	12855(23)	70(8)
H(71)	-213(31)	-1868(34)	8867(24)	71(8)
H(72)	1159(25)	-739(29)	10116(21)	47(6)
H(10)	2365(35)	-1000(38)	8018(25)	92(10)
H(11)	4209(29)	-576(30)	6471(22)	60(7)
H(13)	217(33)	2696(34)	4560(24)	80(8)
H(14)	-1572(34)	2269(37)	6147(27)	90(9)

Таблица 5

Длины связей в молекуле IVa

Связь	$l, \text{Å}$	Связь	$l, \text{Å}$
N(1)—C(2)	1,364(3)	C(8)—C(9)	1,502(3)
N(1)—C(6)	1,388(3)	C(9)—C(10)	1,386(3)
N(1)—C(7)	1,453(3)	C(9)—C(14)	1,384(3)
C(2)—C(3)	1,328(3)	C(10)—C(11)	1,370(3)
C(2)—H(2)	0,94(2)	C(10)—H(10)	0,89(3)
C(3)—C(4)	1,405(3)	C(11)—C(12)	1,386(3)
C(3)—H(3)	0,99(3)	C(11)—H(11)	0,97(2)
C(4)—C(5)	1,357(3)	C(12)—C(13)	1,365(3)
C(4)—H(4)	1,00(2)	C(12)—N(2)	1,495(3)
C(5)—C(6)	1,436(3)	C(13)—C(14)	1,365(3)
C(5)—H(5)	0,87(2)	C(13)—H(13)	0,97(3)
C(6)—O(15)	1,230(3)	C(14)—H(14)	1,01(3)
C(7)—C(8)	1,519(3)	N(2)—O(22)	1,217(4)
C(7)—H(71)	0,95(3)	N(2)—O(21)	1,216(4)
C(7)—H(72)	1,03(2)	C(8)—O(8)	1,202(3)

Валентные углы в молекуле IVa

Угол	ω , град.	Угол	ω , град.
C(2)—N(1)—C(6)	122,9(2)	O(8)—C(8)—C(9)	120,8(2)
C(2)—N(1)—C(7)	119,7(2)	O(8)—C(8)—C(7)	121,6(2)
C(6)—N(1)—C(7)	117,2(2)	C(9)—C(8)—C(7)	117,6(2)
C(3)—C(2)—N(1)	121,7(2)	C(10)—C(9)—C(14)	118,6(2)
C(3)—C(2)—H(2)	119,9(13)	C(10)—C(9)—C(8)	122,6(2)
C(3)—C(4)—H(4)	121,4(11)	C(12)—C(11)—H(11)	120,2(14)
N(1)—C(2)—H(2)	118,2(13)	C(14)—C(9)—C(8)	118,8(2)
C(2)—C(3)—C(4)	119,3(2)	C(11)—C(10)—C(9)	121,8(2)
C(2)—C(3)—H(3)	122,2(2)	C(11)—C(10)—H(10)	119(2)
C(4)—C(3)—H(3)	119(2)	C(9)—C(10)—H(10)	119(2)
C(5)—C(4)—C(3)	119,6(2)	C(10)—C(11)—C(12)	117,3(2)
C(5)—C(4)—H(4)	119,0(11)	C(10)—C(11)—H(11)	122,5(14)
C(4)—C(5)—C(6)	122(2)	C(13)—C(12)—C(11)	122,5(2)
C(4)—C(5)—H(5)	123(2)	C(13)—C(12)—N(2)	117,8(2)
C(6)—C(5)—H(5)	115(2)	C(11)—C(12)—N(2)	119,6(2)
O(15)—C(6)—N(1)	120,2(2)	C(12)—C(13)—C(14)	119,0(2)
O(15)—C(6)—C(5)	125,5(2)	C(12)—C(13)—H(13)	121(2)
N(1)—C(6)—C(5)	114,3(2)	C(14)—C(13)—H(13)	120(2)
N(1)—C(7)—C(8)	110,9(2)	C(13)—C(14)—C(9)	120,8(2)
N(1)—C(7)—H(71)	109(2)	C(13)—C(14)—H(14)	118(2)
C(8)—C(7)—H(71)	106(2)	C(9)—C(14)—H(14)	121(2)
N(1)—C(7)—H(72)	107,9(12)	O(22)—N(2)—O(21)	126,7(2)
C(8)—C(7)—H(72)	111,4(14)	O(22)—N(2)—C(12)	118,3(2)
H(71)—C(7)—H(72)	112(2)	O(21)—N(2)—C(12)	114,8(3)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Взаимодействие бромида 1-фенацил-2-хлорпиридиния Ia с цианатом калия. К суспензии 0,4 г (1,1 ммоль) соли Ia в 5 мл ацетонитрила добавляют 0,17 г (2,1 ммоль) измельченного цианата калия и нагревают 12 ч. Выпавший осадок (0,43 г) отфильтровывают, перекристаллизовывают из этанола и используют для съемки спектра ПМР и рентгеноструктурного анализа. Спектр ПМР (400 МГц, ДМСО- d_6): сигналы катиона Ia 9,80 (1H, с, 3-H); 9,41 (1H, д, 5-H, $J = 7$ Гц); 8,40 (4H, м, *p*-NO₂Ph); 8,02 (1H, д, д, 6-H); сигналы молекулы IIIa 8,22 (4H, м, *p*-NO₂Ph); 7,54 (1H, д, 8-H, $J = 9$ Гц); 7,24 (1H, д, д, 7-H, $J = 7$ Гц); 6,87 (1H, д, д, 6-H, $J = 7$ Гц); сигналы протонов в области 8,50...8,65 для обеих молекул перекрываются.

При кипячении образца кристаллов с этилацетатом и упаривании отфильтрованного раствора выделено соединение, идентичное по свойствам ($T_{пл}$, хроматографическое поведение) 2-(*пара*-нитрофенил)имидазо[1,2-*a*]пиридину (IIIa).

При проведении реакции между солью Ia и KNCO (с тем же соотношением реагентов) в метаноле выделен *N*-(*пара*-нитрофенацил)пиридон-2 (IVa); выход 40%.

Рентгеноструктурное исследование кристалла соединения IIa проведено на автоматическом монокристалльном дифрактометре CAD-4 [8] на излучении λ MoK α . Параметры элементарной ячейки определяли и уточняли в интервале 14...16° углов θ по 25 рефлексам с кристалла размерами 0,4×0,4×0,3 мм. Кристаллы изученного соединения относятся к моноклинной сингонии (пространственная группа Cc) с параметрами $a = 7,034(3)$, $b = 30,492(9)$, $c = 6,938(4)$ Å, $\beta = 112,50(4)^\circ$, $V = 1374,8(10)$ Å³, $Z = 4$. Структура решена прямыми методами с использованием программного комплекса SHELXS-97 [9] по 3729 рефлексам лежащих в области углов θ 1...28° и уточнена полноматричным МНК по программному комплексу SHELXL-97 [10] в анизотропном

приближении неводородных атомов. Координаты атомов водорода локализованы из разностного синтеза электронной плотности и уточнялись в изотропном приближении. Окончательный R -фактор имеет значение 0,0547 по 3320 независимым отражениям с $I > 2\sigma(I)$.

Позиционные параметры атомов в исследованном соединении и изотропные тепловые параметры, эквивалентные соответствующим анизотропным, приведены в табл. 1. Межатомные расстояния и валентные углы представлены в табл. 2 и 3. Пространственное расположение атомов в молекуле и их нумерация показаны на рис. 1 [11].

Рентгеноструктурное исследование кристалла соединения IVa проведено на автоматическом монокристалльном дифрактометре CAD-4 [8] на излучении $\lambda_{\text{MoK}\alpha}$. Параметры элементарной ячейки определяли и уточняли в интервале $14...16^\circ$ углов θ по 25 рефлексам с кристалла размерами $0,5 \times 0,3 \times 0,3$ мм. Кристаллы изученного соединения относятся к моноклинной сингонии (пространственная группа $P2_1$) с параметрами $a = 7,133(2)$, $b = 8,778(10)$, $c = 9,8333(12)$ Å, $\beta = 107,87(1)^\circ$, $V = 586,0(7)$ Å³, $Z = 2$. Структура решена прямыми методами с использованием программного комплекса SHELXS-97 [9] по 1188 рефлексам лежащих в области углов θ $2...27^\circ$ и уточнена полноматричным МНК по программному комплексу SHELXL-97 [10] в анизотропном приближении неводородных атомов. Координаты атомов водорода локализованы из разностного синтеза электронной плотности и уточнялись в изотропном приближении. Окончательный R -фактор имеет значение 0,0525 по 1121 независимым отражениям с $I > 2\sigma(I)$.

Позиционные параметры атомов в исследованном соединении и изотропные тепловые параметры, эквивалентные соответствующим анизотропным, приведены в табл. 4. Межатомные расстояния и валентные углы представлены в табл. 5 и 6. Пространственное расположение атомов в молекуле и их нумерация показаны на рис. 2 [11].

Авторы признательны фонду РФФИ за финансирование работ (гранты 99-03-33076) и финансовую поддержку в оплате лицензии на пользование Кембриджским банком структурных данных (проект 96-07-89187).*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаев Е. В., Ефимов А. В. // ХГС. — 1997. — № 7. — С. 998.
2. Bradsher C. K., Brandau R. D., Boilek J. E., Hough T. L. // J. Org. Chem. — 1969. — Vol. 34. — P. 2129.
3. Blank B., DiTullio N. W., Krog A. J., Saunders H. L. // J. Med. Chem. — 1978. — Vol. 21. — P. 489.
4. Nugent R. A., Murphy M. // J. Org. Chem. — 1987. — Vol. 52. — P. 2206.
5. Бабаев Е. В., Цицевич А. А. // ХГС. — 1998. — № 2. — С. 278.
6. Pauls H., Krohnke F. // Chem. Ber. — 1976. — Bd 109. — S. 3653.
7. Babaev E. V., Efimov A. V., Maiboroda D. A., Jug K. // Europ. J. Org. Chem. — 1998. — N 1. — P. 193.
8. Enraf-Nonius CAD-4 Software. Version 5.0. Enraf-Nonius, Delft, The Netherlands, 1989.
9. Sheldrick G. M. / SHELXS-97. Program for the Solution of Crystal Structures. University of Göttingen. Germany, 1997.
10. Sheldrick G. M. / SHELXL-97. Program for the Refinement of Crystal Structures. University of Göttingen. Germany, 1997.
11. Spek A. L. / PLUTON-92. Molecular Graphics Program. University of Utrecht. The Netherlands, 1992.