



Научная статья

УДК 547.793.4

DOI: 10.52957/2782-1900-2026-7-2-36-43

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ 2,5-ДИЗАМЕЩЕННЫХ 1,3,4-ОКСАДИАЗОЛОВ

Ю.Р. Юсифова¹, А.А. Фирстова¹, А.С. Лебедев²

Юлия Руслановна Юсифова, студент; Анастасия Андреевна Фирстова, канд. хим. наук, доцент;
Антон Сергеевич Лебедев, канд. хим. наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», 150023, Россия, г. Ярославль,
Московский пр., д. 88; fristovaaa@ystu.ru

²ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», 150003, Россия, г. Ярославль,
ул. Советская, д. 14.

Ключевые слова:
1,3,4-оксадиазолы;
циклизация,
твердофазный метод

Аннотация. Разработан эффективный метод синтеза 2,5-дизамещенных 1,3,4-оксадиазолов, включающий получение исходных гидразидов ароматических кислот, их превращение в N-ацилгидразоны и последующую окислительную циклизацию с использованием системы I₂/K₂CO₃ в среде ДМСО. Показано, что предложенный подход обеспечивает высокие выходы целевых 1,3,4-оксадиазолов (до 78%).

Для цитирования:

Юсифова Ю.Р., Фирстова А.А., Лебедев А.С. Перспективный подход к синтезу 2,5-дизамещенных 1,3,4-оксадиазолов // От химии к технологии шаг за шагом. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 36-43.
URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/7273/view>

Введение

Производные 1,3,4-оксадиазола занимают особое место в современной органической химии благодаря уникальному сочетанию высокой термической и химической стабильности, разнообразию методов синтеза и широким возможностям структурной модификации. Интерес к этим соединениям неуклонно растет, что обусловлено их универсальностью и востребованностью в самых разных областях: от медицинской химии до создания функциональных материалов для оптоэлектроники.

1,3,4-Оксадиазолы широко используются в оптоэлектронике в качестве эффективных люминофоров и материалов для органических светоизлучающих диодов (OLED) [1]. Благодаря высокой термической стабильности, устойчивости к окислению и способности к электронному транспорту, производные оксадиазолов применяются при создании эмиссионных и электрон-транспортных слоев в дисплеях. Известно, что такие компании, как Samsung и LG [2], активно используют OLED-технологии на основе подобных материалов в своих смартфонах и телевизорах, что подтверждает их практическую значимость и высокие эксплуатационные характеристики



Химический состав оксадиазолов, в частности 1,3,4-оксадиазолов, привлекает внимание исследователей благодаря разнообразию методов их синтеза и перспективам применения в медицинской и полимерной химии [3].

Способы синтеза 1,3,4-оксадиазолов основаны на реакциях конденсации и последующей циклизации производных карбоновых кислот с карбонильными соединениями [4, 5].

Также одним из методов получения 2,5-дизамещенных 1,3,4-оксадиазолов является циклизация под действием агентов: POCl_3 , H_2SO_4 , P_2O_5 [6-8, 9-11]. Однако использование ультразвука [12] показывает значительное сокращение времени протекания реакции, а также достижение высокого выхода целевого продукта.

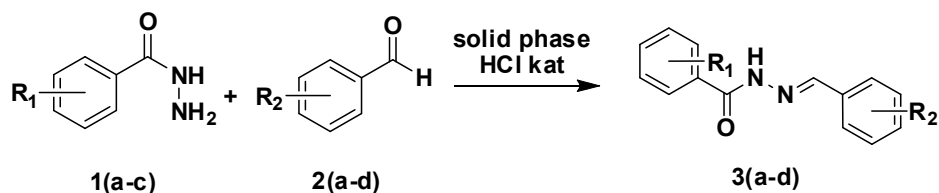
Целью работы является разработка простого и эффективного метода синтеза 2,5-дизамещенных 1,3,4-оксадиазолов, содержащих различные ароматические заместители.

Основная часть

В качестве исходных соединений были выбраны замещенные бензгидразиды **1**, что обусловлено их доступностью и высокой реакционной способностью. Бензгидразиды **1** вводили в реакцию с ароматическими альдегидами **2** с получением *N*-ацилгидразинов **3**. Обычно данную реакцию проводят в среде уксусного ангидрида или смеси уксусный ангидрид / уксусная кислота [13-15]. Известен одностадийный синтез 2,5-дизамещенных 1,3,4-оксадиазолов, которые получают непосредственно из ацилгидрида и ароматических альдегидов с использованием 1,4-бис(трифенилфосфоний)-2-бутенпероксодисульфата (ВТРВР) в качестве окислителя в неводных и апротонных растворителях [16]. Данные методы имеют ряд недостатков: применение агрессивных растворителей, сложные и дорогие реагенты, низкий выход целевых продуктов.

Нами предложен твердофазный метод синтеза, отличающийся от классического твердофазного метода [17-20] тем, что данная реакция не требует наличия полимерного линкера, реагенты доступны, выход целевых продуктов от 79 до 100%. Отсутствие растворителя, нагревания делает метод применимым в концепции «зеленой» химии.

Взаимодействие альдегида с гидразидом карбоновой кислоты протекает в твердой фазе и катализируется соляной кислотой (Схема 1). Выход продукта от 79 до 100%.



1: $\text{R}_1 = \text{H}$ (a), $\text{R}_1 = 4\text{-Cl}$ (b), $\text{R}_1 = 2\text{-OH}$ (c);

2: $\text{R}_2 = \text{H}$ (a), $\text{R}_2 = 4\text{-Cl}$ (b), $\text{R}_2 = 2,4\text{-OMe}$ (c), $\text{R}_2 = 2\text{-OH}$ (d);

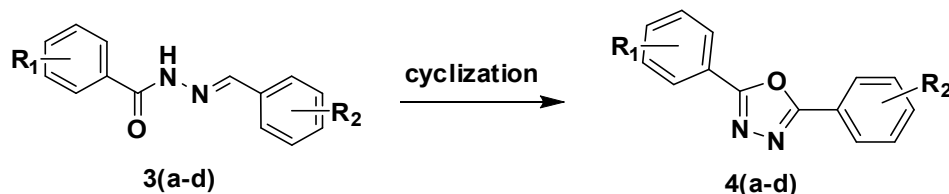
3: $\text{R}_1 = \text{H}$, $\text{R}_2 = \text{H}$ (a); $\text{R}_1 = 4\text{-Cl}$, $\text{R}_2 = 4\text{-Cl}$ (b); $\text{R}_1 = 4\text{-Cl}$, $\text{R}_2 = 2,4\text{-OMe}$ (c); $\text{R}_1 = 2\text{-OH}$, $\text{R}_2 = 2\text{-OH}$ (d)

Схема 1

Таблица 1. Выходы продуктов **3(a-d)**

№	Соединение 3	R ₁ , R ₂	Выход, %
1	a	R ₁ = H, R ₂ = H	100
2	b	R ₁ = 4-Cl, R ₂ = 4-Cl	84
3	c	R ₁ = 4-Cl, R ₂ = 2,4-OMe	79
4	d	R ₁ = 2-OH, R ₂ = 4-OH	80

Далее полученные *N*-ацилгидразоны **3(a-d)** без дополнительной очистки вводили в реакцию циклизации с целью получения оксадиазольного кольца.



3, 4: R₁ = H, R₂ = H (**a**); R₁ = 4-Cl, R₂ = 4-Cl (**b**); R₁ = 4-Cl, R₂ = 2,4-OMe (**c**); R₁ = 2-OH, R₂ = 2-OH (**d**)

Схема 2

При использовании методик циклизации, включающих такие системы как POCl₃/толуол, POCl₃/ДМФА, КДИ/ТГФ, наблюдались примеси исходных соединений. Такой подход имеет ряд недостатков: необходимость дополнительной очистки, низкий выход, сложность выделения продуктов.

Для синтеза 2,5-дизамещенных 1,3,4-оксадиазолов нами применена система I₂/K₂CO₃ в среде ДМСО. Данный метод является наиболее эффективным и универсальным, позволяя получать целевые продукты с выходом до 78% и высокой степенью чистоты. Также был опробован твердофазный метод с использованием системы I₂/K₂CO₃, что позволило добиться хороших результатов. В дальнейшей работе нами опробован *one-pot* синтез, который позволил получить продукты с высоким выходом, без дополнительной очистки, без применения нагревания, растворителей, а также сократить время реакции.

Таблица 2. Выходы продуктов **4(a-d)**

№	Соединение 4	R ₁ , R ₂	Выход, %
1	a	R ₁ = H, R ₂ = H	61
2	b	R ₁ = 4-Cl, R ₂ = 4-Cl	71
3	c	R ₁ = 4-Cl, R ₂ = 2,4-OMe	75
4	d	R ₁ = 2-OH, R ₂ = 4-OH	78

Строение полученных соединений подтверждено методами спектрального анализа: ИК-спектроскопией, ЯМР-спектроскопией и масс-спектрометрией.

Так, для 2-(4-хлорфенил)-5-(3,5-диметоксифенил)-1,3,4-оксадиазола **4e** в ИК спектре наблюдаются характеристические полосы 3089, 3066 см⁻¹, которые соответствуют колебаниям С-Н ароматических колец, полосы 2989, 2942, 2838 см⁻¹ соответствуют колебаниям свободной -CH₃ группе. Далее характеристические полосы 1553 см⁻¹ и 1534 см⁻¹, которые соответствуют связи С=N оксадиазольного кольца, характеристические полосы 1274 см⁻¹ и 1238 см⁻¹ колебания С-О-С в гетероциклическом кольце, связь С-Cl



соответствует полосе при 1068, 968 и 858 см^{-1} показывают 1,3,5-замещение в ароматическом кольце, а также 1,4-замещение при 835 см^{-1} .

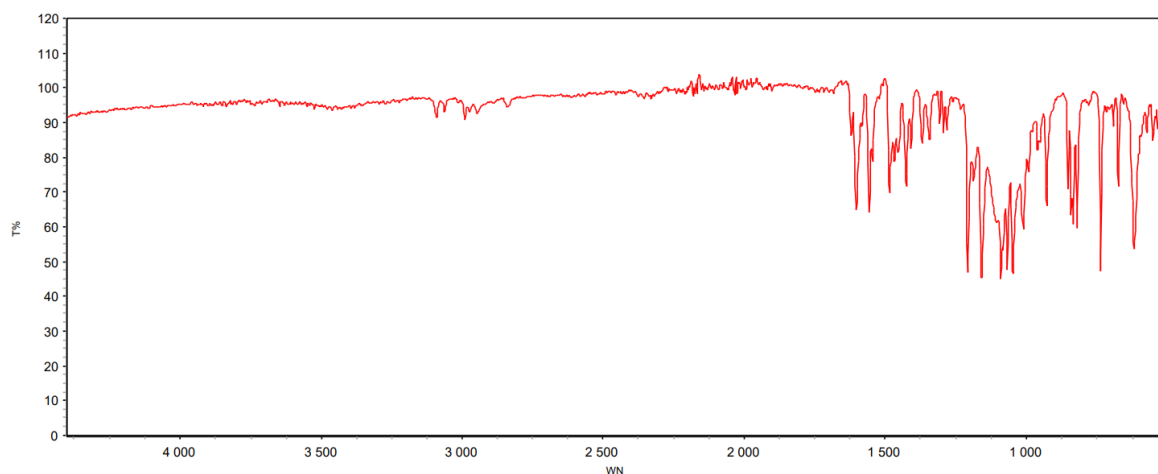


Рис. 1. ИК спектр 2-(4-хлорфенил)-5-(3,5-диметоксифенил)-1,3,4-оксадиазол **4e**

В ЯМР спектре 2-(4-хлорфенил)-5-(3,5-диметоксифенил)-1,3,4-оксадиазола **4e** (Рис. 2) наблюдаются химические сдвиги для протонов ароматических колец в области 8.18 и 7.71 м.д., 7.26 м.д. Протон при атоме углерода C2 ароматического кольца имеет химический сдвиг 6.79 м.д., протоны метоксигрупп выходят на спектре в виде синглета в области 3.86 м.д.

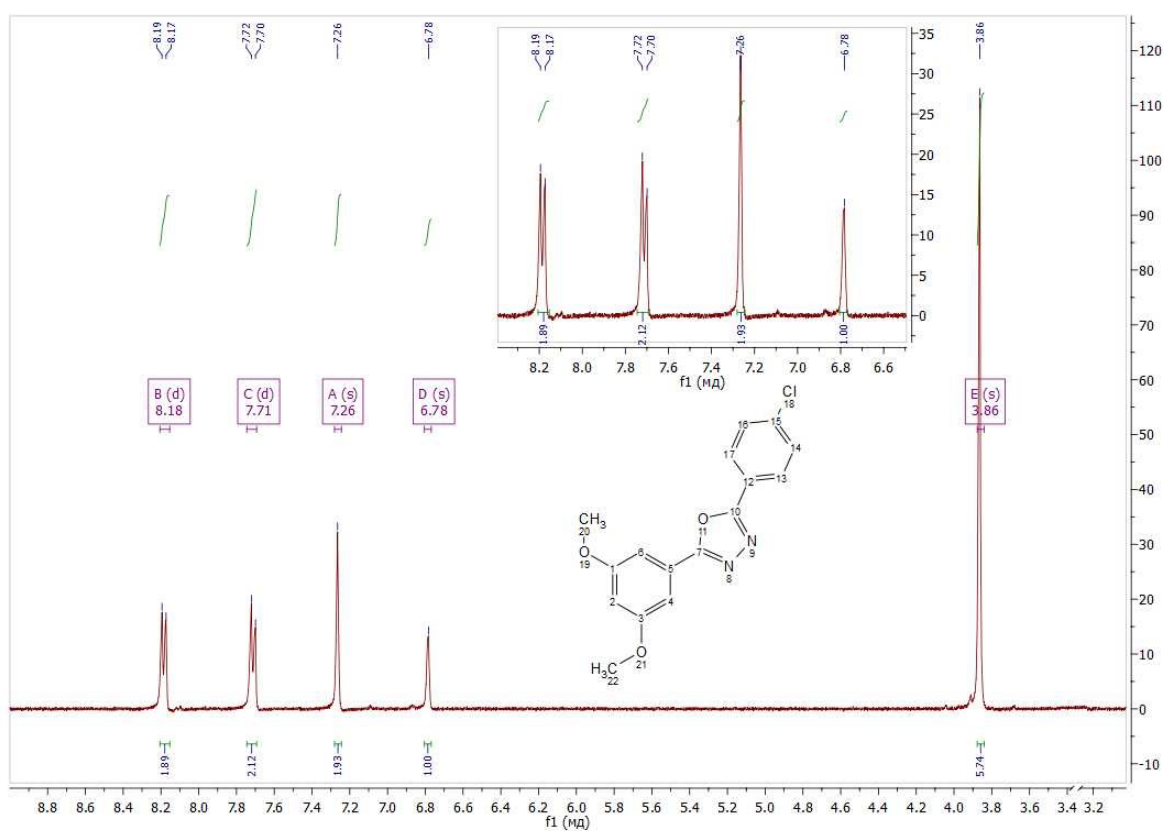


Рис. 2. Спектр ЯМР ^1H 2-(4-хлорфенил)-5-(3,5-диметоксифенил)-1,3,4-оксадиазол **4e**

В спектрах ЯМР C^{13} для полученных соединений наблюдаются сигналы всех атомов углерода.



В масс-спектрах под действием электронного удара для всех синтезированных соединений **4(a-d)** наблюдался молекулярный ион. Масс-спектр соединения 2-(4-хлорфенил)-5-(3,5-диметоксифенил)-1,3,4-оксадиазола **4e** представлен на рисунке 3.

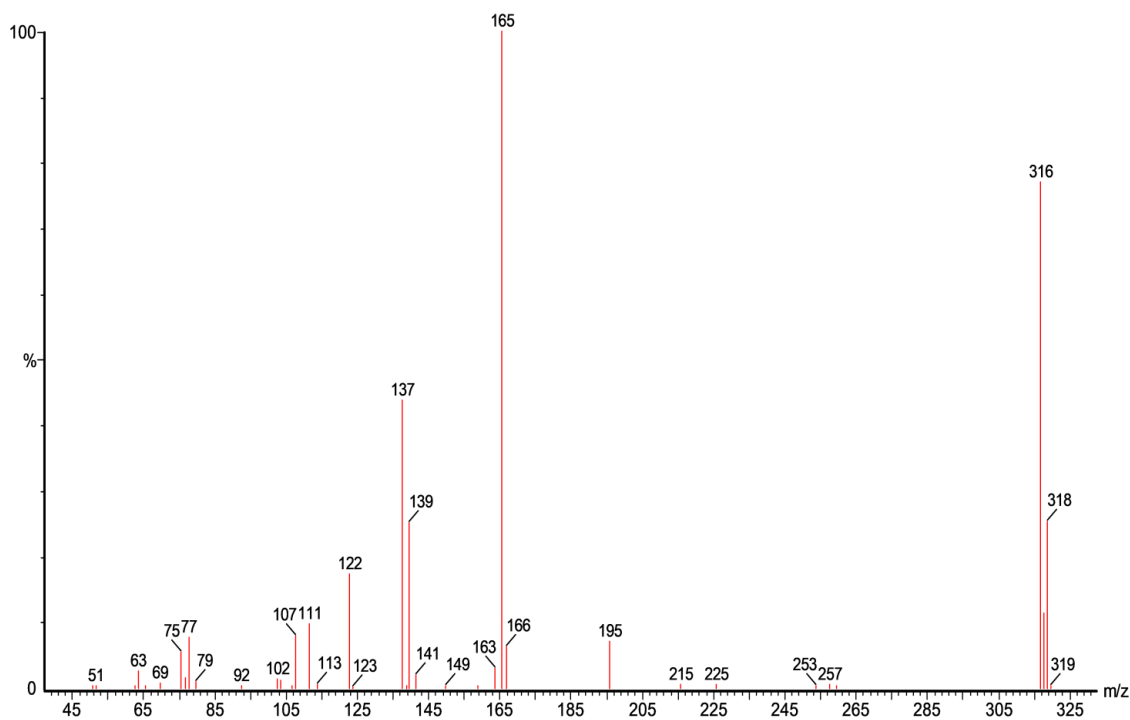


Рис. 3. Масс-спектр 2-(4-хлорфенил)-5-(3,5-диметоксифенил)-1,3,4-оксадиазола **4e**

Выводы

В ходе выполнения работы разработан эффективный метод синтеза 2,5-дизамещенных 1,3,4-оксадиазолов, включающий твердофазное получение *N*-ацилгидразонов из ароматических гидразидов и альдегидов (выход 79-100%) с последующей окислительной циклизацией в системе I_2/K_2CO_3 в среде ДМСО. Показано, что предложенный подход обеспечивает выходы целевых гетероциклов до 93%, отличается доступностью реагентов, отсутствием агрессивных сред и соответствует принципам «зеленой» химии.

Экспериментальная часть

Контроль протекания реакций и идентификация синтезированных соединений осуществлялись с использованием тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинах Kieselgel-G (MerckSi 254F). В качестве элюента применялась смесь петролейного эфира, толуола, ацетона и уксусной кислоты в соотношении 50:30:50:1 (по объему).

Инфракрасные (ИК) спектры регистрировались на Фурье-спектрометре PerkinElmer «SpectrumTwo» с использованием приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Спектры 1H и ^{13}C ЯМР записывали на приборе Varian UNITY Plus 400 МГц при 303 К. Все соединения анализировали в виде 5% растворов в ДМСО- d_6 с внутренним стандартом тетраметилсиланом (ТМС). Химические сдвиги ЯМР 1H



приведены относительно остаточного сигнала (δ Н2.5м.д.). Химические сдвиги ЯМР ^{13}C приведены относительно центрального сигнала растворителя (δ С 39.5 м.д.). Температура плавления соединений определялась на приборе Electrothermal IA 9300 Series. Масс-спектры высокого разрешения записаны на устройстве «Bruker micrOTOF II» с ионизацией электрораспылением (ИЭР). Реагенты и растворители («Aldrich», «Acros») являются коммерчески доступными и были использованы без предварительной очистки.

Синтез *N*-ацилгидразонов. Общая методика.

В фарфоровую ступку помещают гидразид **1** (0.7 ммоль), к нему прибавляют альдегида **2** (0.7 ммоль). В реакционную смесь добавляют 1-2 капли 10%-ного раствора соляной кислоты. Реакционную смесь растирают в течение 5 мин. Полученные *N*-ацилгидразоны выделяют в воду, фильтруют и сушат. Полученные продукты вводят в реакцию циклизации без дополнительной очистки.

3a *N'*-(фенилметилен)бензгидразид: выход 165 мг (100%), т.пл. 163-164 °С.

3b 4-хлор-*N'*-[(4-хлорфенил)метилен]бензогидразид: выход 138 мг (84%), т.пл. 186-187 °С.

3c 4-хлор-*N'*-[(2,4-диметоксифенил)метилен]бензогидразид: выход 129 мг (79%), т.пл. 179-182 °С.

3d 2-гидрокси-*N'*-[(2-гидроксифенил)метилен]бензогидразид: выход 146 мг (89%), т.пл. 201-202 °С.

Синтез 2,5-дизамещенных 1,3,4-оксадиазола. Общая методика.

В колбу, снабженную магнитной мешалкой, помещают *N*-ацилгидразон **2** (0.45 ммоль) в ДМСО (10 мл), затем прибавляют поташ (1.35 моль) и кристаллический йод (0.9 ммоль). Реакционную смесь кипятят, окончание реакции определяют методом ТСХ. Затем реакционную массу охлаждают до комнатной температуры. Продукт реакции осаждают в воду, фильтруют и сушат на воздухе.

4a 2,5-Дифенил-1,3,4-оксадиазол: выход 605 мг (61%), т.пл. 138-139 °С. ИК спектр, $\nu/\text{см}^{-1}$: 1548 (ν C=N оксадиазол), 1475 (ν C=C Ar), 1439 (ν C=C Ar), 1270 (ν C-O-C оксадиазол), 1068 (ν N-N), 963 (δ C-H Ar), 712, 684 (δ C-H Ar, моно-замещение). Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д., J/Гц): 7.56-7.68 (м, 5H, Ph), 8.09-8.15 (м, 5H, Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (DMSO- d_6 , δ , м.д.): 124.03, 124.16, 124.69, 124.74, 127.39, 127.68, 130.12, 130.36, 132.76, 133.04, 164.72, 164.86. Масс-спектр (ЭУ, 70 эВ), m/z (Iотн (%)): 222 [M]⁺ (100), 165 (98), 105 (89), 77 (65), 51 (35). Найдено (%): С, 75.71; Н, 4.50; N, 12.56. $\text{C}_{14}\text{H}_{11}\text{N}_2\text{O}$. Вычислено (%): С, 75.66; Н, 4.54; N, 12.60.

4b 2,5-бис(4-хлорфенил)-1,3,4-оксадиазол: выход 704 мг (71%), т.пл. 181-182 °С. ИК спектр, $\nu/\text{см}^{-1}$: 1603 (ν C=C Ar), 1550 (ν C=N оксадиазол), 1471 (ν C=C Ar), 1188 (ν C-O-C оксадиазол), 1091 (ν C-Cl), 839 (1,4-замещение), 739 (1,4-замещение). Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д., J/Гц): 7.71 (д, J = 7.5 Гц, 4H, Ar), 8.15 (д, J = 7.9 Гц, 4H, Ar). Спектр ЯМР ^{13}C (DMSO- d_6 , δ , м.д.): 122.93, 123.39, 129.24, 129.54, 130.24, 130.49, 136.83, 137.63, 137.99, 138.75, 164.08, 164.22. Масс-спектр (ЭУ, 70 эВ), m/z (Iотн (%)): 291 [M]⁺ (55),



199 (50), 139 (100), 111 (49), 75 (20). Найдено (%): С, 57.76; Н, 2.77; N, 9.62. $C_{14}H_8Cl_2N_2O$. Вычислено (%): С, 57.64; Н, 2.80; N, 9.65.

4c 2-(4-хлорфенил)-5-(2,5-диметоксифенил)-1,3,4-оксадиазол: выход 546 мг (55%), т.пл. 135-136 °С. ИК спектр, ν/cm^{-1} : 3089, 3066 (ν C-H Ar), 2989, 2942, 2838 (ν C-H CH_3 , O- CH_3), 1617, 1599 (ν C=C Ar), 1553, 1534 (ν C=N оксадиазол), 1485, 1452, 1425 (ν C=C Ar, δ C-H), 1402, 1365, 1287, 1274, 1238 (ν C-O-C метокси), 1206 (ν C-O-C оксадиазол), 1068 (ν C-Cl), 1045, 1013 (ν C-O метокси), 986, 958, 931, 858 (δ C-H Ar, 1,3,5-замещение), 835 (δ C-H Ar, 1,4-замещение). Спектр ЯМР 1H (DMSO- d_6 , δ , м.д., J/Гц): 3.86 (с, 6H, OMe), 6.79 (д, J = 1.9 Гц, 1H, Ar), 7.26 (с, 2H, Ar), 7.71 (д, J = 7.2 Гц, 2H, Ar), 8.18 (д, J = 8.6 Гц, 2H, Ar). Спектр ЯМР ^{13}C (DMSO- d_6 , δ , м.д.): 56.24, 56.59, 56.82, 104.79, 105.22, 105.66, 122.85, 125.51, 129.57, 129.71, 130.26, 130.44, 137.46, 137.53, 161.71, 162.27. Масс-спектр (ЭУ, 70 эВ), m/z (Иотн (%)): 316 $[M]^+$ (85), 165 (100), 137 (55), 111 (30), 75 (10). Найдено (%): С, 60.60; Н, 4.11; N, 8.89. $C_{16}H_{13}ClN_2O_3$. Вычислено (%): С, 60.67; Н, 4.14; N, 8.84.

4d 2,2'-(1,3,4-оксадиазол-2,5-диил)дифенол: выход 774 мг (78%), т.пл. 277-278 °С. ИК спектр, ν/cm^{-1} : 3181 (ν OH), 1603 (ν C=C Ar), 1551 (ν C=N оксадиазол), 1485, 1447 (ν C=C Ar), 1371 (δ OH), 1295, 1266 (ν C-O Ar), 1232 (ν C-O-C), 1190, 1156 (ν C-O-C), 755 (1,2-замещение). Спектр ЯМР 1H (DMSO- d_6 , δ , м.д., J/Гц): 6.93 (д, J = 2.7 Гц, 1H, Ar) 6.96 (д, J = 3.2 Гц, 1H, Ar), 6.99 (д, J = 8.2 Гц, 1H, Ar), 7.34-7.29 (м, 1H, Ar), 7.48-7.42 (м, 1H, Ar), 7.59-7.54 (м, 1H, Ar), 7.89 (дд, J = 7.8, 1.1 Гц, 1H), 8.68 (с, 1H, Ar), 11.22 (с, 1H, OH), 11.97 (с, 1H, OH). Спектр ЯМР ^{13}C (DMSO- d_6 , δ , м.д.): 116.31, 117.10, 117.96, 119.30, 119.67, 120.07, 129.26, 130.11, 132.28, 134.63, 149.57, 158.16, 159.66, 165.15. Найдено (%): С, 66.16; Н, 3.99; N, 11.10. $C_{14}H_{10}N_2O_3$. Вычислено (%): С, 66.14; Н, 3.96; N, 11.02.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Li Z., Li W., Keum C., Archer E., Zhao B., Slawin A.M.Z., Huang W., Gather M.C., Samuel I.D.W., Zysman-Colman E. 1,3,4-Oxadiazole-based deep blue thermally activated delayed fluorescence emitters for organic light-emitting diodes. *J. Phys. Chem. C*, 2019, 123, 24772–24785. DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b08479
2. Ye H., Wu H., Chen L., Ma S., Zhou K., Yan G., Shen J., Chen D., Su S.-J. Synthesis, properties, calculations and applications of small molecular host materials containing oxadiazole units with different nitrogen and oxygen atom orientations for solution-processable blue phosphorescent OLEDs. *Electron. Mater. Lett.*, 2018, 14, 89–100. DOI: 10.1007/s13391-018-0011-8
3. Юсифова Ю.Р., Фирстова А.А. 1,3,4-Оксадиазолы: стратегии синтеза и применение. *От химии к технологии шаг за шагом*, 2025, 6(2), 8–33. URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/6013/view>
4. Voronin A.A., Fedyanin I.V., Chupakov A.M., Pivkina A.N., Muravyev N.V., Strelenko Y.A., Klenov M.S., Lumpert D.B., Tartakovsky V.A. 4H-[1,2,3]Triazolo[4,5-c][1,2,5]oxadiazole 5-oxide and Its Salts: Promising Multipurpose Energetic Materials. *ACS Appl. Energy Mater.*, 2020, 3(9), 9401–9407. DOI: 10.1021/acsaem.0c01769
5. Kushwaha D., Tiwari V.K. Click Inspired Synthesis of 1,2,3-Triazole-linked 1,3,4-Oxadiazole Glycoconjugates. *J. Heterocycl. Chem.*, 2017, 54(4), 2454–2462. DOI: 10.1002/jhet.2845
6. Alkhaldi A.A.M., Abdelgawad M.A., Youssif B.G.M., El-gendy A.O., De Koning H.P. Synthesis, antimicrobial activities and GAPDH docking of novel 1,2,3-triazole derivatives. *Trop. J. Pharm. Res.*, 2019, 18(5), 1101–1108. DOI: 10.4314/tjpr.v18i5.27
7. Frohlichova Z., Tomascikova J., Imrich I., Kristian P., Danihel I., Bohm S., Sabolova D. Synthesis and properties of novel biologically interesting polycyclic 1,3,4-oxadiazoles containing acridine/acridone moieties. *Heterocycles*, 2009, 77(2), 1019–1035. DOI: 10.1002/chin.200928133



8. **Beal D.M., Bryans J.S., Johnson P.S., Newman J., Pasquinet C., Peakman T.M., Ryckmans T., Wheeler S.** Preparation of triazolobenzodiazepine derivatives as Vasopressin V1a antagonists. *Tetrahedron Lett.*, 2011, 52(45), 5913–5917. DOI: 10.1016/j.tetlet.2011.08.011
9. **Karthikeyan M.S., Prasad D.J., Mahalinga M., Holla B.S.** Antimicrobial studies of 2,5-dichloro-5-fluorophenyl containing oxadiazoles. *Eur. J. Med. Chem.*, 2008, 43(1), 25–31. DOI: 10.1016/j.ejmech.2007.03.013
10. **Kaur H., Kumar S., Vishwakarma P., Sharma M.** Synthesis and antipsychotic and anticonvulsant activity of some new substituted oxadiazolylazetidinyll/thiazolidinonylcarbazoles. *Eur. J. Med. Chem.*, 2010, 45(7), 2777–2783. DOI: 10.1016/j.ejmech.2010.02.060
11. **Sharba A.H.K., Al-Bayati R.H., Aouad M.** Synthesis of oxadiazoles, triazoles and triazole derived from benzo[b]thiophene. *Molecules*, 2005, 10(9), 1161–1168. DOI: 10.3390/10091161
12. **Pitasse-Santos P., Sueth-Santiago V., Lima-Marco E.F.** 1,2,4- and 1,3,4-Oxadiazoles as Scaffolds in the Development of Antiparasitic Agents. *J. Braz. Chem. Soc.*, 2018, 29(3), 435–456. DOI: 10.21577/0103-5053.20170208
13. **Li Z., Wang X.** Synthesis and Biological Evaluation of 1,3,4-Oxadiazole Derivatives. *Indian J. Chem., Sect. B*, 2003, 42B, 941–944.
14. **Rostom S.A.F., Shalaby M.A., El-Demellawy M.A.** Design and Synthesis of Novel Anticancer Agents. *Eur. J. Med. Chem.*, 2003, 38, 959–974. DOI: 10.1016/j.ejmech.2003.08.003
15. **Nayak A.S., Baby G., Bhavani P.D., Madhukar G., Niharikha B., Sudha K.** Design, microwave assisted synthesis and characterization of oxadiazoles. *World J. Pharm. Res.*, 2023, 12, 991–995. DOI: 10.20959/wjpr202313-29065
16. **Hedrick J.L., Twieg R.** Design of High-Performance Polymers for Electronic Applications. *Macromolecules*, 1992, 25, 2021–2025. DOI: 10.1021/ma00033a028
17. **Lam K.S., Salmon S.E., Hersh E.M., Hruby V.J., Kazmierski W.M., Knapp R.J.** A New Type of Synthetic Peptide Library for Identifying Ligand-Binding Activity. *Nature*, 1991, 354, 82–84. DOI: 10.1038/354082a0
18. **DeWitt S.H., Kiely J.S., Stankovic C.J., Schroeder M.C., Cody D.M.R., Pavia M.R.** Diversomers – An Approach to Nonpeptide, Nonoligomeric Chemical Diversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 1993, 90, 6909–6913. DOI: 10.1073/pnas.90.15.6909
19. **Cankarova N., Krchnak V.** Solid-Phase Synthesis Enabling Chemical Diversity. In: *Diversity-Oriented Synthesis: Basics and Applications in Organic Synthesis, Drug Discovery, and Chemical Biology*; Trabocchi A., Ed.; Wiley: N.Y., 2013, 201–252. DOI: 10.1002/9781118618110.ch7
20. **Hwang J.Y., Choi H.S., Lee D.H., Gong Y.D.** Solid-Phase Synthesis of 1,3,4-Oxadiazole and 1,3,4-Thiadiazole Derivatives via Selective, Reagent-Based Cyclization of Acyldithiocarbamate Resins. *J. Comb. Chem.*, 2005, 7, 816–819. DOI: 10.1021/cc0500957

Поступила в редакцию 27.04.2026

Одобрена после рецензирования 20.05.2025

Принята к опубликованию 28.05.2025