

УДК 621.45.038.72

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
И ОЦЕНКА РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ
ТЕТРАМЕТИЛЕНДИЭТИЛЕНТЕТРАМИНА***Е.А. Виноградова, В.П. Молчанов, О.Г. Шилова
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*© Виноградова Е.А., Молчанов В.П.,
Шилова О.Г., 2024

Аннотация. Рассмотрен потенциал нового материала – тетраметилендиэтилен-тетрамина (ТМДЭТА) – для создания эффективного антикоррозионного покрытия. Представлены результаты исследований реакционной способности ТМДЭТА в различных растворителях.

Ключевые слова: тетраметилендиэтилентетрамин, макроциклический аминал, коррозия, металл, растворитель, защитный слой.

DOI: 10.46573/2658-7459-2024-2-83-88

Коррозионный процесс приводит к разрушению металлов и ухудшению их механических характеристик, что, в свою очередь, влечет за собой значительные экономические, производственные потери и угрозу безопасности. Поэтому актуальность создания эффективных антикоррозионных покрытий постоянно растет, их разработка и применение являются приоритетными задачами в различных сферах промышленности и строительства.

Использование новых материалов в составе покрытий – одно из основных направлений в области их создания. Развитие технологий и проведение научных исследований способствуют появлению материалов, обладающих более высокими антикоррозионными свойствами, улучшенными механическими характеристиками, повышенной стойкостью к внешним воздействиям и экологической безопасностью. Одним из таких перспективных материалов является тетраметилендиэтилентетрамин (ТМДЭТА), который предполагается использовать в составе антикоррозионных покрытий для повышения их защитных свойств и долговечности.

Кристаллическая структура ТМДЭТА имеет форму шара, конформацию циклогексана из-за своей жесткости и состоит из сросшихся семичленных колец (рис. 1).

Макроциклический аминал – 1,3,6,8-тетраазатрицикло[4.4.1.1^{3,8}]додекан, тривиально называемый ТМДЭТА [2]; брутто-формула: $C_8H_{16}N_4$. Макроциклические аминалы – это неэлектролиты, имеющие симметричную структуру, они хорошо растворимы в воде и полярных растворителях. Эти соединения представляют значительный интерес из-за их теоретической важности и применения в фармацевтической, строительной, нефтегазовой промышленности [3].

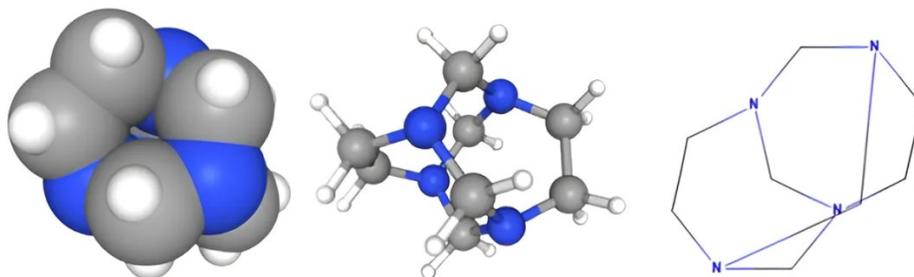


Рис. 1. Химическая структура ТМДЭТА

Тетраметилендиэтиленetetрамин является химическим соединением с большой долей азотсодержащих групп. Он обладает уникальными свойствами, которые делают его эффективным в качестве ингибитора коррозии [1]; ТМДЭТА перспективен для создания антикоррозионных покрытий благодаря своей способности образовывать защитный слой на металлической поверхности, который предотвращает контакт металла с агрессивными средами и замедляет процесс саморазрушения металла.

Уникальность ТМДЭТА заключается в следующем:

1) химической стабильности; она означает, что ТМДЭТА может противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды, таким как высокая температура, влажность и соленость, за счет своей циклической структуры. Макроциклические амины способны удерживать ионы, что приводит к диспергирующему эффекту, а значит, к стабилизации молекулы; могут взаимодействовать с металлами, образуя стабильные комплексы;

2) смачиваемости, то есть способности образовывать стабильные комплексы с различными металлами и ионами. Тетраметилендиэтиленetetрамин обладает гибкой структурой, что позволяет ему эффективно охватывать и удерживать металлы внутри цикла. Благодаря этому он проявляет отличные свойства смачиваемости, способствуя хорошему распределению на поверхности и обеспечивая стабильное сцепление с подложкой;

3) устойчивости к коррозии, которая означает способность образовывать защитные пленки на металлических поверхностях, что препятствует контакту металла с коррозионными агентами. Это свойство является ключевым для антикоррозионных покрытий, так как оно обеспечивает долгосрочную защиту металлических конструкций и тем самым долговечность и увеличение срока службы сооружений;

4) электролитической способности, благодаря которой ТМДЭТА может выступать как солеобразующий компонент. Комплексы ТМДЭТА с ионами металлов замедляют коррозию, так как они препятствуют проникновению кислорода и воды к поверхности металла. Кроме того, ТМДЭТА может участвовать в электролитическом процессе, который протекает при коррозии металла. В этом процессе металл выступает и как анод, на котором происходит его окисление, и как катод, где имеет место восстановление кислорода, а ТМДЭТА образует ионы, которые проникают в раствор и влияют на скорость коррозии металла.

Устойчивость ТМДЭТА в растворителях – важный параметр для создания покрытий [4]. С целью определения растворимости ТМДЭТА был проведен количественный анализ (при этом использовался газовый хроматомаcс-спектрометр). В

качестве растворителей были выбраны ортоксилол, изопропиловый спирт и бутилацетат. Они являются базовыми в создании антикоррозионных покрытий.

В приборе была установлена капиллярная колонка НР-1 (100 м × 0,25 мм, толщина пленки составила 0,5 мкм) в режиме программирования температуры термостата: 120 °С (6 мин) → 260 °С (10 °С/мин) → 260 °С (30 мин) → 300 °С (15 °С/мин). Температура испарителя и детектора хроматомасс-спектрометра составляла 260 °С. Газ-носитель – гелий. Линейная скорость потока газа-носителя равнялась 20 см/с, продолжительность анализа – 60 мин.

Результаты представлены на рис. 2–4 и в табл. 1–3, из которых видно, что ТМДЭТА лучше растворяется в изопропиловом спирте, а не в ксилоле и бутилацетате. Это обусловлено тем, что использованный спирт, как полярный растворитель, обладает большей способностью к образованию водородных связей и взаимодействию с молекулами ТМДЭТА. Кроме того, изопропиловый спирт имеет хорошую совместимость с другими компонентами антикоррозионных покрытий.

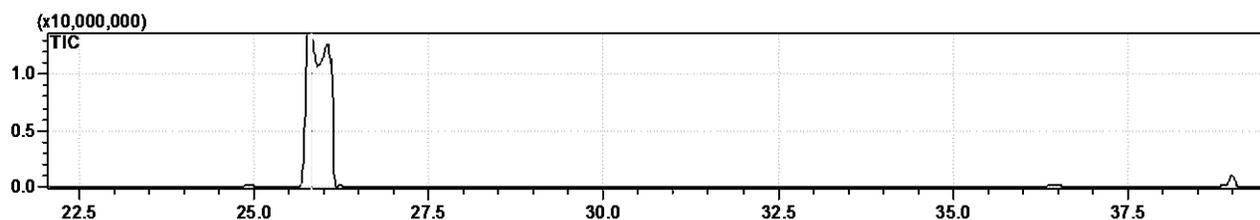


Рис. 2. Хроматограмма по ионному току о-ксилола и ТМДЭТА

Таблица 1

Качественные параметры растворения ТМДЭТА в о-ксилоле

Пик	Время удерживания, мин	Площадь пика, мм ²	Площадь пика, %	Высота пика, мВ	Высота пика, %
О-ксилол	25,815	295358036	98,08	14393296	93,47
ТМДЭТА	38,997	5779814	1,92	1004872	6,53

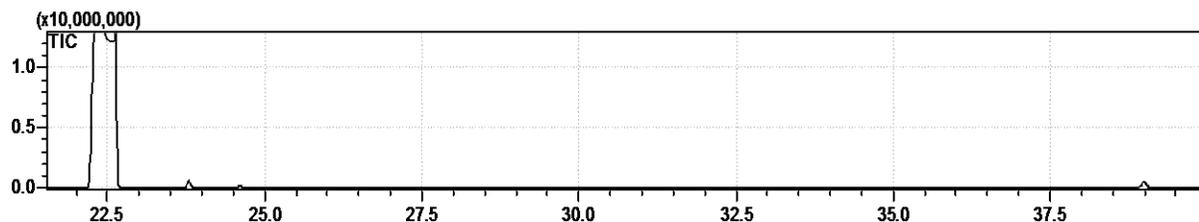


Рис. 3. Хроматограмма по ионному току бутилацетата и ТМДЭТА

Таблица 2

Качественные параметры растворения ТМДЭТА в бутилацетате

Пик	Время удерживания, мин	Площадь пика, мм ²	Площадь пика, %	Высота пика, мВ	Высота пика, %
Бутилацетат	22,336	317242176	99,24	14649003	96,88
ТМДЭТА	38,994	2432470	0,76	472361	3,12

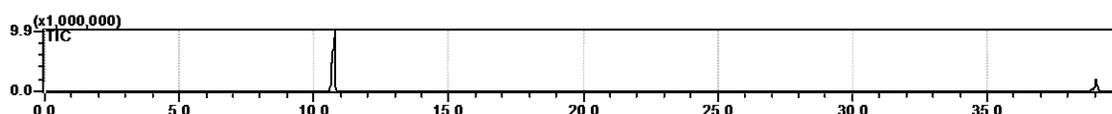


Рис. 4. Хроматограмма по ионному току изопропилового спирта и ТМДЭТА

Таблица 3

Качественные параметры растворения ТМДЭТА в изопропиловом спирте

Пик	Время удерживания, мин	Площадь пика, мм ²	Площадь пика, %	Высота пика, мВ	Высота пика, %
Изопропиловый спирт	10,800	79160112	88,34	9867188	83,56
ТМДЭТА	39,047	10452485	11,66	1926880	16,34

Таким образом, изучение свойств ТМДЭТА помогло определить его потенциал как ингибитора коррозии. Использование изопропилового спирта в качестве растворителя для ТМДЭТА при создании антикоррозионного покрытия может обеспечить более эффективное и равномерное распределение на поверхности, что, в свою очередь, улучшит защитные свойства покрытия и продлит срок его службы. Понимание влияния растворителя на реакционную способность ТМДЭТА является ключом к оптимизации синтеза антикоррозионного состава на его основе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор № 19189ГУ/2023 от 12 марта 2024 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Rivera A., Sadat-Berna J., Ríos-Motta J., Dušek M., Palatinus L. Synthesis and structural studies of a new class of quaternary ammonium salts, which are derivatives of cage adamanzane type aminal 1,3,6,8-tetraazatricyclo[4.3.1.1^{3,8}]Undecane (TATU) // *Chemistry Central Journal*. 2011. № 5. URL: https://www.researchgate.net/publication/51657301_Synthesis_and_structural_studies_of_a_new_class_of_quaternary_ammonium_salts_which_are_derivatives_of_cage

adamanzane_type_aminol_1_3_6_8-tetraazatricyclo4311undecane_TATU (дата обращения: 14.06.2024).

2. Rivera A., Núñez M.E., Avella E., Ríos-Motta J. NMR study of sequential intermediates and collateral products in the conversion of 1,3,6,8-tetraazatricyclo[4.4.1.1^{3,8}]dodecane (TATD) to 1,3,6,8-tetraazatricyclo[4.3.1.1^{3,8}]Undecane (TATU) // *Tetrahedron Letters*. 2008. V. 49. Iss. 13, pp. 2154–2158.

3. Romero C.M., Mesa H.J. Effect of temperature on the partial molar volumes and viscosities of two macrocyclic aminols in water and deuterium oxide // *Journal of Molecular Liquids*. 2017. № 242, pp. 244–248.

4. Fang Z., Wang G., Xiong Y., Li Y., Yang Y., Huang L., Wang P., Liao J., Wang A., Plucknett K., Rhee K.Y. Anti-corrosion performance of polyaniline coated basalt rockwool wastes/epoxy resin coatings // *Coatings*. 2021. № 11 (4). URL: https://www.researchgate.net/publication/350919099_Anti-Corrosion_Performance_of_Polyaniline_Coated_Basalt_Rockwool_WastesEpoxy_Resin_Coatings (дата обращения: 14.06.2024).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ВИНОГРАДОВА *Елизавета Андреевна* – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vinogradli27@yandex.ru

МОЛЧАНОВ *Владимир Петрович* – доктор химических наук, профессор кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: science@science.tver.ru

ШИЛОВА *Ольга Геннадьевна* – старший преподаватель кафедры иностранных языков, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: shilovaolga71@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Виноградова Е.А., Молчанов В.П., Шилова О.Г. Исследование свойств и оценка реакционной способности тетраметилендиэтиленetetрамина // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2024. № 2 (22). С. 83–88.

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES AND DETERMINATION OF THE TETRAMETHYLENEDIETHYLENETETRAMINE REACTIVITY

E.A. Vinogradova, V.P. Molchanov, O.G. Shilova
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. This article examines the potential of the new tetramethylenediethylenetetramine (TMDDET) material to create an effective anticorrosive coating. The results of studies of the reactivity of TMDDET in various solvents are presented.

Keywords: tetramethylenediethylenetetramine, macrocyclic aminol, corrosion, metal, solvent, protective layer.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

VINOGRADOVA Elizaveta Andreevna – Master's Degree Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vinogradli27@yandex.ru

MOLCHANOV Vladimir Petrovich – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: science@science.tver.ru

SHILOVA Olga Gennadiyevna – Senior Lecturer of Department of Foreign Languages, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: shilovaolga71@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Vinogradova E.A., Molchanov V.P., Shilova O.G. Investigation of the properties and determination of the tetramethylenediethylenetetramine reactivity // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 2 (22), pp. 83–88.

УДК 550.837:621.396.96

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОГЛОЩЕНИЯ В САПРОПЕЛЕ
И ОТРАЖЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ ВОДА – САПРОПЕЛЬ
С ПОМОЩЬЮ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ ТРУБЫ**

Г.Н. Иванов, И.В. Кривенко, М.А. Смирнова, С.Р. Испирян
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Иванов Г.Н., Кривенко И.В.,
Смирнова М.А., Испирян С.Р., 2024

Аннотация. Отмечено, что качественные характеристики сапропелей (влажность, плотность, зольность), а также загазованность влияют на их акустические свойства, что необходимо учитывать при изучении сапропелевых отложений с помощью метода звуколокации. Приведены результаты исследований сапропеля, реализованных на гидроакустической трубе. Указано, что выбор звуковых частот образцов сапропеля связан с параметрами трубы. Для исследований использовались образцы сапропелей из озер Тверской, Владимирской и Рязанской областей, отличающихся условиями формирования донных отложений и основными характеристиками. Продемонстрировано, что увеличение влажности сапропелей ведет к уменьшению коэффициента отражения звуковой волны. На основе измерений коэффициентов отражения на границе сапропеля с водой и коэффициентов поглощения сапропелей, различающихся по влажности и плотности, сделаны выводы об их составе, физико-механических свойствах и воздействии на качество звуколокационной съемки.