

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»МРНТИ 620.197
УДК: 661.717.3DOI [10.53002/054](https://doi.org/10.53002/054)

И.М.Акмалова, В.В.Меркулов

*Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан
(E-mail: ilyanaaa2000@gmail.com)***Антикоррозионный потенциал диэтиламида жирных кислот льняного масла**

Статья посвящена исследованию антикоррозионной эффективности диэтиламида жирных кислот льняного масла. Проведены синтез соединения, его физико-химическая характеристика и оценка ингибирующей активности в условиях воздействия агрессивной среды. Установлено, что диэтиламид формирует на поверхности металла защитную плёнку, уменьшая скорость коррозии более чем в три раза. Кроме того, вещество проявляет антибактериальные свойства, предотвращая биокоррозию. Применение экологически безопасных и биоразлагаемых ингибиторов на основе природных масел особенно актуально для нефтехимической, строительной и судостроительной отраслей. Методом гравиметрического анализа подтверждена высокая эффективность соединения (ингибирующая способность 67,8%). Полученные результаты указывают на перспективность использования диэтиламида в качестве универсального антикоррозионного агента, способного заменить синтетические аналоги в условиях, требующих экологической безопасности и высокой эффективности.

Ключевые слова: диэтиламид, жирные кислоты, льняное масло, коррозия, ингибитор, адсорбция, антикоррозионная защита, биоразлагаемость, пленка, металл.

Коррозия металлов является одной из наиболее значимых проблем в различных отраслях промышленности, включая машиностроение, нефтегазовую, химическую и строительную. Коррозионные процессы приводят к значительным экономическим затратам, сокращению срока службы оборудования и негативному воздействию на окружающую среду. В связи с этим поиск эффективных и экологически безопасных ингибиторов коррозии остается актуальной задачей.

В последние годы возрос интерес к использованию органических соединений на основе жирных кислот в качестве ингибиторов коррозии. Особое внимание уделено производным натуральных масел, таким как диэтиламиды жирных кислот льняного масла, которые обладают высокой поверхностной активностью, биоразлагаемостью и способностью образовывать защитные пленки на металлических поверхностях.

Данная работа посвящена исследованию антикоррозионной стойкости диэтиламида жирных кислот льняного масла. Исследование включало синтез соединения, его характеристику и испытания его эффективности в агрессивной среде. Полученные результаты позволят оценить перспективность данного соединения как экологически безопасного ингибитора коррозии и его возможное применение в различных отраслях промышленности [1].

Диэтиламид жирных кислот льняного масла – это производное жирных кислот, которое получают взаимодействием последних с диэтиламином. Данное соединение характеризуется рядом важных физико-химических и эксплуатационных характеристик: гидрофобность – создает защитную пленку на металлических поверхностях, предотвращающую контакт с агрессивными средами; поверхностная активность – способствует адсорбции на металлах, образуя барьерный слой; растворимость в органических растворителях – облегчает включение в антикоррозионные составы; химическая стабильность – сохраняет свои свойства в различных средах, включая кислые и щелочные растворы.

Исследования показывают, что диэтиламиды жирных кислот могут обладать антибактериальной активностью, особенно против грамположительных и грамотрицательных бактерий. Это объясняется нарушением целостности клеточных мембран – благодаря своей липофильной природе, диэтиламид может встраиваться в бактериальную мембрану, нарушая ее структуру и вызывая гибель клетки, а

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

также созданию гидрофобного барьера – покрывая поверхность металла, амид препятствует адгезии (прилипанию) бактерий, что снижает вероятность биокоррозии. Эти свойства делают диэтиламид перспективным компонентом для использования в защитных покрытиях, предотвращающих биозагрязнение и разрушение металлических конструкций под действием микроорганизмов [1,2].

В отличие от многих синтетических ингибиторов коррозии, диэтиламид жирных кислот льняного масла разлагается в природе, что снижает его негативное воздействие на окружающую среду. В силу этих качеств диэтиламид жирных кислот льняного масла может рассматриваться как перспективный ингибитор коррозии для защиты металлов в различных агрессивных условиях.

Синтез аминокислотных производных жирных кислот осуществляется путём взаимодействия жирных кислот, извлечённых из растительных и животных жиров, с аминами, такими как диэтаноламин или диэтиламин. Ниже приведены схемы реакций между аминокислотным реагентом и жиром (Рисунок 1):

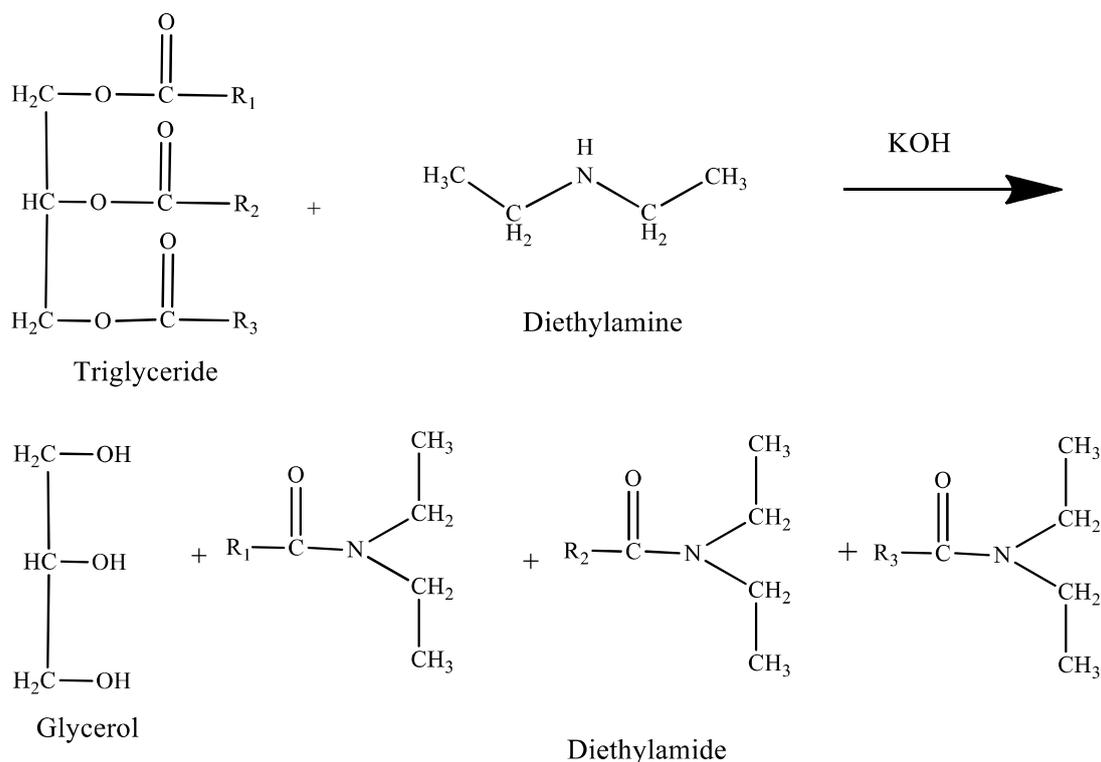


Рисунок 1 – Химическое взаимодействие амина с жиром

Извлечение жирных кислот из исходных жиров, а именно льняного масла начинается с гидролиза. Этот процесс может быть проведён с использованием щелочных растворов, таких как гидроксид натрия, для омыления жиров и получения солей жирных кислот (мыл).

Продукт гидролиза, жирные кислоты, затем подвергается подкислению (обычно с использованием соляной кислоты) для высвобождения свободных жирных кислот.

Исходные жиры и масла:

Льняное масло – 100 мл.

Растворы:

Гидроксид натрия (NaOH) – 10% раствор (150 мл для каждого опыта).

Соляная кислота (HCl) – 20% раствор (100 мл для каждого опыта).

Вода: Дистиллированная (200 мл для промывки).

100 мл растительного сырья помещали в круглодонную колбу объёмом 500 мл. Добавляли 150 мл 10%-ного раствора NaOH. Смесь нагревали при 90°C в течение 2 часов с постоянным перемешиванием. После охлаждения смесь становилась вязкой, в ней образовывалась прозрачная глицериновая фаза. Добавляли 50 мл 20%-ного раствора HCl, и смесь перемешивалась при комнатной температуре.

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

Свободные жирные кислоты выделялись на поверхности. Отделение проводилось декантацией (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Извлечение жирных кислот из исходного сырья

Затем чистые жирные кислоты и амин помещаются в реактор, оснащённый системой нагрева, перемешивания и контроля температуры. Реакция проводится при температуре 100-150 °С в зависимости от типа используемого амина и кислот. Температурный режим подбирается таким образом, чтобы обеспечить высокую скорость реакции, но минимизировать побочные процессы, такие как разложение кислот.

В процессе реакции амин взаимодействует с карбоксильной группой жирной кислоты, образуя амид. (Рисунок 3)

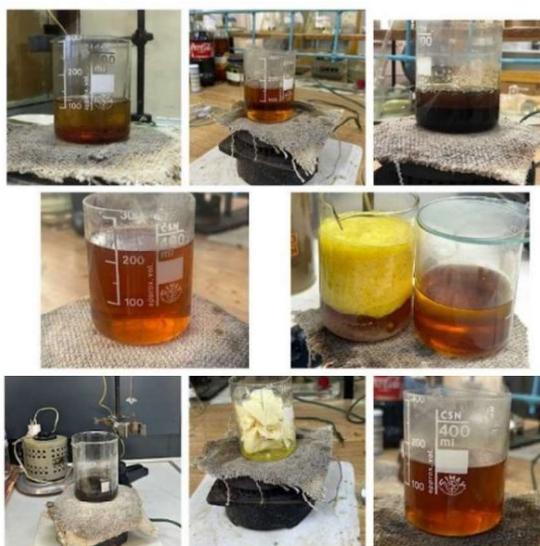


Рисунок 3 – Синтез амидов жирных кислот

После завершения реакции смесь охлаждается, и целевой продукт (амид жирной кислоты) отделяется от непрореагировавших веществ и побочных продуктов. В зависимости от растворимости амидов и возможных примесей может использоваться экстракция с использованием органических растворителей или промывка водой.

Очистка может быть проведена методом дистилляции под вакуумом для удаления оставшихся непрореагировавших кислот и аминов, что позволяет получить чистый амид. Вакуумная перегонка снижает температуру кипения компонентов, что минимизирует риск их разложения.

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

В результате получается маслянистая жидкость или воскообразное вещество с высокой поверхностной активностью и антикоррозионными свойствами.

Идентификация ИК-спектров образцов диэтиламидов жирных кислот льняного осуществлялась на базе Лаборатории инженерного профиля «Физико-химические методы исследования» НАО «Карагандинский университет им. Е.А. Букетова».

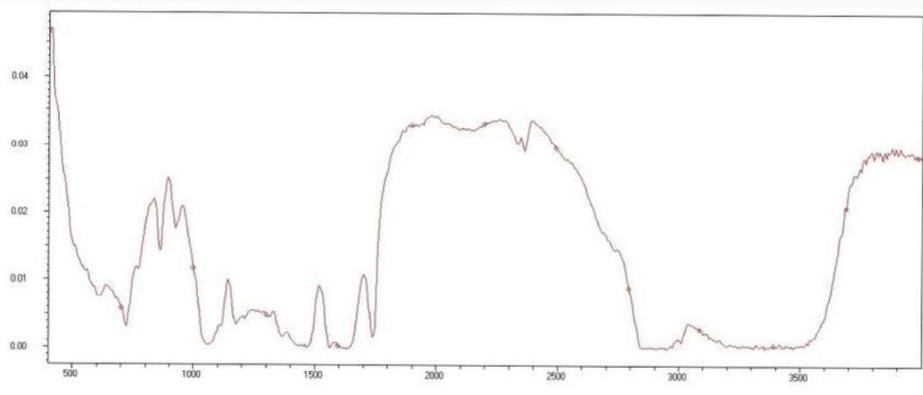


Рисунок 4 – Результаты анализа ИК спектров образцов

В образце были выявлены основные функциональные группы, подтверждающие образование амидов жирных кислот:

Полоса $1640\text{--}1690\text{ см}^{-1}$ ($\text{C}=\text{O}$ группы амидов) присутствует, что подтверждает образование амидных связей. Полосы $3300\text{--}3500\text{ см}^{-1}$ (N-H валентные колебания) и $1540\text{--}1560\text{ см}^{-1}$ (N-H деформационные колебания) характерны для амидов и наблюдаются в образце. Полосы $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ (C-H в алкильных цепях) свидетельствуют о наличии длинноцепочечных жирных кислот в образце. В растительных маслах (льняное масло) присутствует полоса при $\sim 3005\text{ см}^{-1}$, связанная с $\text{C}=\text{CH}$ колебаниями ненасыщенных жирных кислот [3].

За счет своих свойств диэтиламида жирных кислот льняного масла может применяться в качестве антикоррозионных покрытий для защиты стали, алюминия и медных сплавов в нефтехимической, судостроительной и строительной отраслях, смазочных материалов для улучшения защитных свойств и снижения трения, эмульгаторов и диспергаторов в лакокрасочной промышленности и при производстве биоцидных покрытий, а также при защите нефтегазового оборудования.

Применение диэтиламида жирных кислот льняного масла позволяет снизить коррозионный износ металлических конструкций, продлить срок их службы и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Антикоррозионная стойкость диэтиламида жирных кислот льняного масла обусловлена его химической структурой и поверхностной активностью. Основные механизмы защиты металлов от коррозии включают: адсорбцию на металлической поверхности – молекулы диэтиламида образуют монослойную пленку, предотвращая контакт металла с агрессивной средой (водой, кислородом, ионами хлора и др.), также гидрофобность – снижает смачивание поверхности водой, уменьшая вероятность коррозионных процессов. Эффект барьерного покрытия – ингибиторная пленка препятствует диффузии кислорода и агрессивных ионов [4,5].

Определение антикоррозионной стойкости амида осуществлялось гравиметрическим методом, который основан на измерении изменения массы металлических образцов до и после испытаний в агрессивной среде. Потеря массы свидетельствует о скорости коррозии.

Реактивы и материалы

Образцы металла (например, сталь 20 или низкоуглеродистая сталь) размером $20\times 20\times 2$ мм

Раствор агрессивной среды (0,1 М HCl)

Испытываемый диэтиламид жирных кислот льняного масла (концентрация 0,5–2,0 г/л)

Ацетон или этанол для обезжиривания

Образцы металла зачищают шлифовальной бумагой (№ 600–1200) для удаления оксидных пленок.

Промывают в ацетоне (или этаноле) и сушат. Взвешивают с точностью до 0,0001 г (начальная масса m_0). Затем образцы помещают в растворы агрессивной среды:

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

контрольные образцы без ингибитора, а опытные образцы: с различными концентрациями диэтиламида. Выдерживают в растворе при температуре 25–40°C в течение 70–168 часов. (Рисунок 5).



Рисунок 5 – Определение антикоррозионной стойкости

По завершении испытания образцы извлекают, промывают дистиллированной водой, затем ацетоном и сушат. Взвешивают (конечная масса m_1).

Анализ результатов

Исходные данные:

Площадь образца: $S = 20 \times 20 = 400 \text{ мм}^2 = 40 \text{ см}^2$

Время испытания: $t = 72 \text{ часа} = 3 \text{ суток}$

Начальная масса образца: $m_0 = 12,3567 \text{ г} = 12356,7 \text{ мг}$

Конечная масса образца без ингибитора (контроль): $m_1 = 12,3421 \text{ г} = 12342,1 \text{ мг}$

Конечная масса образца с ингибитором: $m_2 = 12,3520 \text{ г} = 12352,0 \text{ мг}$

Скорость коррозии (W) в $\text{мг/дм}^2 \cdot \text{сут}$

$$W = \frac{(m_0 - m_1) \cdot 10^4}{S \cdot t} \quad (1)$$

где, m_0 – начальная масса образца, мг

m_1 – масса после испытания, мг

S – площадь поверхности образца, см^2

t – время испытания, сутки

Расчет скорости коррозии без ингибитора

$$W = \frac{(12356,7 - 12342,1) \cdot 10^4}{40 \cdot 3} = 1216,67 \text{ мг/дм}^2 \cdot \text{сут}$$

Расчет скорости коррозии с ингибитором

$$W = \frac{(12356,7 - 12352,1) \cdot 10^4}{40 \cdot 3} = 391,67 \text{ мг/дм}^2 \cdot \text{сут}$$

Коэффициент ингибирующего действия (η , %):

$$\eta = \frac{W_0 - W}{W_0} \cdot 100 \quad (2)$$

где: W_0 – скорость коррозии в контрольном растворе (без ингибитора), $\text{мг/дм}^2 \cdot \text{сут}$

W – скорость коррозии в растворе с ингибитором, $\text{мг/дм}^2 \cdot \text{сут}$

$$\eta = \frac{1216,67 - 391,67}{1216,67} \cdot 100 = 67,8 \%$$

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

В ходе исследования была оценена антикоррозионная стойкость диэтиламида жирных кислот льняного масла. Проведенные эксперименты показали, что данное соединение эффективно снижает скорость коррозии металлических образцов за счет образования защитной адсорбционной пленки на их поверхности.

Гравиметрический метод продемонстрировал, что при добавлении диэтиламида в агрессивную среду скорость коррозии уменьшилась более чем в 3 раза, а его ингибирующая эффективность составила 67,8%. Это подтверждает перспективность данного соединения как экологически безопасного ингибитора коррозии.

Таким образом, диэтиламид жирных кислот льняного масла может рассматриваться как перспективное органическое соединение для разработки новых антикоррозионных композиций, особенно в условиях, где требуется сочетание высокой эффективности и экологической безопасности.

Список литературы

1. Гайдар С.М., Пикина А.М., Барчукова А.С., Лапсарь О.М., Ветрова С.М. Исследование эффективности амидов жирных кислот в качестве ингибиторов атмосферной коррозии. *Агроинженерия*. 2024;26(5):10-15. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-10-15>
2. Способ получения моно- и диэтианоламидов жирных кислот: Патент на изобретение RU2787477 С1; МПК С07С233/18, С07С231/02 / С.М. Гайдар, В.Е. Коноплев, О.М. Лапсарь, Т.И. Балькова, А.М. Пикина, И.А. Посунько. Заявка № 2022109878 от 13.04.2022 г. EDN: BNRHHH
3. Akmalova I., V. Merkulov. 2023. «METHOD OF OBTAINING SURFACTANTS BASED ON VARIOUS FATTY RAW MATERIALS». *SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY*, вып. 2 (июнь):5-14. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.158>.
4. И. Э. Карпеева, А. В. Зорина, Х. С. Шихалиев. Синтез амидов жирных кислот подсолнечного масла// *Вестник ВГУ, Серия: Химия, биология, фармация*. 2013. №2. С.39-41
5. Wang, X., Han, Z., Chen, Y., Jin, Q. Scalable synthesis of oleoyl ethanolamide by chemical amidation in a mixed solvent. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 2016. v. 93. P.125-131.

И.М.Акмалова, В.В.Меркулов

Зығыр майы май қышқылы диэтилаמידінің коррозияға қарсы потенциалы

Мақала зығыр майының май қышқылдарының диэтиламидасының тоттануға қарсы тиімділігін зерттеуге арналған. Қосылыс синтезделіп, оның физика-химиялық қасиеттері мен агрессивті ортада коррозияны тежеу қабілеті зерттелді. Нәтижесінде, металл бетінде қорғаныш қабатын түзе отырып, коррозия жылдамдығын үш есеге дейін төмендететіні анықталды. Сонымен қатар, бұл зат бактерияға қарсы қасиетке ие, бұл биокоррозияның алдын алуға мүмкіндік береді. Табиғи майлар негізіндегі экологиялық қауіпсіз ингибиторларды қолдану мұнай-химия, құрылыс және кеме жасау салаларында маңызды. Гравиметриялық әдіспен ингибирлеу тиімділігі 67,8% екені дәлелденді. Бұл зерттеу нәтижелері диэтилаמידті жоғары тиімді және экологиялық таза антикоррозиялық агент ретінде пайдаланудың болашағы зор екенін көрсетеді.

Түйінді сөздер: диэтиламид, май қышқылдары, зығыр майы, тоттану, ингибитор, адсорбция, қорғаныс, биологиялық ыдырағыштық, қабықша, металл.

I.M. Akmalova, V.V. Merkulov

Anticorrosion Potential of Diethylamide of Flaxseed Oil Fatty Acids

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

The article investigates the anticorrosive performance of diethylamide of flaxseed oil fatty acids. The compound was synthesized, its physicochemical properties were characterized, and its corrosion inhibition potential was tested under aggressive environmental conditions. It was found that the diethylamide forms a protective film on metal surfaces, reducing the corrosion rate by more than threefold. Moreover, the compound exhibits antibacterial properties, helping to prevent biocorrosion. The use of biodegradable and environmentally friendly inhibitors derived from natural oils is highly relevant for industries such as petrochemicals, construction, and shipbuilding. Gravimetric analysis confirmed a high inhibition efficiency of 67.8%. The results highlight the promise of diethylamide as a universal corrosion inhibitor, offering a sustainable alternative to synthetic chemicals in applications requiring both efficiency and ecological safety. *Keywords:* diethylamide, fatty acids, flaxseed oil, corrosion, inhibitor, adsorption, anticorrosion protection, biodegradability, film, metal.

References

1. Gaidar S.M., Pikina A.M., Barchukova A.S., Lapsar O.M., Vetrova S.M. Issledovanie effektivnosti amidov zhirnykh kislot v kachestve ingibitorov atmosferno korrozii. *Agroinzheneriya*. 2024;26(5):10-15. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-10-15>
2. Sposob polucheniya mono- i dietanolamidov zhirnykh kislot: Patent na izobretenie RU2787477 C1; MPK C07C233/18, C07C231/02 / S.M. Gaidar, V.E. Konoplev, O.M. Lapsar, T.I. Balkova, A.M. Pikina, I.A. Posunko. Zayavka No 2022109878 ot 13.04.2022 g. EDN: BNRHHH
3. Akmalova I., V. Merkulov. 2023. "Method of obtaining surfactants based on various fatty raw materials". *Series Chemistry and Technology*, no. 2 (June):5-14. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.158>.
4. Karpeeva I.E., Zorina A.V., Shikhaliev Kh.S. Sintez amidov zhirnykh kislot podsolnechnogo masla. *Vestnik VGU, Seriya: Khimiya, biologiya, farmatsiya*. 2013. No.2. S.39-41
5. Wang X., Han Z., Chen Y., Jin Q. Scalable synthesis of oleoyl ethanolamide by chemical amidation in a mixed solvent. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 2016. v. 93. P.125–131.