

процесса. Установлено, что наиболее важными из них являются: температура и время щелочного плавления, гидротермального синтеза, а также соотношение Si/Al [2,3].

Таким образом, с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) установлено, что есть возможность получения цеолитов из угольной золы, являющейся доступной, особенно в Кемеровской и Свердловской областях. Зола с этих участков имеет хорошее соотношение Si/Al, а также низкую концентрацию железа в своем составе, что благоприятно сказывается на характеристиках получаемых цеолитов [1-3,5].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЮРЬЕВ И. Ю. Стеновые керамические изделия с использованием микродисперсных алюмосиликатных отходов ТЭС. Томск: Наука, 2013. 23 с.
2. FERNANDES A. d.. Síntese de zeólitas e wolastonita a partir da cinza da casca do arroz. Dissertação (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2006.
3. SABEDOT S. et al. Caracterização e aproveitamento de cinzas da combustão de carvão mineral geradas em usinas termelétricas. Sociedade de Assistência aos Trabalhadores do Carvão (SATC, Criciúma, 2015?).
4. INTERNATIONAL ZEOLITE ASSOCIATION (IZA). Databases. Washington: 2020.
5. КАРТАШОВ К. К. Модернизация котла при переходе на другой тип угля. Томск: Наука, 2017. 96 с.

Пэн Лижу (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Лямина Галина Владимировна,  
к.т.н., доцент

### **ПРИМЕНЕНИЕ «ЗЕЛеноЙ ХИМИИ» ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ**

**Введение.** Исследование процессов коррозии и разработка методов защиты металлов относится к актуальным научно-техническим задачам.

Преимущественно находят применение органические ингибиторы, поскольку они способны образовывать защитные пленки на поверхности металлов. К эффективным органическим ингибиторам относятся вещества, содержащие в своем составе атомы азота, серы и кислорода. Установлено, что для снижения скорости коррозии можно использовать натуральные продукты, растения и их экстракты. Также для улучшения коррозионной защиты в состав ингибиторов можно вводить наночастицы металлов и их оксидов.

Цель работы – провести анализ научных публикаций по современным экологичным методам коррозионной защиты.

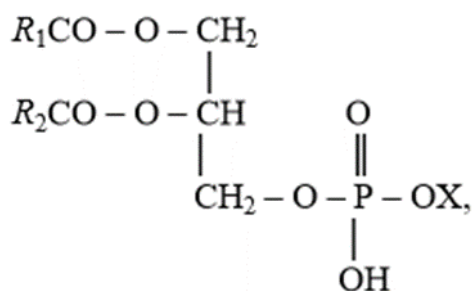
Использование продуктов растительного происхождения для создания ингибиторов коррозии

В исследовании Алмагамбетовой с сотр. [1] использована малоуглеродистая сталь марки Ст3, которая является одним из наиболее часто используемых конструкционных материалов для изготовления различного вида оборудования пищевой промышленности. При этом сталь марки Ст3 является материалом с невысокой коррозионной стойкостью в ряде сред пищевого производства, поэтому зачастую требуется защита от коррозии.

При исследовании использованы растворы органических кислот, таких как лимонная, винная, уксусная, а также соляная кислота как дезинфектор, спирт этиловый, вино виноградное, сироп сахарный. Оценивалась противокоррозионная эффективность ингибиторов на основе растительного сырья: на основе рапса и на основе горчицы. Данные ингибиторы экологичны, сырьевая база достаточно доступна, имеются O-, N-, и S-содержащие соединения в составе сырья, способные к образованию комплексов с оксидами и атомами железа, что способствует созданию условий формирования пассивного состояния поверхности стали.

При повышении температуры от 293 до 333 К степень защиты образца стали марки Ст3 в 1 н растворе соляной кислоты уменьшается при использовании ингибитора в 2,62 раза, концентрата – в 1,69 раза.

В работе [2] использовано нерафинированное рапсовое масло жирно кислотного состава. Содержание природных ингибиторов коррозии металлов – фосфолипидов с условной молекулярной формулой



где  $R_i$  – углеводородный радикал,  $X$  – заместитель, составляло в РМ порядка 3 мас. %.

Коррозионные испытания проведены при комнатной температуре на образцах стали Ст3. Показано, что данный ингибитор снижает скорость коррозии углеродистой стали почти в 32 раза при содержании в воздухе 1,0 об. %  $SO_2$  и в 4 раза в условиях повышения концентрации оксида серы (IV) до 5,0 об. %.

В работе Бернацкого [3] в качестве растворителя-основы защитной композиции использовано также рапсовое масло. В него вводили фиксированное количество эмульгина. Эмульгин имел следующий компонентный состав, масс. %: первичные алифатические амины фракции C10–C15 – 5...20; первичные алифатические амины фракции C16–C20 – 22...30; вторичные алифатические амины фракции C10–C15 – 12...23; вторичные алифатические амины фракции C16–C20 – 10...26; парафиновые углеводороды фракции C18–C20 – остальное.

Коррозионные испытания проведены при комнатной температуре на шлифованных до 6-го класса чистоты образцах стали Ст3. Было показано, что защитная эффективность состава на базе рапсового масла возрастает по мере увеличения концентрации полифункциональной присадки эмульгин.

Использование наночастиц металлов в качестве ингибиторов коррозии

В работах [4 – 6] авторы использовали частицы оксида циркония в качестве добавки к раствору традиционного ингибитора.

Для приготовления ингибиторов коррозии использовали нанопорошки  $ZrO_2$  и традиционные органические ингибиторы, такие как полиэтиленгликоль (ПЭГ-400) и тиомочевина. Суспензии гидроксидов циркония получали из растворов солей различного состава. Выделение частиц из растворов проводили двумя способами: методом фильтрации (МФ) и нанораспылительной сушкой (НРС) с помощью установки Nanospray Drying B-90.

Полученные растворы ингибиторов обрабатывали ультразвуком (УЗ), для уменьшения агломерации НЧ. Нанесение ингибитора на поверхность стали проводили посредством протирки образцов тканью, пропитанной раствором.

В таблице 1 представлены финальные результаты коррозионных испытания для образцов, обработанных и необработанных ингибиторами на основе наночастиц полученных из разных прекурсоров. Лучшие результаты продемонстрировали ингибиторы коррозии на основе наночастиц оксида циркония, полученные из растворов с лимонной кислотой при помощи распылительной сушки без дополнительной УЗ-обработки.

Таблица 1

*Сравнение эффективности ингибиторов на основе ZrO<sub>2</sub> по остаточной массе образцов*

Метод получения	Состав раствора для получения частиц ZrO <sub>2</sub>	УЗ-обработка	η, %	
			Т ИО	П ЭГ-400
МФ	ZrOCl <sub>2</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	–	93,01	94,45
		+	97,75	95,55
НРС	ZrO(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + HCit	–	98,54	99,03
		+	97,38	96,38
	ZrO(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + NaCit	+	96,60	95,49
	ZrOCl <sub>2</sub> + HCit	+	96,43	95,84
	ZrOCl <sub>2</sub> + NaCit	+	96,02	95,49

Таким образом, эффективность ингибитора коррозии на основе НЧ ZrO<sub>2</sub>, полученных методом распылительной сушки в 2 раза выше, чем для НЧ полученных методом фильтрации для растворов с ПЭГ и в 4,5 раза для растворов с тиомочевинной.

### **Заключение**

Нетоксичные и экологичные ингибиторы можно рассматривать как наиболее важные и полезные как для людей, так и для окружающей среды. Таким образом, можно сделать вывод, что экологичный или зеленый ингибитор, полученный из растительных экстрактов, имеет широкий диапазон и может использоваться в качестве замены опасных и токсичных неорганических и органических химических веществ.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. С. Т. Алмагамбетова. Анализ методов противокоррозионного воздействия на защиту оборудования объектов пищевой отрасли //

- Процессы, оборудование и аппараты пищевых производств – Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48. – № 2 – С.129 – 135.
2. Л.Е. Цыганкова, П.Н. Бернацкий, Н.П. Крушатина, Н.В. Шель, Ю.В. Панфилова. Защита углеродистой стали композициями рапсового масла с продуктами очистки отработавших масел от коррозии в атмосферах, содержащих SO<sub>2</sub>: – 2012 – Вестник ТГУ – Т.17 – вып.1.
  3. П.Н. Бернацкий. Защита стали в SO<sub>2</sub>-содержащей атмосфере ингибированными масляными композициями на основе рапсового масла, содержащими эмульгин: – 2015 – Вестник ТГУ – Т.20 – вып.2.
  4. Егамкулов М.Е., Шевченко И.Н. Влияние УЗ-обработки на свойства ингибитора коррозии на основе наночастиц ZrO<sub>2</sub> // XXI Международная научно-практическая конференция «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 18-21 мая 2020. – Томск: ТПУ, 2020. – принято к публикации
  5. Егамкулов М.Е., Шевченко И.Н., Цзя Лицзе Оценка эффективности ингибитора коррозии на основе наночастиц оксида циркония методом потенциометрии // XXI Международная научно-практическая конференция «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 18-21 мая 2020. – Томск: ТПУ, 2020. – принято к публикации
  6. Цзя Лицзе, Егамкулов М.Е., Шевченко И.Н. Сравнение эффективности ингибиторов коррозии на основе наночастиц ZrO<sub>2</sub>, полученных различными методами // X Всероссийская научно-практическая конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов», Томск, 22-24 апреля 2020. – Томск, ТПУ.