

# ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ

**А. А. Тарелин**

Член-корреспондент НАН Украины, заведующий отделом\*

Контактный тел.: (0572) 95-96-09

E-mail: tarelin@ipmach.kharkov.ua

**Н. В. Сурду**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник\*

\*Отдел общетехнических исследований в энергетике

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН

Украины

ул. Дм. Пожарского, 2/10, г. Харьков, 61046

Контактный тел.: (057) 754-55-47

E-mail: surdu@ipmach.kharkov.ua

**Т. Н. Паршина**

Директор

ООО ПКФ «ЭМПО-НИСАТ»

ул. Дм. Пожарского, 2/10, г. Харьков, 61046

Контактный тел.: (0572) 95-96-57

E-mail: nisat@ukr.net

*Наводиться досвід застосування лакофарбових матеріалів на основі модифікованих поліуретанових, епоксидних та епоксиполіуретанових сполук для влаштування антикорозійного захисту обладнання від руйнівного впливу технологічних агресивних середовищ*

*Ключові слова: антикорозійний захист, лакофарбові матеріали, поліуретанові та епоксидні матеріали, епоксиполіуретанові сполуки*

*Приводится опыт применения лакокрасочных материалов на основе модифицированных полиуретановых, эпоксидных и эпоксиполіуретановых соединений для устройства антикоррозионной защиты оборудования, от разрушающего воздействия технологических агрессивных сред*

*Ключевые слова: антикоррозионная защита, лакокрасочные материалы, полиуретановые и эпоксидные материалы, эпоксиполіуретановые соединения*

*Experience of application of coating compositions on the basis of modified polyurethane, epoxy and epoxy-urethane joints for the device of anticorrosive protection of the equipment of chemical water machining warmly power stations is resulted*

*Keywords: Anticorrosive protection, coating compositions on polyurethane and epoxy bottoms, epoxy-urethane joints*

## 1. Введение

По оценкам специалистов разных стран потери в промышленном производстве от коррозии составляют от 2 до 4% от валового национального продукта каждой страны. Поэтому проблема надежной антикоррозионной защиты оборудования от разрушающего воздействия сред различной агрессивности является одной из важнейших научно-технических и экономических проблем современного мира.

Под коррозией понимают самопроизвольный процесс химического или электрохимического взаимодействия металла с окружающей средой, в результате которого происходит окисление, приводящее к деструктивному разрушению металла. Для протекания коррозии металла необходимы воздух (кислород) и вода, поэтому без применения защитных мероприятий она происходит практически всегда.

Одним из наиболее распространенных и доступных способов антикоррозионной защиты является устройство лакокрасочных покрытий. В настоящее время на

рынке предлагается очень много полиуретановых, эпоксидных и других лакокрасочных материалов (ЛКМ), для устройства антикоррозионной защиты оборудования. При этом сопроводительная информация носит в основном рекламный характер, по которой можно сделать вывод, что предлагаемые материалы являются, чуть ли не панацеей от всех типов агрессивных сред. Однако наш многолетний опыт показывает, что это далеко не так. Как правило, при устройстве высокоэффективного антикоррозионного покрытия чаще всего используется не один полимерный материал, а целая система покрытий из материалов на различной основе. В этом случае всегда возникает вопрос по разработке мероприятий обеспечения совместимости наносимых лакокрасочных покрытий, для чего необходимо получить от производителя дополнительную техническую информацию, что невозможно при использовании импортных полимерных материалов. Поэтому сложные системы антикоррозионных покрытий, созданные на отечественных ЛКМ, не только не уступают, но чаще всего превосходят соответствующие образцы покрытий

из зарубежных материалов по всем важным параметрам - цена, технологичность, долговечность, надежность.

---

## 2. Основные требования к устройству лакокрасочных покрытий

---

Чрезвычайно ценным информативным руководством при выполнении антикоррозионных работ является международный стандарт ISO 12944-98 "Защита стальных конструкций системами защитных покрытий".

ISO 12944 выделяет 6 атмосферных категорий (от C1 до C5-M) и 3 категории коррозионности в воде и почве (Im1-Im3). В зависимости от категории коррозионности стандарт рекомендует схемы покрытий по типу связующего, по толщине покрытий и по количеству слоев.

Как известно ассортимент ЛКМ достаточно широк, поэтому при выборе антикоррозионной системы необходимо учитывать целый ряд эксплуатационных, технологических и экономических факторов, в том числе таких как: материал окрашиваемой конструкции; требуемая долговечность покрытия; тип рабочей среды (или климата); необходимая степень подготовки поверхности; ремонтпригодность; совместимость с другими методами защиты (например, с катодной); технологичность нанесения ЛКМ; требования по декоративности; требования взрыво- и пожаробезопасности, санитарно-гигиенические требования; экономическая целесообразность и др.

---

## 3. Тенденции развития антикоррозионной защиты от воздействия внешней среды

---

В последние годы в индустрии антикоррозионной защиты от внешней среды наблюдается некоторая смена приоритетов, которая происходит под влиянием новых разработок и исследований, проводимых производителями ЛКМ.

Двухкомпонентные системы антикоррозионной защиты на базе эпоксидных, полиуретановых и других смол гарантируют надежную долгосрочную защиту окрашенных конструкций и объектов. Из нашего опыта можно говорить об успешной, надежной антикоррозионной защите на срок до 12 лет и более. Однако такие системы требуют определенных знаний физхимии полимеров, тщательной и при этом довольно дорогостоящей подготовки поверхности, высококвалифицированного малярного персонала и дорогого оборудования.

В условиях жесткой конкурентной борьбы сегодня требуются полимерные материалы способствующие созданию систем антикоррозионной защиты, которые, по-прежнему гарантируя надежную долгосрочную защиту и высокие декоративные свойства, позволяют:

1. Уменьшить стоимость лакокрасочных работ (например, за счет: уменьшения количества слоев краски; упрощения применяемых лакокрасочных систем (например, за счет замены многослойных двухкомпонентных систем однослойными двухкомпонентными или специально доработанными однокомпонентными системами); снижения расхода полимерных материалов путем повышения укрывистости; усиления антикоррозионной защиты за счет применения цинко-

наполненных грунтовых покрытий; повышения производительности малярных работ за счет применения быстросохнущих, легких в нанесении материалов).

2. Снизить стоимость и трудоемкость окрасочных работ за счет применения, например, материалов позволяющих снизить требования к подготовке поверхности (т.е., ремонт состоит только из удаления ржавчины и слабодержащихся участков старой окраски и нанесения нового покрытия).

3. Сократить и уменьшить стоимость мероприятий по охране труда и окружающей среды в ходе окраски за счет применения, например, лакокрасочных материалов с уменьшенным содержанием растворителя (или на водной основе) и прочих вредных веществ, таких как хлор и свинец.

Таким образом, развитие современных систем защиты от коррозии включает в себя сохранение существующих антикоррозионных свойств с одной стороны и оптимизацию, направленную на уменьшение стоимости и рост производительности окраски и обслуживания с другой стороны. Эти цели могут быть достигнуты как за счет создания новых материалов, так и за счет оптимального комбинирования и применения уже имеющихся.

К основным направлениям в современной антикоррозионной защите оборудования от воздействия окружающей среды можно отнести:

1. Применение высоконаполненных двухкомпонентных систем с уменьшенным содержанием растворителя.

2. Разработка однослойных систем, например, для окраски горячеоцинкованных металлоконструкций.

3. Использование систем покрытий, не требующих тщательной подготовки поверхности.

4. Создание однокомпонентных и двухкомпонентных систем покрытий на водной основе.

Большое значение имеет оказание потребителям услуг по оптимальному подбору системы покрытий, замене дорогостоящих материалов более дешевыми и простыми в работе. Это является настолько важным и быстрорастущим сектором рынка, что может быть выделено как дополнительная точка роста рынка ЛКМ. Однако следует помнить, что выполнять такую оптимизацию могут только специалисты с большим опытом применения антикоррозионных материалов в различных отраслях промышленности и строительства.

---

## 4. Применение отечественных ЛКМ для антикоррозионной защиты внутренних поверхностей оборудования

---

Для Украины проблема надежной антикоррозионной защиты внутренних поверхностей емкостного оборудования от разрушающего воздействия коррозионно-агрессивных сред стоит очень остро еще с девяностых годов 20 века. Это связано с тем, что широко используемая во времена Советского Союза технология гуммирования была (и есть) в упадке как из-за оттока высококвалифицированных специалистов в другие сферы народного хозяйства, так и по причине низкого качества отечественной резины и дефицита и дороговизны импортной резины. Именно тогда по предложению главного инженера ТЭЦ-2 «ЭСХАР» мы - сотрудники ИПМаш НАН Украины и ООО ПКФ «ЭМПО-НИСАТ»

Таблица 1

## Классификация марок антикоррозионных покрытий

Обозначение покрытия	Назначение	
	Тип среды	Область температур, °С
ПКП-701-(XXX)*	Концентрированные кислоты	до 50
ПКП-711-(XXX)*	Концентрированные кислоты	50-120
ПКП-702-(XXX)*	Разбавленные кислоты	до 50
ГЖП-712-(XXX)*	Разбавленные кислоты	50-120
ПКП-703-(XXX)*	Среды смешанного типа (рН от 1 до 14)	до 50
ПКП-713-(XXX)*	Среды смешанного типа (рН от 1 до 14)	50-120
ПКП-704-(XXX)*	Растворы щелочей	ДО 50
ПКП-714-(XXX)*	Растворы щелочей	50-120
ГЖП-705-(XXX)*	Нейтральная среда (рН 7)	до 50
ПКП-715-(XXX)*	Нейтральная среда (рН 7)	50-120
ПКП-720-(XXX)*	Солевые растворы	до 80
ПКП-730-(XXX)*	Продукты органического синтеза	до 80
ПКП-740-(XXX)*	Питьевое водоснабжение	до 80
Примечание (XXX)* - обозначение характеризующее покрытие, зависящее от особых условий эксплуатации		

заялись проблемой разработки альтернативной технологии антикоррозионной защиты с использованием ЛКМ. На разработку научных основ новой технологии у нас ушло почти 3 года. После многочисленных экспериментов в качестве базовых материалов нами были выбраны полимерные композиции на основе модифицированных полиуретановых и эпоксидных смол.

Как известно, для устройства антикоррозионной защиты оборудования работающего с нейтральными средами широко использовались материалы на эпоксидной основе, например эпоксидные шпаклевки. Обладая хорошей адгезией, прочностью и химстойкостью эти материалы имели существенный недостаток – низкая эластичность и склонность к охрупчиванию. Технология устройства антикоррозионного покрытия с использованием, например эпоксидной смолы ЭД-20 состояла из поэтапного формирования пленки покрытия из нескольких слоев (от 3 до 6), при этом в качестве армирующего материала обычно использовалась стеклоткань. Долговечность такого покрытия не превышала 3-4 года, при этом потеря служебных свойств обуславливалась чаще всего охрупчиванием и растрескиванием по причине старения полимера.

Использование материалов на основе полиуретановых смол для антикоррозионной защиты оборудования, работающего в условиях агрессивных водных сред, на тот период было еще только в начале развития. Формирование защитного покрытия на полиуретановой основе обеспечивало высокую эластичность и хорошую механическую прочность пленки, но при этом она обладала относительно высокой водопроницаемостью, что негативно сказывалось на долговечности антикоррозионной защиты. Формирование пленки защитного покрытия в виде композиционного материала, состоящего из чередующихся слоев полиуретановых и эпоксидных соединений, очень часто приводило к расслоению пленки в процессе испытаний в кислотных и щелочных средах. Это было связано с плохой совместимостью и низкой адгезией между полиуретановыми и эпоксидными слоями. Нам удалось найти решение этой проблемы, как путем модификации полимерных соединений, так и применением специальных технологических приемов при нанесении материалов на защищаемую поверхность.

Пленку химзащитного покрытия формировали методом послойного нанесения нескольких функционально различных полимерных материалов на основе модифицированных полиуретановых и эпоксидных смол и эпоксиуретановых соединений в определенной последовательности с обеспечением заданных временных интервалов между слоями. Лабораторными исследованиями была установлена как важность метода подготовки поверхности, так и обеспечения хорошей адгезии для первого слоя и температурно-временных условий полимеризации промежуточных слоев. От последнего во многом зависит монолитность и служебные свойства защитной пленки. Количество слоев рассчитывается в зависимости от требований долговечности, коррозионной агрессивности среды и температурных условий работы объекта и может составлять от 8-12 слоев для нейтральных сред до 20 слоев для анионитовых и Н-катионитовых фильтров всех ступеней системы ХВО.

В зависимости от условий эксплуатации и состава среды, покрытия изготавливаются (ТУ У 24.3-21204907-001: 2005) следующих марок (табл. 1):

Все покрытия обладают высокой химической и биологической стойкостью. Толщина покрытий от 210 мкм до 2000 мкм в зависимости от назначения и условий эксплуатации. Покрытия, соприкасающиеся с пищевыми продуктами, изготавливаются из материалов в соответствии с РТМ 27-72-15-82. Допустимое содержание миграций химических веществ, выделяющихся из материалов, используемых для изготовления покрытий, соприкасающихся с пищевыми продуктами, соответствуют СанПиН 42-123-4240-86.

Покрытия, применяющиеся в хозяйственно-питьевом водоснабжении, отвечают перечню материалов и реагентов, разрешенных для применения в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения, инструкции по санитарно-химическому исследованию изделий из полимерных материалов, предназначенных для использования в хозяйственно-питьевом водоснабжении и водном хозяйстве №4259-87, и обеспечивают качество воды в соответствии с требованиями ДСанПИН «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованного господарсько-питного водопостачання».

Физико-механические показатели покрытий приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Физико-механические показатели покрытий

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Норма
1	2	3	4
1.	Внешний вид покрытия (визуальный)	-	ровное, блестящее красно-коричневого или серого цвета

**Продолжение таблицы 2**

1	2	3	4
2.	Область рабочих температур	°С	от-50 до+150
3.	Время полимеризации при 20°С -50% полимеризации -70% полимеризации - более 90% полимеризации	час час сутки	3-6 12-18 3-5
4.	Адгезия пленки к металлу	балл	не менее 1
5.	Твердость по маятниковому прибору МЭ-3	ус ед.	0,3; 0,05
6.	Прочность пленки: - при ударе -при изгибе	Дж, мм	не менее 5 1-3
7.	Эластичность на приборе «Пресс Эриксона»	мм	4-8
8.	Влагопоглощение	%	0,6-1,0
9	Взаимодействие с агрессивными средами		инертны

Очень важным этапом создания технологии на тот период была разработка методов и оборудования для нанесения полимерных композиций различной вязкости и создание компактного и надежного оборудования для подготовки и подачи воздуха для дыхательной системы оператора и распыла полимерных материалов. Об имеющемся на тот период импортном оборудовании мы могли только мечтать, поэтому разработали сами и с этой задачей мы успешно справились.

**5. Внедрение разработанных покрытий в производство**

Внедрение нашей технологии мы начинали в 1995 году на Харьковской ТЭЦ-5 Змиевской ТЭС, и ТЭЦ-2 «ЭСХАР». И если на Харьковской ТЭЦ-5 мы сравнительно быстро договорились с подрядчиком, который выполнял химзащитные работы на станции, чтобы он взял нас в субподрядчики, то на Змиевской ТЭС все было значительно сложнее. В тот период начальником химцеха Змиевской ТЭС был Каменский Михаил Иванович. Он был приверженцем гуммирования и к нашей технологии отнесся вначале с большим недоверием. После продолжительных бесед и убеждений мы уговорили его провести испытания наших образцов в условиях производства. Мы изготовили опытные образцы покрытий и передали для испытаний. После серии сравнительно «жестких» испытаний в кислотных и щелочных средах, в том числе при высоких температурах (вплоть до 100°С), он убедился в работоспособности и надежности нашего покрытия. После этого было достигнуто соглашение о последовательном внедрении технологии на различных участках системы ХВО Змиевской ТЭС. Сначала на анионитовых фильтрах, затем на ФСД и затем уже на Н-катионитовых. В дальнейшем подобная практика убеждений повторялась и на других ТЭС и каждый раз мы получали положительный результат.

На протяжении с 1996 года по настоящее время нами выполнено очень много работ по обустройству антикоррозионной защиты оборудования практически

всех участков системы ХВО на многих теплоэлектростанциях Украины. Это Харьковская ТЭЦ-5, Змиевская ТЭС, ТЭЦ-2 «ЭСХАР», Угледгорская, Луганская, Зуевская, Славянская, Криворожская, Запорожская, Кременчугская и Калужская теплоэлектростанции, ТЭС Крымского содового завода и др. Некоторые объекты на Змиевской ТЭС, Харьковской ТЭЦ-5 и ТЭЦ-2 «ЭСХАР» успешно работают с нашей защитой уже более 10 лет.

**6. Примеры устройства антикоррозионной защиты на действующем оборудовании**

В настоящее время ООО ПКФ «ЭМПО-НИСАТ» выполняет работы по устройству антикоррозионной защиты как внутренних поверхностей трубопроводов и емкостного оборудования системы ХВО, так и наружной его части. Ниже приведены фотографии некоторых объектов



а) б)  
Рис. 1. Внешний вид антикоррозионного покрытия на внутренней поверхности емкости Н-катионитового фильтра: а) нижняя часть емкости; б) верхняя часть емкости



Рис. 2. Внешний вид антикоррозионной защиты на внутренних и наружных поверхностях емкостного оборудования ХВО и обвязывающих трубопроводов

Технически непростой и по своему интересной была работа по устройству антикоррозионной защиты внутренней поверхности насоса кислотной промывки на Кременчугской ТЭС (рис. 3), благодаря нашему покрытию предприятию удалось в 4 раза продлить срок эксплуатации насоса и сэкономить около 600,0 тыс. грн.

В настоящее время ведется научно-исследовательские работы, направленные на снижение себестоимости антикоррозионной защиты путем уменьше-

ния количества слоев, что может быть достигнуто за счет физических методов регулирования служебных

свойств полимерных материалов при послойном формировании пленки покрытия.



Рис. 3. Внешний вид антикоррозионной защиты внутренней поверхности насоса кислотной промывки на Кременчугской ТЭС. а) — верхняя крышка корпуса, б) — нижняя часть корпуса, в) — ротор, г) - патрубок

Таким образом, накопленный нами научный и производственный опыт позволяет рекомендовать разработанные технологические приемы и материалы для широкого внедрения в народное хозяйство, как Украины, так и других стран СНГ.

*Досліджені тепло і гідродинамічні характеристики стиснених пучків еліптичних труб. Верифіковано програмне забезпечення і здійснено порівняння з пучками круглих та плоскоовальних труб за масовими і теплопередавальними характеристиками*

**Ключові слова:** теплообмін, гідродинаміка, ефективність, пучки, труби

*Исследованы тепло и гидродинамические характеристики стисненых пучков эллиптических труб. Верифицировано программное обеспечение и произведено сравнение с пучками круглых и плоскоовальных труб по массовым и теплопередающим характеристикам*

**Ключевые слова:** теплообмен, гидродинамика, эффективность, пучки, трубы

*Heat and hydrodynamic characteristics of the close-tube banks of elliptic pipes are investigated. The software is verified and comparison with banks of round and plane-oval pipes on mass and heat-transfer characteristics is presented*

**Keywords:** heat exchange, hydrodynamics, efficiency, banks, pipes

УДК 536.24:62-714

## ТЕПЛО И ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПУЧКОВ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ТРУБ

**В. В. Кузнецов**  
Кандидат технических, доцент\*

**А. В. Якимович**  
Магистрант\*  
\*Кафедра технической теплофизики и судовых  
паропроизводящих установок  
Национальный университет кораблестроения имени адмирала  
Макарова  
пр. Героев Сталинграда 9, г. Николаев, Украина, 54025  
Контактный тел.: 050-493-02-76  
E-mail: aootnet@ukr.net, kuznetsov\_v\_v@ukr.net

### Постановка проблемы и ее связь с важными научными и практическими задачами

Актуальной проблемой современной энергетики является модернизация старых и создание новых энергетических установок с улучшенными показателями топливной экономичности. Перспективным направлением в данном случае могут являться регенеративные

установки, достижимый уровень КПД которых составляет 40...45% [1].

Учитывая современные требования к надежности и эффективности таких установок [2], регенераторы для наземных энергетических установок целесообразно выполнять с трубчатой поверхностью теплообмена. При этом необходимо учитывать, что поверхность теплообмена должна обладать как необходимой те-