

УДК 621.793.620.172

Б.А. Ляшенко, проф., д-р техн. наук

Институт проблем прочности им. Г.С.Писаренко НАН Украины

А.В. Шевченко, асп., А.Е.Соловых, доц., канд. техн. наук,

Кировоградский национальный технический университет

В.Н. Лопата, доц., канд. техн. наук

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Повышение качества коррозионной защиты теплообменной аппаратуры

В статье показана актуальность изучения причин коррозии водоохлаждаемой теплообменной аппаратуры и разработки способа её коррозионной защиты с целью повышения надежности теплообменного оборудования и снижения затрат на его ремонт. На основании изучения физико-химических особенностей коррозии теплопередающих поверхностей и способов их защиты от нее, предложен метод напыления коррозионностойких протекторных покрытий дискретной структуры.

коррозия, водоохлаждаемое оборудование, протекторные покрытия, термомеханическая устойчивость

Потери от коррозии в промышленности можно разделить на прямые и косвенные. К первым относятся стоимость замены уничтоженных коррозией частей оборудования, восстановления его работоспособности и противокоррозионных мероприятий. Вторые включают в себя недовыпуск продукции за время ремонтов, ухудшение качества продукции, а также ущерб для окружающей среды и увеличение расхода конструкционных материалов. Эти потери в среднем в 1,5...2 раза выше прямых потерь [1 - 3]. Коррозия оборудования повышает также его аварийность. Успехи в изучении коррозии и разработке средств защиты бесспорны и значительны, однако те огромные потери металла, которые все еще имеются, заставляют расширять применение известных методов и разрабатывать новые, более эффективные пути борьбы с коррозией.

Особенно неблагоприятным является положение с теплообменным оборудованием. Не менее 50% отказов обусловлено коррозией теплопередающих поверхностей (в основном - труб) [4]. Теплообменное оборудование с защитными покрытиями на сегодняшний день составляет не более 2% всего парка теплообменников. Около 50% современных теплообменников выполнено из малоуглеродистых сталей, обладающих более высокой теплопроводностью, чем коррозионностойкие стали. При этом наиболее доступным и экономичным хладагентом является речная вода, в которой стойкость углеродистых сталей невысока.

Таким образом, изучение причин усиленной коррозии водоохлаждаемой теплообменной аппаратуры из малоуглеродистой стали и разработка эффективной системы её коррозионной защиты являются актуальными и важными для повышения надежности оборудования и снижения затрат на ремонт.

Постановка задачи

В работе была поставлена задача, на основе выявления физико-химических особенностей коррозии стальных теплопередающих поверхностей в воде разработать методы их высокоэффективной защиты с помощью напыляемых покрытий, а также принципы создания для этой цели протекторных покрытий дискретной структуры, позволяющих существенно увеличить долговечность теплообменного оборудования.

Поставленная цель достигалась путем решения следующих задач:

- изучения способов защиты теплопередающих поверхностей от коррозии;
- создания на базе рассмотренных выше способов метода протекторных покрытий дискретной структуры;
- разработки комплекса методик коррозионных и механических испытаний;
- испытания протекторных покрытий дискретной структуры и их сравнение с существующими средствами защиты;
- получения аппаратурно-технологических разработок, которые позволят повысить межремонтный пробег стальных теплообменников без их существенных конструктивных изменений и снижения теплоотдачи;

Результаты и их обсуждение

Анализ существующих теорий описания механизма коррозионных процессов теплопередающих поверхностей в воде. Несмотря на серьезные успехи в разработке общей теории коррозии, решение такой важной задачи как защита от коррозии теплообменников из углеродистых сталей невозможно без дополнительных исследований. Для качественного и количественного описания процесса коррозии до недавнего времени превалировало использование теории локальных элементов [5]. Коррозия должна иметь гетерогенный характер что во многих случаях соответствует реально-наблюдаемой картине. Так, стальные водо - и теплопроводы разрушаются, в общем случае неравномерно и в этом случае гетерогенные процессы играют определяющую роль [5]. По-видимому, эта теория в наибольшей степени оправдывает себя при анализе локальных видов коррозии (язвенная, питтинговая, щелевая). Коррозию металла можно рассматривать как результат одновременного и независимого друг от друга, но сопряженного протекания реакций со статистически беспорядочным распределением их во времени и пространстве [2]. В монографии [2] количественно описана кинетика не только равномерной коррозии в активном и пассивном состоянии, но и основные разновидности локальных видов коррозии (питтинговой, межкристаллитной, коррозионного растрескивания).

Рассмотрим на базе представлений имеющиеся в литературе данные о связи теплопередачи и коррозионных процессов. Единой точки зрения о влиянии теплопереноса на скорость коррозионных процессов не существует. В ряде работ, сделана попытка, свести решение вопроса к нахождению одного определяющего фактора, в качестве которого обычно рассматривают тепловой поток, градиент температуры, температуру поверхности металла и объема раствора. Такой упрощенный подход не подтверждается опубликованными экспериментальными данными. Причиной интенсификации коррозии в неизотермических условиях авторы [5] также считают повышение концентрации кислорода у корродирующей поверхности, омываемой более холодной жидкостью. Отметим, что практически все приведенные в литературе сведения о влиянии теплопередачи на коррозию ограничены удобными для исследования средами. Практически отсутствуют данные об особенностях коррозии теплопередающих поверхностей в самом распространенном хладагенте - речной воде. Не рассмотрено также влияние накопления продуктов коррозии на интенсивность процесса растворения металла. Обобщенных количественных закономерностей, характеризующих влияние теплопередачи на скорость коррозии металла в литературе почти нет.

Теоретические основы локальной коррозии в настоящее время разработаны Я.М. Колотыркиным, Кеше и др. [2, 6]. Введенные при этом понятия критического потенциала питтингообразования, критического размера питтинга, резистивного слоя позволили представить физическую картину на всех стадиях появления и роста локальных коррозионных поражений. Ожидают, как указано в [6], своего решения и трудные вопросы зависимости скорости язвенной коррозии от температуры и теплопередачи. Не разработаны и методы вычисления наибольшей глубины язвы при

коррозии. Для решения этого вопроса недостаточно накоплено экспериментального материала и не раскрыты физико-химические закономерности, управляющие изменением этой величины.

Способы защиты теплообменников от коррозии. Одним из наиболее эффективных решений коррозионной проблемы является замена материала на более стойкий. Для теплообменного оборудования такое решение имеет ограниченное значение, поскольку оно затрагивает сложный комплекс вопросов: теплопроводность материала, технология монтажа аппарата, его стоимость и т.п. Поэтому, несмотря на серьезные успехи в создании новых сплавов для теплообменников [1,7-10], представляется разумным рассмотреть решения, позволяющие снизить скорость коррозии без замены материала теплообменного элемента. В сложившейся практике коррозионной защиты металлического водоохлаждаемого теплообменного оборудования можно выделить 3 основные направления [1]: дезактивирующая обработка воды; полная изоляция поверхности металла от агрессивной среды; поддержание такого энергетического состояния металла, при котором окисление его термодинамически невозможно или заторможено.

При больших масштабах водоподачи и отсутствии замкнутого цикла водоснабжения первый вариант обычно аппаратно сложен и экономически невыгоден.

Для изоляции поверхности металла от агрессивной среды возможно использование различных видов покрытий. Основные требования к ним: химическая инертность относительно металла и воды, плотность покрытия, хорошее сцепление его с основанием, высокая теплопроводность. Так, обладающие чрезвычайно высокой коррозионной стойкостью эмалевые покрытия технологически сложны, пористы, а их теплопроводность составляет 0,61...1,31 Вт/м·К, что на порядок меньше теплопроводности стали 20 (46,5 Вт/м·К). Полимерные покрытия и лаки обладают еще меньшей теплопроводностью (0,12...0,43 Вт/м·К). Кроме того, они имеют серьезные температурные ограничения, а также тенденцию к отслаиванию и потере эластичности через несколько месяцев эксплуатации. Перспективными являются работы по повышению теплопроводности и модификации свойств лакокрасочных и полимерных покрытий за счет введения в них в качестве наполнителей металлов, оксидов и силикатов, сажи. К сожалению, в настоящее время удалось поднять теплопроводность таких материалов примерно в 3 раза, что недостаточно. Металлические и металлоподобные изолирующие покрытия наносят, в основном, диффузионным легированием, газофазным и гальваническим осаждением. Отметим, что в этом случае при испытаниях не учтено влияние теплопередачи. Один из путей защиты от коррозии является электрохимическим. Для анализа его возможностей рассмотрим обобщенную потенциостатическую анодную поляризационную кривую (рис.1), поскольку анодное растворение металла и является, собственно говоря, процессом, определяющим коррозионные потери. Область АВ является областью активного растворения, при сдвиге потенциала внутри этой области в положительную сторону скорость коррозии растет экспоненциально. В переходной области ВС происходит пассивация металла, приводящая к резкому замедлению коррозии. Область СД характеризуется малыми скоростями коррозии ($10^{-8} \dots 10^{-6}$ А/см²) практически независимыми от потенциала. Это - область пассивного состояния, которое обусловлено образованием защитных пленок оксидной или солевой природы, а также адсорбционных слоев. Катодная кривая располагается относительно анодной в зависимости от способности имеющихся в растворе окислителей к электрохимическому восстановлению. Смещение потенциала в активной области в отрицательную сторону (например, в точке А₁) осуществляется катодной поляризацией. Катодная защита [5]. может осуществляться присоединением защищаемой конструкции к металлу (протектору), имеющему в данной среде более отрицательный потенциал, чем защищаемый (протекторная защита). Другой вариант

катодной защиты - поляризация внешним источником постоянного тока. Смещение потенциала в область пассивности путем анодной поляризации от внешнего источника является анодной защитой. Обязательное условие осуществимости анодной защиты - материал аппарата должен пассивироваться в данной среде. Выбор оптимального защитного потенциала в условиях теплопередачи возможен лишь с учетом механизма процесса, величины и направления теплового потока [5]. С ростом температуры протяженность пассивной области, как правило сокращается. Сообщений о реальном применении анодной защиты для водоохлаждаемого оборудования из углеродистых сталей нами не обнаружено.

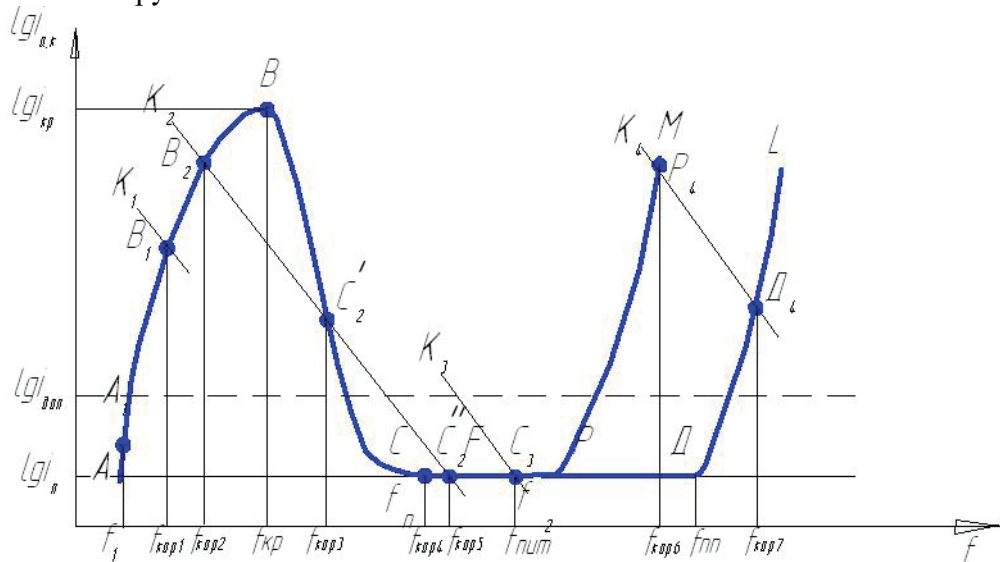


Рисунок 1 - Обобщенная потенциостатическая анодная поляризационная кривая

Катодная защита оборудования и трубопроводов из углеродистых сталей получает все большее распространение потому, что она представляет собой экономически выгодную альтернативу применению материалов повышенной коррозионной стойкости. Многолетний опыт применения выявил и существенные недостатки катодной защиты с поляризацией от внешнего источника применительно к теплообменному оборудованию: высокая плотность катодного тока, возможность аномального растворения большинства технических материалов при катодной поляризации по химическому механизму, выделение водорода на защищаемой поверхности, что делает аппарат взрывоопасным. Рассмотренные выше ограничения основных методов коррозионной защиты обуславливают широкое распространение в практике варианта катодной защиты с использованием поляризации за счет присоединения к защищаемому объекту протектора [11]. Стационарный потенциал материала протектора в коррозионной среде должен быть отрицательным, чтобы обеспечить необходимую величину напряжения для получения защитного тока. Из схемы, приведенной на рис. 2 следует, что только при потенциале поляризации не более E_a ток коррозии приближается к нулю. Такой потенциал называют защитным.

Преимущества протекторной защиты: простота, низкие затраты на эксплуатацию, безопасность в эксплуатации ввиду малых напряжений, саморегулируемость. Основным недостатком протекторной защиты является низкое движущее напряжение, что ограничивает применение в плохо проводящих средах, например, в пресной воде (удельное сопротивление чистой воды при температуре 293 К $\cdot 10^4$ Ом \cdot м).

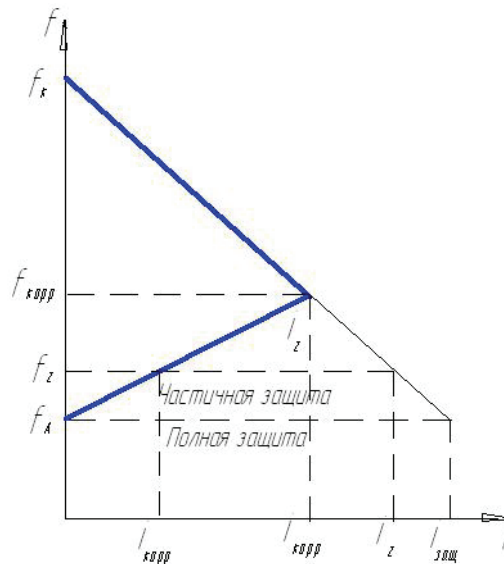


Рисунок 2 - Коррозионная диаграмма, иллюстрирующая принципы протекторной и катодной защиты

К материалу протектора предъявляются еще ряд требований: малая пассивируемость и возможно меньшая поляризуемость. Хорошими протекторными свойствами обладает кадмий, однако, он вреден экологически и поэтому мало используется как протектор [11]. Цинковые протекторы должны иметь высокую чистоту по Fe, Cu. Для улучшения свойств цинкового протектора в него вводят Al (до 0,5%), Cd (до 0,15%) [7,9]. Сообщается об успешном применении такого протектора для защиты теплообменников ТЭЦ [9]. Чистый алюминий легко поляризуется анодно, образуемая на нем пленка пассивирует металл. Поэтому для протекторной защиты используют только сплавы алюминия - чаще всего с Zn (до 6%) и оловом (1%) [8,10]. Активировать (депассивировать) алюминий предложено также легированием Ga (до 3,5%) и Mg (до 1%), Zn, Mn, Ca. Пассивируемость алюминиевых протекторов, их малый вес, достаточно высокий к.п.д. обусловили их преимущественное применение в судостроении, в опреснительных установках, портовых сооружениях. Так, применение магниевых сплавов для защиты водоподогревающих установок позволило обеспечить переходное сопротивление не больше $0,3 \text{ Ом/м}^2$, а срок службы поднять до 2 лет и более. Сообщается об успешном использовании протекторов из сплавов МД-5 и МД-6 для защиты теплообменников в азотной и нефтеперерабатывающей промышленности [11]. Требованиям к материалу протектора в случае защиты оборудования из углеродистых сталей в наибольшей степени удовлетворяют цинк, магний и сплавы на их основе. В таблице 1 приведены основные их характеристики применительно к работе в грунтовых водах.

При разработке конструкций протекторов необходимо решить следующие задачи [11]: обеспечить их надежное крепление к защищаемой поверхности и электрический контакт с ней; обеспечить взаимозаменяемость протекторов, поскольку в процессе эксплуатации они расходуются; обеспечить равномерное растворение протектора и уменьшить сопротивление растеканию тока протектора. Этот комплекс требований обусловил ограниченную номенклатуру типоразмеров протекторов, их стандартизацию с ориентированием на область использования.

Таблица 1 - Электрохимические характеристики протекторных сплавов

Показатель	Металл – основа сплава		
	Zn	Mg	Al
Э.д.с. пары сталь-протектор, В	0,35...0,55	0,85...1,2	0,35...0,65
Практическая токоотдача, А·с/кг	(280...290)·10 ⁴	(395...430)·10 ⁴	(540...870)·10 ⁴
КПД протектора, %	95	50...5	50...80
Расход протектора, мг/А·с	0,38	0,25	0,11...0,18

Так, для защиты трубопроводов наибольшее распространение получили стержневые протекторы, их развитием являются наматываемые на объект защиты проволоочные и ленточные конструкции [12], для защиты судов используются пластинчатые и вытянутые протекторы [12]. Несмотря на наличие разработок, направленных на улучшение контроля за расходом протектора и повышение его долговечности, описанные выше конструкции малоприспособны для защиты установок сложной формы (например, теплообменников) из-за относительной недоступности защищаемых поверхностей и нежелательности уменьшения проходного сечения.

По-видимому, следующим логичным шагом в разработке простых по технологии и плотноприлегающих к защищаемой поверхности протекторов является переход к покрытиям. В обзоре [1,11,13-15] показано, что для трубчатых теплообменников нанесение на трубы покрытий с протекторными свойствами является наиболее перспективным направлением в коррозионной защите. Протекторные покрытия могут наноситься гальванически, химически и диффузионно [1,11]. Гальванический цинк оказался наиболее эффективным покрытием в промышленной атмосфере в присутствии двуокиси серы. Питтинговая коррозия алюминиевого сплава также была предотвращена его диффузионным цинкованием [11]. Высокие протекторные свойства цинко-алюминиевых диффузионных покрытий на сталях отмечены в [1,11].

По-видимому, покрытия являются наиболее технологической конструкцией протектора в случае защиты сложного стального оборудования. Однако, рассмотренные выше способы создания покрытий имеют серьезные технологические ограничения при обработке реальных длинномерных жестких изделий. В значительной мере эти ограничения можно преодолеть при использовании газотермического напыления. [13-15]. При сравнительном анализе этих способов следует учитывать также пористость покрытий и прочность их сцепления с основанием. Газопламенное напыление обеспечивает (при напылении алюминием) пористость 10...15%, а сцепление 20...30 МПа. Для металлов при этом имеет место окисление поверхности частиц. При электродуговой металлизации пористость несколько ниже, а сцепление в 1,5...2 раза выше, но окисление напыляемых частиц интенсифицируется. Напылять в этом случае можно только электропроводные материалы. При плазменном напылении пористость металлических покрытий может быть снижена до 0,5...8%, а сцепление доведено до 70 МПа.

При нанесении протекторных покрытий возможно использование более экономичных способов электродугового и газопламенного напыления, поскольку напылять нужно только металлы с относительно низкой температурой плавления. Пористость покрытия при этом имеет второстепенное значение, так как защита носит активный электрохимический характер. При ударе напыляемых частиц о подложку происходит их совместная микродеформация. В результате на границе покрытие-основа образуется переходная зона, толщина которой в некоторых случаях (например, при напылении молибдена на сталь) достигает 1 мкм и может быть обнаружена

металлографически [12-15]. В этой зоне может иметь место сплавление, диффузионное взаимодействие, химическая реакция, микроперемешивание. Следствия такого локального взаимодействия - высокий уровень сцепления покрытий, отсутствие существенного макроперемешивания материалов покрытия и основы (а значит - сохранение электрохимических свойств покрытия) надежный электрический контакт покрытия и подложки. Распределение напыленных частиц по металлizationному конусу является неравномерным - наибольшее количество их летит по его оси. При этом именно центральные частицы обладают наибольшей температурой и скоростью. Следствием является неравномерность толщины покрытия по сечению металлizationного пятна. Обычно принимают, что это распределение подчиняется нормальному закону, что позволяет прогнозировать неравномерность толщины покрытия и оптимизировать его свойства [13- 15].. Из процессов химического взаимодействия напыляемых частиц с окружающим их при полете газом наиболее важным является в рассматриваемом случае возможность окисления. Так, в случае напыления алюминиевых покрытий имеет место их пассивация вследствие наличия мелких и равномерно распределенных в покрытии оксидов [13-15]. Напыленный цинк при толщине 30 мкм приобретает стабильный отрицательный потенциал по отношению к стали и обеспечивает надежную протекторную защиту. В ряде случаев успешно защищают от коррозии сплавы на основе цинка. Алюминиевые покрытия предпочтительно применяют для конструкций, работающих в промышленной атмосфере, морской и пресной воде при повышенных температурах. Так, покрытие толщиной 80...100 мкм на корпусе морского буксира (площадь напыления 482 м²) позволило значительно повысить его коррозионную стойкость. Многолетние испытания в морской воде подтверждают высокую стойкость покрытий из чистого алюминия - практически полное отсутствие раковин и следов коррозии. Применяется алюминиевое покрытие и для защиты подземных трубопроводов [45] , но в этом случае, нарушения сплошности слоя вызывают интенсивную коррозию стали. Выходом является использование комбинированного покрытия - подслоя из напыленного алюминия, покровный слой - полимерное покрытие. Двухслойным покрытием, полученным электродуговым напылением алюминиевого слоя - кремнийорганического лака, защищены кожух холодильника, конус вытяжной трубы [13-15].

Выводы:

- несмотря на успехи в разработке общей теории коррозии, решение такой важной задачи как защита от коррозии теплообменников из углеродистых сталей невозможно без дополнительных исследований. Для их проведения необходимо разработать корректную методику испытаний и анализа их результатов с учетом характера коррозии, влияния ржавчины, реальных тепловых и гидродинамических условий, а также с учетом физических представлений о механизме коррозионных процессов;
- наиболее перспективным с технической и экономической точек зрения для защиты водоохлаждаемых стальных теплообменников, представляется использование протекторных покрытий, напыляемых газотермическими методами.
- существуют предпосылки для успешного напыления таких покрытий: определены возможные материалы покрытий, существуют технические средства для их нанесения;
- невозможно реализовать напыление покрытий для защиты теплообменников от коррозии по следующим основным причинам: нет данных о том, какие из известных протекторных сплавов работоспособны в реальных условиях эксплуатации теплообменных аппаратов; не разработаны способы достижения высокой термомеханической устойчивости покрытий при длительной эксплуатации при наличии температурного градиента.

Сделанные выводы подтверждают актуальность проблемы и возможность коррозионной защиты водоохлаждаемых теплообменников из углеродистой стали без усложнения их конструкции и снижения теплопередачи путем комплекса материаловедческих, методических и технологических исследований в следующей последовательности:

- разработать принципы создания напыляемых протекторных покрытий, что позволит отбирать и оценивать материалы для напыления с точки зрения их технологичности, воспроизведения протекторных свойств при напылении и сохранения их при эксплуатации;

- реализовать эти принципы в форме конкретных покрытий с повышенной термомеханической устойчивостью в условиях эксплуатации теплообменника;

- создать надежную методику контроля коррозионных испытаний теплопередающих элементов в условиях, моделирующих режим эксплуатации;

- разработать методику прогнозирования долговечности теплообменника в отсутствие и при наличии коррозионной защиты. Такую методику создать на основе анализа данных модельных испытаний, выявления контролирующего фактора процесса и современных физико-химических представлений о природе коррозионного разрушения;

- разработать оборудование и промышленные технологии для нанесения протекторных покрытий, их промышленные испытания и внедрить. Дать рекомендации к промышленному использованию разработанных покрытий после сравнительных стендовых испытаний вместе с существующими альтернативными средствами коррозионной защиты.

Список литературы

1. Теплообменное оборудование XXI для ГТУ нового поколения. Аношкин Ю.И., Походяев С.Б., Ялин В.А. / Газотурб. технол. 2007, №4, С. 20-23.
2. Коррозия: Справ. изд. под ред. Л.Л. Шрайнера. Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1981. – 682с.
3. Кеше Г. Коррозия металлов. Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1984. – 400с.
4. Пахомов В.С. Современное состояние исследований коррозии металлов в условиях теплопередачи // Коррозия и защита теплообменного оборудования. Тезисы докладов семинара. – М.: НИИТЭХИМ, 1982, С.5-7.
5. Техника борьбы с коррозией в 2-х томах. Р. Юхневич, В. Богданович, Е. Валашковский, А. Дидуковский.: Пер. с польск. под ред. Сухотина А.М. – Л.: Химия, 1978-1980. – 532с.
6. Иоссель Ю.Я., Кленов Г.Э. Математические методы расчета электрохимической коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 272с.
7. Защитные цинковые покрытия: сопоставительный анализ свойств, рациональные области применения. Проскурин Е. Нац. металлургия – оборуд. 2005, №4, С. 70-75.
8. Протекторный алюминиевый сплав для теплообменников, композиционный материал из алюминиевого сплава, стойкий против коррозии, и теплообменник с использованием указанного композиционного материала. Corrosion protective sacrificial aluminum alloy for heat exchanger and aluminum alloy composite material highly resistant to corrosion for heat exchanger and heat exchanger using said composite material: Заявка 1038984 ЕПВ, МПК⁷ С 22 С 21/00, В 23 К 35/22. Calsonic Kansei Corp., Yoshidomi Yuji, Hirohashi Junichiro (Forstmeier, Dietmar, Dr. rer. nat., Dipl.-Chem. et al Boeters & Bauer, Bereiteranger 15 815441 Munchen DE). № 99944767.5; Заявл. 22.09.1999; Опубл. 27.09.2000.
9. Цинк – значение его в качестве антикоррозионного материала. Zink – Bedeutung als Korrosionsschutzstoff / Schmidt J. // Praktiker. – 1996/ - 48, №11. – С. 508, 510, 512 -513. – Нем.
10. Алюминий – кремниевый сплав защищает от коррозии. Aluminium-Silizium-Legierung schützt vjr Korrosion // Ind/-Anz. – 1996/ - 118, № 47-48. – С. 56. – Нем.
11. Толмачев Н.Д. Защита металлических конструкций от коррозии протекторами. – М.: Оборонгиз, 1996.
12. Оптимальные конструкции теплообменников. Differential evolution strategies for optimal design of shell-and-tube heat exchangers. Babu B.V., Munawar S.A. Chem. End. Sci/ 2007/ 62, № 14, С. 3720-3739. Англ.
13. Антикоррозионные защитные Zn-покрытия на стали, полученные металлизацией. Protection anticorrosion de l'acier par metallization au zinc / Gueguen T. // Galvano-organo-trait. surface/ - 1992/ -

- № 627. – С. 569-570. – Фр.
14. Цинк, термически напыленный. Zink, thermisch gespritzt / Leuze G. // Praktiker/ - 1988/ - 40, №9. – С. 429-430, 433-434. – Нем.
 15. Напыленное Zn-покрытие. Sprayed zinc coating // Trät. e finit. – 1994/ - 34, № 11-12. – С. 27-31.- Ит.

Б. Ляшенко, А. Шевченко, А. Соловух, В. Лопата

Підвищення якості корозійного захисту теплообмінної апаратури

У статті показана актуальність вивчення причин корозії водоохолоджуваної теплообмінної апаратури і розробки способу її корозійного захисту з метою підвищення надійності теплообмінного устаткування і зниження витрат на його ремонт. На підставі вивчення фізико-хімічних особливостей корозії поверхонь, що передають тепло, і способів їх захисту від неї, запропонований метод напылення корозійностійких протекторних покриттів дискретної структури.

B. Liaychenko, A. Shevchenko, A. Solovykh, V. Lopata

Upgrading corrosive defence of heat-exchange apparatus

In the article actuality of study of reasons of corrosion of the water to cool heat-exchange apparatus and development of method of its corrosive defence is shown with the purpose of increase of reliability of heat-exchange equipment and decline of expenses on his repair. On the basis of study of physical and chemical features of corrosion of warmly to pass surfaces and methods of their protecting from it, the method of spraying of protector coverages of discrete structure is offered.

Одержано 28.03.11

УДК 621.56:621.584.3

О. В. Скрипник, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

В. В. Клименко, проф., канд. техн. наук

Полтавський національний технічний університет

Газогідратна технологія утилізації двооксиду вуглецю із сатураторного газу цукрового виробництва

Розроблено принципову схему та термодинамічний цикл альтернативної газогідратної технологічної установки утилізації двооксиду вуглецю, в якій передбачено отримання CO₂ із відпрацьованого сатураторного газу цукрового виробництва у вигляді льодогідратних капсул двооксиду вуглецю і сухого льоду. Отримано розрахункові рівняння, необхідні для проектування газогідратних елементів розглянутої установки, а саме кристалізатора газогідратів і утворювача льодогідратних капсул

утилізація, сатураторний газ, газогідрат CO₂, процес гідратування, льодогідратна капсула

Сучасне виробництво бурякового цукру передбачає отримання двооксиду вуглецю для технологічних потреб. CO₂ у складі сатураторного газу застосовується для осадження вапна в бурячному соку в процесі I і II сатурації. Відпрацьований сатураторний газ, який містить 30 ÷ 32 % CO₂, викидається в атмосферу [1]. Зменшити забруднення атмосфери відходами цукрового виробництва можна шляхом утилізації двооксиду вуглецю із сатураторного газу. Розповсюджені промислові технології