

менклатуры обрабатываемых изделий, с повышением эффективности технологического процесса, с созданием нового оборудования, адаптированного для работы в условиях промышленного производства. Вакуумно-дуговая очистка является на сегодняшний день наилучшим методом подготовки поверхности для нанесения различных покрытий, в том числе и лакокрасочных, повышая их срок службы в несколько раз, по сравнению с использованием химической подготовки поверхности. Очистку можно осуществлять на изделиях любых геометрических размеров, как простой, так и сложной геометрической формы.

Применительно к вагонному хозяйству перспективным направлением является разработка оборудования для очистки таких важных изделий, как боковая рама тележки вагона или колесная пара, с целью повышения эффективности их дефектоскопии. Кроме того, возможно создание установки для очистки крупногабаритного листового металла под покраску, что значительно продлит срок службы лакокрасочного покрытия. Существенно повышается качество сварных соединений и их срок службы, если поверхности изделий под сварку предварительно очищают вакуумно-дуговым методом. В ряде случаев срок службы деталей можно увеличить путем закалки их поверхностного слоя вакуумно-дуговым методом.

Таким образом, вакуумные ионно-плазменные процессы на основе вакуумно-дуговой обработки поверхности изделий могут стать эффективным средством повышения надежности и срока службы железнодорожного оборудования, обеспечения безопасности движения поездов.

Литература

1. Кузнецов В.Г. Вакуумная электродуговая очистка поверхности металлопроката — новое направление в металлообработке. // Труды 7-й Международной конференции «Ленки и покрытия-2005», Санкт-Петербург, 2005, с. 57 — 62.
2. Кузнецов В.Г., Левшаков В.М., Штененкова Н.А., Суздаев И.В. Вакуумная электродуговая очистка катанки от окислы. // Тез. докл. Всероссийского семинара «Вакуумная техника и технология-2002», Санкт-Петербург, 2002, с. 42 — 43.
3. Штененкова Н.А., Шумилов В.П., Кузнецов В.Г., Шалимов А.Г., Соколов О.Г. Оптимизация геометрии и конструкции устройства электродуговой вакуумной очистки рулонного проката. // Вестник технологии судостроения. 2005, № 13, с. 43 — 50.
4. Ширинов И.Г. Электродуговая вакуумно-гравитационная очистка стального листового металлопроката // Металлообработка. — 2001, № 3, с. 16 — 18.
5. Кузнецов В.Г., Лисенков А.А. Способ закалки стальных изделий. Патент на изобретение № 2386705, С21D 1/06. Бюллетень № 11 от 20.04.2010. Заявка № 2009115213/02, 24.04.2009.
6. Пониматкин В., Кузнецов В., Сапожников С. Технология идеальной чистоты. Промышленная стратегия. 2011, июнь, с. 50 — 52.
7. Индейцев Д.А., Кузнецов В.Г., Пониматкин В.П. Способ обработки поверхности изделий дуговым разрядом в вакууме и устройство для его осуществления. Решение о выдаче патента от 12.03.2012 по заявке № 20111105890.

КОРРОЗИЯ СОКРАЩАЕТ РЕСУРС МИНЕРАЛОВОЗА

П.С. Маев, Инженерный центр вагоностроения, г. Санкт-Петербург

Одним из важных этапов комплекса работ по продлению срока службы вагонов-хопперов является оценка их остаточного ресурса. При этом основным критерием, определяющим срок безопасной эксплуатации хопперов-минераловозов, является скорость коррозионного износа элементов кузова. Как показал опыт диагностирования вагонов, накопленный специалистами Инженерного центра, для парка минераловозов характерен неравномерный износ. Это объясняется тем, что скорость коррозии элементов вагонов зависит от свойств материала кузова, свойств перевозимого груза и климатических особенностей региона эксплуатации.

Оценка остаточного ресурса вагонов-хопперов проводится в соответствии со специальной методикой, разработанной специалистами Инженерного центра в 2009 г. Данная методика регламентирует комплекс работ по диагностированию технического состояния вагонов и позволяет прогнозировать скорость коррозии элементов кузова в случае, если условия последующей эксплуатации вагона остаются без изменений.

Однако на практике в процессе эксплуатации минераловозов периодически происходит изменение номенклатуры перевозимых грузов и регионов курсирования из-за нестабильности рынка минеральных удобрений. Это обстоятельство не позволяет применять действующую методику без уточнения алгоритма прогнозирования срока безопасной эксплуатации в части коррозионной стойкости кузова вагона с учетом планируемых условий его эксплуатации.

Чтобы актуализировать методику оценки остаточного ресурса вагонов-хопперов, коллективом Инженерного центра были решены две задачи. Первая состояла в определении критериев оценки коррозионной стойкости кузова вагона. Вторая задача предусматривала классификацию грузов по основному фактору, определяющему их коррозионную агрессивность по отношению к металлоконструкции вагона.

На первом этапе для определения критериев коррозионной стойкости кузовов вагона были проанализированы конструкторская и эксплуатационная документация на вагоны, а также требования действующих нормативных документов.

Технические условия на изготовление минераловозов включают в себя две различные модели с особыми требованиями к сроку службы и системам ремонта вагонов. Первая модель пред-

назначена для перевозки неагрессивных грузов, срок эксплуатации таких вагонов составляет 26 лет. Вторая — для перевозки агрессивных минеральных удобрений, способствующих повышенному коррозионному износу элементов кузова, вследствие чего имеет сокращенный в 2,5 раза срок службы (10 лет). При этом отсутствуют четкие критерии оценки коррозионной агрессивности минеральных удобрений по отношению к элементам вагона.

Для формирования критериев оценки коррозионной стойкости кузовов вагонов-минераловозов был выполнен анализ применяемых в различных отраслях промышленности систем классификации металлов по их способности противостоять коррозии. В настоящее время используются десяти- и пятибалльные шкалы оценки коррозионной стойкости металлов.

Десятибалльная шкала была введена Государственным стандартом СССР [1] и предусматривает градацию по показателю потери массы образца (K) за определенный период времени на единицу площади:

$$K = (m_0 - m_1) / S t \text{ (г/м}^2\text{ч)},$$

где m_0 — масса образца до погружения в раствор;

m_1 — масса образца после извлечения из раствора;

S — площадь поверхности образца;

t — время нахождения в растворе.

Недостатком данного подхода является то, что показатель потери массы может рассматриваться только как количественная характеристика вагона в целом, а согласно требованиям существующих методик оценка технического состояния подвижного состава проводится поэлементно. То есть данный подход к классификации металлов ориентирован на лабораторные испытания и применение его в отрасли вагоностроения неэффективно.

Пятибалльная шкала широко применяется в России, США и Германии. Критерием коррозионной стойкости в этом случае является скорость коррозии, выраженная через показатель утонения металла за определенный период времени:

$$V_{\text{кор}} = (h_0 - h_1) / t \text{ (мм/год)},$$

где h_0 — номинальная толщина металла;

h_1 — толщина на момент диагностики;

t — срок эксплуатации.

Этот подход используется и в отечественном вагоностроении. Однако категории коррозионной стойкости металлов рассматриваемой системы классификации имеют очень широкие диапазоны. Например, к стойким метал-

лам отнесены те, скорость коррозии которых составляет до 10 мм/год, а это сопоставимо с толщинами большинства несущих элементов хоппера. Поэтому рассматриваемая шкала оценки коррозионной стойкости кузовов вагонов должна быть доработана ввиду относительно малых толщин элементов.

В результате проведенного анализа систем классификации металлов установлено, что для оценки коррозионной стойкости кузова вагона целесообразно применять метод, основанный на дифференцировании по количественному показателю утонения металла. При этом классификацию следует выполнять по пятибалльной шкале, доработанной с учетом специфики отрасли вагоностроения.

Для доработки шкалы, в объеме первого этапа работы, был проведен анализ конструкторской документации на минераловозы, действующих нормативных документов, а также статистики толщинометрии, накопленной при диагностировании вагонов. В итоге была сформирована шкала, разделяющая кузова вагонов на четыре категории коррозионной стойкости в зависимости от скорости коррозии элементов.

К первой категории предложено отнести вагоны, скорость коррозии элементов кузовов которых при взаимодействии с грузом не превышает атмосферной коррозии, определяемой в соответствии с «Нормами...» [2], и соответствующей для вагонов данного типа 0,05 мм/год. Рассматриваемая категория включает в себя металлы, у которых среда перевозимого груза не вызывает коррозионного износа.

Определение границы второй категории было проведено на основании анализа технической документации на самую массовую модель хопперов-минераловозов — 19-923 и результатов коррозионных испытаний [3].

Для вагонов данной модели, как и для других, предусматривались два различных срока службы в зависимости от перевозимого груза. Коррозионный износ от воздействия груза, согласно «Нормам...» учитывается при выборе толщин несущих элементов конструкции вагона. Это утверждение позволяет оценить пороговое значение скорости коррозии, которое характеризует агрессив-

ность груза, принятое при проектировании данных вагонов.

Чтобы определить пороговое значение, был проведен анализ результатов коррозионных испытаний металлов [4, 5, 6], выполненных советскими учеными. Результаты испытаний были сопоставлены со списками грузов (агрессивных и неагрессивных), представленными в руководстве по эксплуатации вагона модели 19-923 (рис. 1).

Таким образом, установлено, что при проектировании вагонов-минераловозов, пороговым значением скорости коррозии металлоконструкции, определяющим коррозионную агрессивность груза, является значение 0,1 мм/год. Также скорости коррозии определены для других моделей минераловозов, кузова которых изготовлены из конструкционных марок сталей 09Г2Д, 10ХНДП и 12Х18Н12М3А.

За верхнюю границу третьей категории, соответственно и нижнюю четвертой, было принято максимальное значение скорости коррозии по результатам испытаний — 0,5 мм/год, так как при большей скорости коррозии ресурс вагона-хоппера будет ниже минимального нормативного срока службы (10 лет).

Сформированная в результате первого этапа работы шкала коррозионной стойкости металлов, применяемых в вагоностроении, приведена в табл. 1.

Первые две категории, согласно техническим условиям на вагоны-минераловозы, соответствуют показателям коррозии при перевозке неагрессивных грузов. Третья категория определяет границы скорости коррозии при транспортировании агрессивных грузов и нормативном сроке службы вагона 10 лет. Условия эксплуатации, провоцирующие коррозию со скоростью более 0,5 мм/год, соответствуют четвертой категории, подразумевают применение специальных средств, защищающих металлоконструкцию от воздействия груза.

На следующем этапе работы был выявлен основной фактор, определяющий коррозионную агрессивность груза. Для этого проведен анализ статистических данных, накопленных при выполнении работ по продлению срока службы минераловозов. В результате было установлено, что вагоны одной и той же модели, перевозящие одинаковые грузы, но эксплуатируемые в различных климатических условиях, имеют разный коррозионный износ элементов. При прогнозировании срока службы этих вагонов не был учтен фактор, характеризующий среду эксплуатации.

Прогнозирование срока службы хопперов проводится на основании данных о скорости коррозии, которая определяется по результатам коррозионных испытаний. Для выявления фактора, характеризующего среду эксплуатации, были рассмотрены механизм и методика коррозионных испытаний.

Как правило, испытания проводят путем погружения металла в раствор минерального удобрения. Скорость коррозии при этом в значительной степени зависит от концентрации подготовленного раствора. С увеличением концентрации скорость сначала возрастает вследствие повышения проводимости раствора, а затем снижается из-за уменьшения растворимости кислорода.

Максимальная скорость коррозии наблюдается при средних концентрациях растворов 20—40%, а коррозионное воздействие растворов минеральных удобрений на высоколегированную нержавеющую сталь практически отсутствует (см. рис. 1). По отношению к низколегированной и углеродистой сталям агрессивными являются только три вида удобрений: аммиачная селитра, нитроаммофоска и хлористый калий.

Однако процесс коррозии в реальных условиях эксплуатации вагонов-хопперов носит несколько другой ха-

Таблица 1

Шкала коррозионной стойкости металлов кузовов вагонов-хопперов

Категория	Скорость коррозии (мм/год)	Коррозионная стойкость
I	менее 0,05	совершенно стойкие
II	от 0,05 до 0,1	стойкие
III	от 0,1 до 0,5	малостойкие
IV	более 0,5	нестойкие

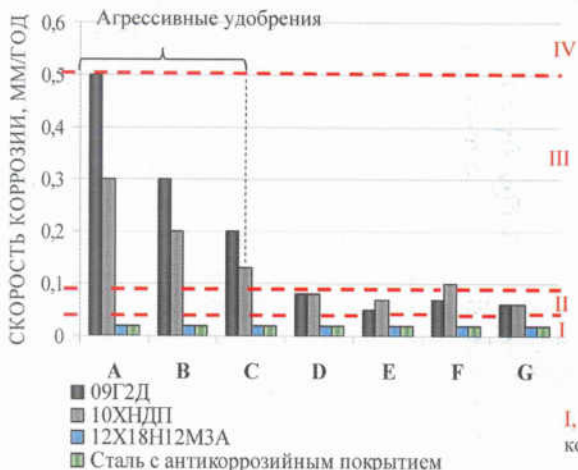


Рис. 1. Коррозия сталей в растворах минеральных удобрений

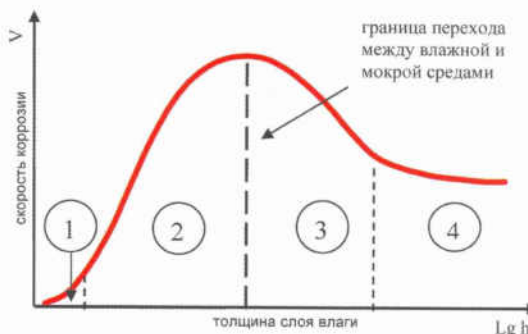


Рис. 2. График зависимости скорости коррозии от степени увлажнения поверхности

Классификация удобрений по растворимости и гигроскопичности

Растворимость	Гигроскопичность, гигроскопическая точка, %	Наиболее распространенные удобрения	Степень Коррозионной активности
Малорастворимые < 1 г на 100 г H ₂ O	Негигроскопичные 80 — 90	Простой суперфосфат, двойной суперфосфат, фосфоритная мука	1
Хорошо растворимые ≥ 1 г на 100 г H ₂ O	Слабогигроскопичные 70 — 80	Калиевая и натриевая селитры, карбамид, хлористый калий, сильвинит, сульфат аммония	2
	Гигроскопичные 60 — 70	Аммофос, калийно-аммиачная селитра, нитроаммофоска, хлористый аммоний	3
	Сильногигроскопичные < 60	Аммиачная селитра, суперфосфат аммонизированный, аммиачная селитра и хлористый калий	4

раक्टर, так как происходит не в растворе, а в увлажненной массе удобрений. Механизм разрушения элементов металлоконструкции вагона, контактирующей с удобрениями, обусловлен тем, что из-за гигроскопичности частиц удобрений влага воздуха образует на поверхности детали адсорбционные пленки, которые выполняют функции электролита. На интенсивность коррозии влияют также химический состав удобрений и качество обработки поверхности металла.

Характер коррозионных процессов, происходящих на поверхности металлических элементов минераловозов, аналогичен атмосферной коррозии, но усугубляется присутствием растворов солей. График зависимости скорости коррозии от толщины слоя влаги на корродирующей поверхности, установленный при исследовании атмосферной коррозии [7], приведен на рис. 2. Для подробного рассмотрения процессов,

происходящих при взаимодействии кузова с перевозимым грузом, график был разделен на четыре зоны, соответствующие степени увлажненности поверхности металла, контактирующей с массой перевозимого груза.

Первый участок — область сухой среды. Он соответствует случаю, когда на поверхности детали образуется пленка влаги толщиной не более 1 — 10 нм, скорость коррозии при этом минимальная. Таким образом, сухая среда не оказывает большого разрушающего действия на поверхность металла.

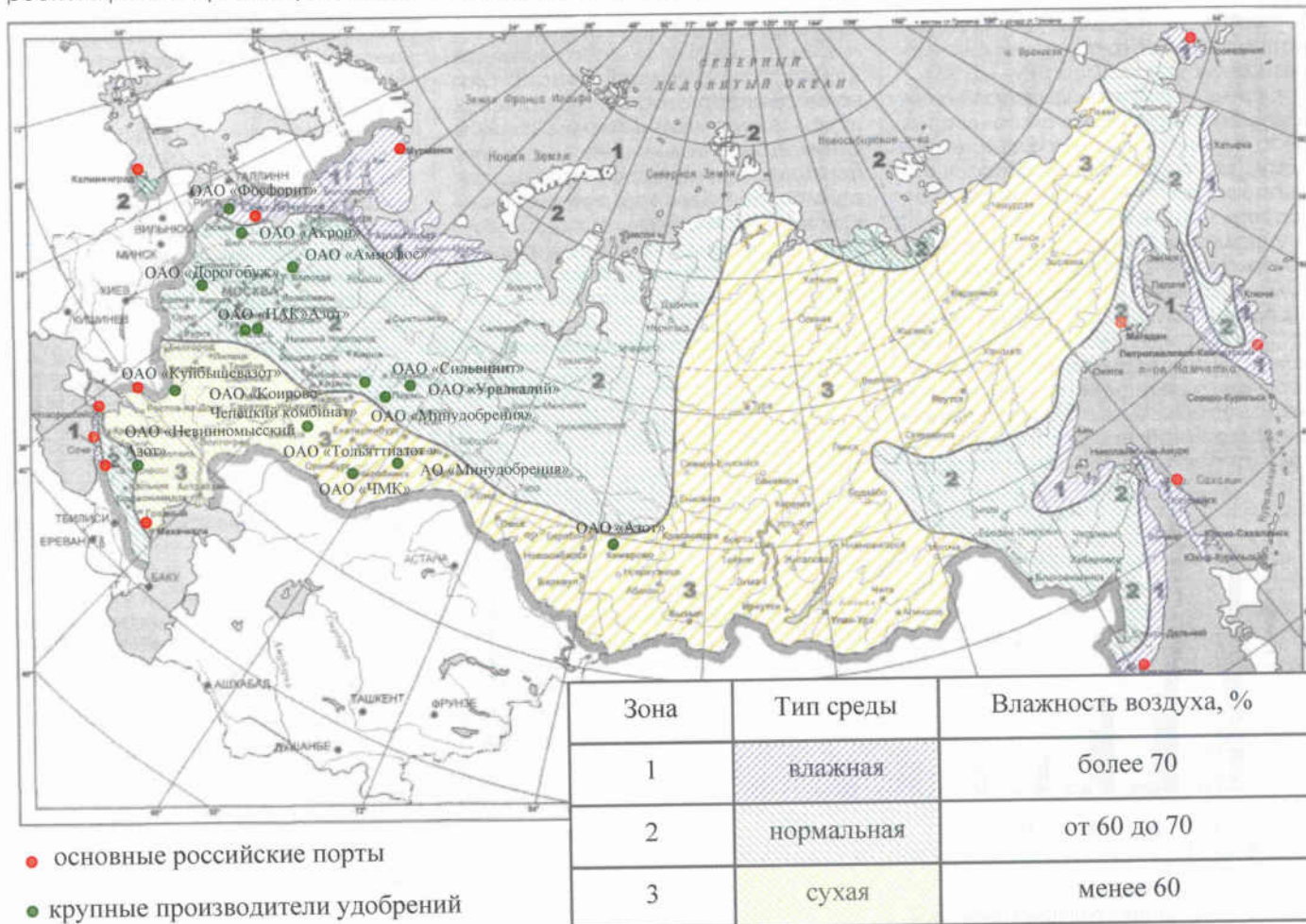
Второй участок — область влажной среды. При этом на поверхности металла в зазорах между деталями, трещинах и порах образуется слой влаги толщиной 10 — 100 нм. В этой зоне скорость коррозии интенсивно растет при увеличении увлажненности поверхности.

Область мокрой среды (третий участок) характеризуется появлением види-

мой пленки влаги толщиной от 1 мкм до 1 мм. В данном случае коррозия по своему механизму приближается к электрохимической при погружении детали в электролит. По мере увеличения толщины слоя влаги скорость коррозии уменьшается, так как затруднена диффузия кислорода.

Четвертый участок более всего соответствует условиям проведения коррозионных испытаний, т.е. коррозии при полном погружении металла в раствор удобрения. При дальнейшем увеличении толщины слоя влаги на поверхности металла скорость коррозии практически не изменяется.

По результатам анализа графика (см. рис. 2) установлено, что максимальная скорость коррозии наблюдается на границе между мокрой и влажной средами, что соответствует реальным условиям эксплуатации основной части минераловозов. Прежде всего, это связано с конденсацией накоплен-



- основные российские порты
- крупные производители удобрений

Рис. 3. Схема климатических зон территории РФ с локализацией предприятий и объектов инфраструктуры

ной удобрениями влаги, количество которой определяется гигроскопичностью перевозимого груза.

Гигроскопичность удобрений является главным фактором коррозии деталей, работающих в непосредственном контакте с ними. В большинстве случаев скорость коррозии металлов определяется так называемой гигроскопической точкой, при которой появляется сплошная пленка влаги на корродирующей поверхности детали.

На основании проведенного анализа установлено, что степень агрессивного воздействия минеральных удобрений зависит от их вида, химического состава, дисперсности, температуры воздуха, но, главным образом, от их влажности. Следовательно, целесообразно выполнить классификацию грузов не по степени коррозионной активности их растворов, а по их способности к растворению в воде и значению гигроскопической точки (табл. 2).

Согласно данной классификации, все минеральные удобрения подразделены на четыре группы в зависимости от степени коррозионной активности, характеризующей их агрессивность по отношению к металлу во влажной среде. В свою очередь, коррозионная агрессивность среды напрямую зависит от количества воды, находящейся в области контакта металлических элементов вагона с массой удобрений. Так как основную массу влаги перевозимые удобрения поглощают из окружающего воздуха, критерием оценки степени агрессивности среды, помимо коррозионной активности груза, является влажность воздуха.

Оценить влияние окружающей среды на агрессивность удобрения возможно через показатель относительной влажности воздуха. Для этого, используя рекомендации строительной климатологии, на территории Российской Федерации были выделены три условные зоны (влажная, нормальная и сухая), в зависимости от среднегодовой атмосферной влажности (рис. 3). После чего для оценки влажности воздуха, при которой происходит эксплуатация основной части парка минераловозов, были проанализированы направления транспортировки удобрений, локализация производителей удобрений и объектов инфраструктуры.

В связи с тем, что на сегодняшний день отрасль производства минеральных удобрений ориентирована на экспорт, доставка грузов до потребителя осуществляется, в основном, морским путем. Железнодорожным транспортом выполняются внутриконтинентальные перевозки и доставка удобрений до портов. Таким образом, курсирование минераловозов происходит главным образом через зоны высокой и нормальной атмосферной влажности.

На заключительном этапе была сформирована итоговая таблица для определения коррозионной стойкости кузовов минераловозов в зависимости от материала, степени коррозионной активности груза и влажности среды эксплуатации (табл. 3).

Таблица 3
Классификация минераловозов по коррозионной стойкости с учетом условий эксплуатации

Материал кузова	09Г2Д			10ХНДП			12Х18Н12М3А			Покрытие			
	4	II	IV	IV	I	III	IV	I	I	II	I	I	I
Степень коррозионной активности груза	3	I	IV	IV	I	III	III	I	I	I	I	I	I
	2	I	II	III	I	II	III	I	I	I	I	I	I
	1	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	I, II, III, IV* категория коррозионной стойкости												
Зона влажности													
Сухая													
Нормальная													
Влажная													
Сухая													
Нормальная													
Влажная													
Сухая													
Нормальная													
Влажная													

I II III IV категории коррозионной стойкости в соответствии с таблицей 1

Таблица 4
Поправочные коэффициенты к сроку службы вагонов

Категория коррозионной стойкости	Поправочный коэффициент	Срок службы с учетом коэффициента, лет
I	1—2	26—52
II	1	26
III	0,4	10,3
IV	—	< 10

Использование данной таблицы позволяет определить коррозионную стойкость кузова вагона-хоппера при заданных условиях эксплуатации. Предложенный метод учитывает свойства материала кузова, физические свойства перевозимого груза, а также климатические характеристики региона курсирования вагона.

В результате проведенной работы была выявлена зависимость срока службы вагона-минераловоза от условий его эксплуатации. На основании этого были предложены поправочные коэффициенты, которые должны применяться к нормативному сроку службы вагона при планировании условий его эксплуатации, чтобы исключить возникновение аварийных ситуаций. Данные коэффициенты определены, исходя из рекомендаций изготовителей вагонов и опыта, накопленного при проведении работ по продлению срока службы вагонов, и приведены в табл. 4.

Коэффициент 1—2 означает, что для вагона, имеющего I категорию коррозионной стойкости кузова, по окончании нормативного срока службы целесообразно его продление на основании результатов технического диагностирования и предполагаемых условий эксплуатации.

Коэффициент 0,4 соответствует рекомендациям изготовителей хопперов-минераловозов при перевозке агрессивных грузов и обеспечивает снижение нормативного срока службы до 10 лет и 4 месяцев.

Вагоны, для которых характерна IV категория коррозионной стойкости, не должны использоваться без специальных защитных покрытий, так как фактический ресурс их кузовов не обеспечивает безопасной эксплуатации на протяжении нормативного срока службы.

В результате выполненной Инженерным центром работы была уточнена методика оценки ресурса хопперов-минераловозов, учитывающая конструктивные особенности вагона, свойства

перевозимого груза и климатические условия эксплуатации. Использование классификации минераловозов, сформированной в ходе работы, позволяет определить коррозионную стойкость кузова хоппера при заданных условиях эксплуатации, что обеспечивает возможность достоверно прогнозировать остаточный срок службы вагона.

Предложенные поправочные коэффициенты к нормативному сроку службы вагона необходимо использовать при подборе модели, обеспечивающей максимально высокий уровень коррозионной стойкости в конкретных условиях эксплуатации. Это позволит рационально расходовать ресурсы вагонов-хопперов при перевозке минеральных удобрений, что, в свою очередь, окажет положительное влияние на экономику железнодорожного транспорта России в целом.

Список литературы

- ГОСТ 13819-68 Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.
- Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 317 с.
- Маев П.С. Перспективы эксплуатации парка специализированных вагонов, предназначенных для перевозки минеральных удобрений // «Транспорт Урала» 2011 г. № 2 (29), с. 51—55 (журнал).
- «Научно-технический отчет о сроках службы строительных конструкций в условиях агрессивных сред». ГОСХИМПРОЕКТ, шифр N2372, 1982 г.
- Мохов А.Г., Лапшин В.Ф., Иванова Т.В., Соколов В.Н., Паршин П.В. Коррозионно-электрохимическое поведение вагонных сталей марок 09Г2 в среде хлористого калия // «Транспорт Урала», 2006 г., № 3 (10), с. 52 (журнал).
- Коррозия и надежность железнодорожной техники / Всерос. НИИ ж.-д. трансп.; Под ред. А.Д. Конюхова. — М.: Транспорт, 1995. — 173 с.
- Жук Н.П. Курс коррозии и защиты металлов. Москва, «Металлургия», 1968 г.