

# Антикоррозийная защита технологического оборудования: основные особенности и экономическая выгода применения на производстве<sup>S</sup>

**Р.С. РЕШЕТОВА**, д-р техн. наук (e-mail: reshetova.raisa@mail.ru)

ФГБОУ «Кубанский государственный технологический университет»

**Ю.И. БАЦКО**, инспектор по визуальному и измерительному контролю качества окрасочных работ,

генеральный директор (e-mail: 93sps@mal.ru)

ООО «СтройПромСнаб», г. Краснодар

## Введение

На сегодняшний день темпы производства сахара в Российской Федерации растут. Активной политикой некоторых компаний является расширение производства, повышение объёмов сбыта продукции, увеличение чистой прибыли. Однако достичь данных результатов в перспективе возможно лишь при должной организации управленческой деятельности, в том числе в части обслуживания предприятия. Именно от руководства компании зависит принятие своевременных мер по предотвращению разрушения оборудования.

В эпоху острой нехватки денежных средств вследствие кризисного положения многих компаний немаловажным фактором выступает сохранение текущих основных средств предприятия за счёт сокращения объёмов амортизации производства. Как показывает практика, сроки службы оборудования сокращаются под влиянием различных обстоятельств: неправильной эксплуатации, отсутствия надлежащего своевременного технического обслуживания, человеческого воздействия, загрузки и времени использования, его качества. Стоит отметить, что наиболее быстрое изнашивание технологического оснащения производства наступает по причине коррозии, которая может повредить как несущественные (легкозаменяемые) части оборудования, так и важные, дорогостоящие детали и механизмы. В некоторых случаях быстрый износ оборудования обусловлен спецификой отраслей производства при отсутствии антикоррозийной обработки металлов. Зачастую руководство предприятий склонно неоправданно экономить, не обеспечивая защиты оборудования от коррозии на должном уровне, что в перспективе приводит к огромному росту затрат на его замену в целом. Конечно, анти-

коррозийная защита не гарантирует вечную сохранность оборудования, однако способна существенно продлить сроки его службы. Заметим, что в условиях роста цен на импортные товары и отсутствия отечественных аналогов расходные статьи бюджета предприятия при замене технологического оборудования увеличиваются в несколько раз.

## Обоснование целесообразности антикоррозийной защиты оборудования

Нами проанализированы множественные аспекты защиты технологического оборудования, а также сделан подсчёт экономической выгоды применения антикоррозийной защиты на предприятиях сахарного производства. С целью выбора основной методологии проведён анализ литературных источников, применены методы наблюдения, сравнения и абстрагирования. В ходе подсчёта экономической выгоды использован метод комплексного математического анализа. Вышеуказанная методология использована в общей системе как совокупность взаимосвязанных элементов.

Сегодня компании ведут активную политику по наращиванию прибыли и долгосрочному плановому снижению затрат, в то же время часто пренебрегая технологической защитой оборудования. Руководства различных предприятий отмечают, что многие меры защиты имеют высокую стоимость, которая не может быть оправдана в течение года хозяйственной деятельности. Так, многие компании отказываются от надлежащего обслуживания оборудования, что приводит к необратимым последствиям: как минимум производственные составляющие приходят в негодность, а как максимум этот процесс сопровождается человеческими потерями [1]. В контексте

<sup>S</sup> Выбор спонсора научных публикаций осуществляется по усмотрению редакции, любая взаимосвязь между видами деятельности спонсора и результатами научной работы исключается

темы важно рассмотреть необходимость защиты технологического оборудования от коррозии на производстве сахарного завода.

Как известно, сахарное производство является одним из самых агрессивных в плане коррозии оборудования, поскольку сам процесс выработки сахара происходит в несколько стадий, каждая из которых сопровождается формированием какой-либо агрессивной среды, разрушительно воздействующей на дорогостоящие изделия.

### Основные факторы износа оборудования на сахарном производстве

Исходя из цикла переработки свёклы на сахарном заводе, можно выделить несколько основных факторов быстрого износа оборудования:

- высокое температурное воздействие;
- выделение различных химических веществ, разрушающих защитные слои металла;
- высокие темпы непрерывного производства – от четырёх до семи месяцев.

Воздействие, оказываемое на оборудование при переработке сахарной свёклы, приводит к коррозии различных типов: химической, газовой, контактной, термодатной, абразивной, кавитационной, эрозийной и др. Каждый из них требует особого подхода при обработке.

Вместе с тем повышенная изнашиваемость оборудования за счёт воздействия агрессивных веществ попросту диктует руководству компании необходимость своевременной, пусть и дорогостоящей, защиты производственных линий, в случае отказа от которой предприятие рискует не только лишиться большей части оборудования, но и полностью прекратить производство, что также повлечёт огромные затраты. Коррозионно-абразивный износ резко снижает сроки службы оборудования, металлы под его воздействием разрушаются стремительно, и при несвоевременном выявлении повреждения технические средства подлежат полной замене. Такая ситуация ведёт к высокому росту прямых расходов. Наряду с этим возникают и косвенные потери, связанные с воздействием металлов на продукт переработки (в нашем случае сахарные растворы), которые иногда достигают суммы выше стоимости ремонта оборудования.

### Способы и методики применения антикоррозийной защиты

На современном этапе коррозионное воздействие на технологическое оборудование наряду с конструктивными металлами становится очень острой проблемой инженерно-технического уровня. В связи с вышеперечисленными факторами существует острая необходимость в повышении износостойкости и долговечности оборудования, чему и способствует актив-

ная антикоррозийная защита. Предприятие должно либо проводить собственные исследования в данной области, либо обращаться к частным проверенным организациям, оказывающим данную услугу.

Существует несколько основных и наиболее результативных путей решения этой проблемы.

1. *Применение ингибиторов.* Данный метод позволяет не перестраивать общую схему технологической системы производства и не идти на существенные для предприятия затраты. Он допускает использование довольно-таки дешёвых (относительно специальных) конструкционных металлов. В то же время его применение при введении в пищевые продукты невозможно (это чётко запрещается санитарными и государственными требованиями по стандартам качества изготовления продуктов). Однако сохранить защитный слой металла с помощью ингибиторов возможно при длительной обработке.

Ингибиторы применяются в широком спектре отраслей назначения:

- при кислотных промывках технологического оснащения предприятия (от накипи, минеральных отложений);
- при защите водообеспечения (как промышленного, так и бытового);
- в сахарном производстве (при очистке различных ёмкостей, предназначенных для хранения и транспортировки содержимого);
- в системах охлаждения технологического оборудования (защита от атмосферной коррозии).

Вообще сам процесс применения ингибиторов отражает высокую степень противокоррозионной защиты. По результатам исследования противокоррозионной активности ингибиторов и их концентратов было рекомендовано их использование для защиты механизмов в пищевых производствах [2]. Авторы подчёркивают не только достаточно высокую эффективность ингибитора-концентрата, но и его применимость для предприятий пищевой промышленности, в том числе сахарного производства.

2. *Применение пассиваторов* – высокоэффективный метод для нейтральных водных сред. Пассиваторы – это неорганические вещества, имеющие определённый набор окислительно-восстановительных свойств, которые путём пассивирования металла изменяют коррозионный потенциал. Как отмечалось ранее, сахарное производство характеризуется крайне высокой степенью агрессивности воздействия среды, что подчёркивает невозможность или ограниченность применения пассиваторов [3].

3. *Цинковая защита поверхности* широко используется множеством предприятий. Однако существуют некоторые ограничения – износостойкость цинка снижается при нахождении в агрессивных средах (особенно это проявляется в водной, кислотной

и щелочной среде). Высокие температуры также губительно влияют на защитный слой цинка – при температуре до 70° наблюдается самый высокий риск возникновения коррозии металла [4].

4. *Применение лакокрасочных материалов (далее – ЛКМ) при противокоррозионной обработке.* Данный способ является одним из самых популярных и эффективных (при этом относительно низкочастотным). Применение ЛКМ напрямую зависит от типа, состава, производителя и конкретного назначения [5]. Например, использование лака ХС-76 возможно в условиях пищевой промышленности. Это покрытие защищает от воздействия кислот, щелочей, агрессивных газов. Результат и качество применения ЛКМ при противокоррозионной защите зачастую зависит от конкретного поставщика услуг. Следует учесть, что особо эффективным и в то же время менее затратным для предприятия становится метод нанесения ЛКМ на заранее подготовленную поверхность.

Непосредственный алгоритм проведения противокоррозионных работ состоит в следующем:

- выезд специалиста на предприятие в целях оценки подлежащего восстановлению покрытия и определения возможности и необходимости подготовительных и последующих работ. Зачастую данный этап реализуется в контексте вызова специалиста по окончании гарантийного срока предыдущих работ на инспектирование для дальнейшего оформления договора;
- подготовка поверхности путём обработки (механической, химической или термической);
- грунтование и шпаклевание поверхности;
- нанесение лакокрасочных покрытий (с учётом специфики условий, среды и прочих факторов).

#### Сравнительный анализ производственных затрат

Экономические расчёты проведены на базе двух российских сахарных заводов:

– ЗАО «Сахарный комбинат Тихорецкий». Предприятие входит в АО фирма «Агрокомплекс» им. Н.И. Ткачёва, соответствующее рейтингу топ-5 крупнейших российских производителей сахарного песка;

– ОАО «Валуйкисахар». Входит в холдинг «Русагро», один из ведущих производителей свекловичного сахара в Российской Федерации. Работа завода координируется со стороны ООО «Русаго-Центр», деятельность которого направлена на повышение общего объёма производства сахара, расширение производственных линий, развитие рынка сбыта [6].

Для подсчёта экономической выгоды сделан анализ как отдельных производственных комплексов в аспекте сравнения стоимости их защиты (с учётом срока защиты, необходимости повторной обработки, сложности и других факторов), так и возможных амортизационных убытков, связанных с полной или

частичной заменой оборудования. Заметим, что при подсчёте экономической выгоды исключается фактор убыточности, возникающий вследствие простоя производства, поскольку цикл выработки сахара составляет от четырёх до семи месяцев (предполагается, что активные противокоррозионные мероприятия будут проводиться в непроизводственный период).

#### Этапы затрат

1. Вызов инспектора не всегда требует дополнительных средств – максимальные затраты могут варьироваться в пределах 20 тыс. р. (на транспортные расходы и оплату жилья).

2. Работа по абразивной очистке поверхности является наиболее материально- и трудозатратной частью антикоррозийной защиты, поскольку включает в себя затраты на материалы, непосредственно на процесс и очищение помещения от отработанного абразивного материала. В ходе работы расход материала варьируется в пределах от 10 до 30 кг/м<sup>2</sup>. Так, на качественную очистку диффузионного аппарата ДС-12 площадью 1500 м<sup>2</sup> понадобится от 15 до 40 т купершлака или никельшлака. При этом скорость очистки поверхности составляет от 5 до 15 м<sup>2</sup>/ч. Необходимо учесть, что применение кварцевого песка грозит риском возникновения силикоза лёгких, поэтому его не используют в ходе работы. Качественная степень очистки покрытия (Sa-2 или Sa-2,5) без которой не может производиться основная работа – по нанесению лакокрасочных материалов, требует высокого расхода абразивного материала.

3. Грунтование поверхности (при нанесении одного слоя) в среднем обходится в 400 р/м<sup>2</sup>.

4. Стоимость нанесения лакокрасочных материалов напрямую зависит от степени очистки, производителя и цены ЛКМ, а также формируемой гарантии. Средний расход на нанесение одного слоя ЛКМ равен 300 г/м<sup>2</sup>. При этом на три-четыре слоя покрытия потребуется материала от 750 до 1000 г/м<sup>2</sup>. Приведём характерный пример: при очистке поверхности до степени Sa-2 с последующим нанесением ЛКМ минимальной толщиной лакокрасочного покрытия в сухом состоянии в 180 микрон и предоставляемой гарантией на покрытие в два производственных сезона стоимость составит 1500 р/м<sup>2</sup> обработанной поверхности. При степени очистки Sa-2,5 (порядка 95 % чистой поверхности), сухой толщине лакокрасочного покрытия 250 микрон и с гарантией в три производственных сезона (продолжительность одного сезона, как правило, от пяти до шести месяцев) стоимость составит 2000 р/м<sup>2</sup> (цены указаны без учёта НДС).

В качестве конкретного примера обрабатываемого от коррозии оборудования выступает диффузионный аппарат ДС-12. Ориентировочный объём работ составляет около 1500 м<sup>2</sup> [7].

Приведём экономические подсчёты затрат на проведение антикоррозийной обработки (без учёта НДС):

1) при степени очистки Sa-2, толщине сухой поверхности 180 микрон и гарантии на два производственных сезона затраты составят:

$1500 \times 1350 = 2\,250\,000$  р. (2,25 млн р.). Сюда стоит включить также резервные дополнительные расходы в размере примерно 200 тыс. р. Итого 2,45 млн р.;

2) при степени очистки Sa-2,5, толщине сухого лакокрасочного покрытия 250 микрон и гарантии на три производственных сезона затраты составят:

$2000 \times 1500 = 3$  млн р. Аналогично с предыдущим способом, с учётом возможных дополнительных расходов сумма затрат составит 3,2 млн р.

Если рассматривать каждую из степеней защиты в контексте стоимости по сезонам, получается картина, представленная на рис. 1.

Тыс. р./год

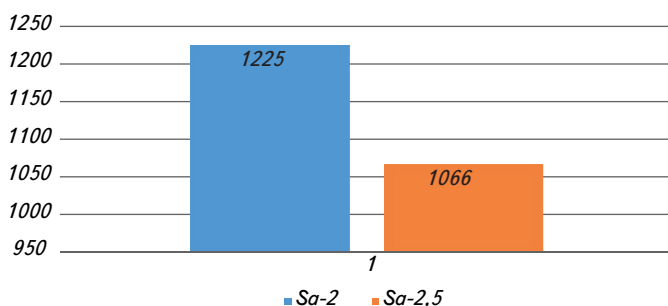


Рис. 1. Стоимость одного года антикоррозийной защиты оборудования: 1) стоимость одного производственного сезона обойдётся предприятию в 1,225 млн р.; 2) стоимость одного производственного сезона составит около 1,066 млн р.

Нужно учесть, что при выборе второго варианта качество исполнения предоставляемой услуги повышается за счёт более высокой степени абразивной очистки поверхности, при этом расход на антикоррозийную защиту снижается на 160 тыс. р. в год. За 12 лет использования защиты Sa-2,5 потребитель сможет сэкономить примерно 1 900 тыс. р. Таким образом, по результатам общего экономического анализа наиболее эффективным становится второй вариант очистки и обработки поверхности оборудования.

Стоимость только одного аппарата ДС-12 по розничной цене составляет от 2,5 до 3 млн евро (210–255 млн р.) в зависимости от исходных мощностей, производителя и курса валют. На сегодняшний день диффузию на ДС-12 изготавливают из углеродистой стали только в Польше. Стоимость бывшего в употреблении аппарата ДС-12 ниже в два-четыре раза. Иногда предприятие приобретает диффузионный аппарат, рассчитывая использовать его от 20 до 30 лет, что выше гарантийного срока службы. Продлить этот срок можно только путём своевременного техниче-

ского обслуживания, в том числе антикоррозийной защиты. Эксплуатационные сроки показывают прямую выгоду её применения. Необходимо принять во внимание, что стоимость оборудования указывается без учёта доставки, поставщика, установки, ведения технической и бухгалтерской документации (за основу расчёта берётся 20 лет службы и стоимость аппарата, равная 50 млн р.), возможной необходимости в приостановлении производства и прочих многочисленных факторов, влекущих за собой расходы. Так, на поддержание минимум 30-летнего срока службы диффузионного аппарата при проведении регулярных работ по антикоррозийной защите уйдёт в среднем около 31–32 млн р. (что сопоставимо по затратам на приобретение одной восьмой части нового аппарата ДС-12). Если не обеспечивать соответствующих работ, влияние агрессивной среды быстро приведёт оборудование в негодность, которая наступит раньше чем за 15 лет службы – это приведёт к росту затрат на приобретение нового оборудования ДС-12 с учётом всех вышеперечисленных нюансов.

Таким образом, у предприятия есть два пути:

1) проводить антикоррозийную защиту оборудования, расходы на которую составят около 1 млн р. в год;

2) обновлять оборудование в течение каждые 12–20 лет с минимальной стоимостью обслуживания 16 млн р. в год.

Очевидной становится экономическая выгода поддержания производственного оборудования в течение длительного времени, что в перспективе позволит в несколько раз снизить общие затраты предприятия. Работы по антикоррозийной защите должны осуществляться проверенными лицами, которые смогут предоставить предприятию соответствующие гарантии.

Другой стороной подсчёта экономической целесообразности мероприятий по антикоррозийной защите выступает оценка состояния оборудования в случаях, когда оно подвергается защите, и в случаях, когда таковая отсутствует. Прийти к определённому выводу можно, применяя метод оценки экономического износа оборудования [8]. При этом важно учитывать экономический износ, вычисляемый по формуле

$$I_m = \frac{(C_6 - C_B)}{C_B} 100\%,$$

где  $I_m$  – моральный износ оборудования;  $C_6$  – первоначальная стоимость;  $C_B$  – стоимость восстановления.

Необходимо отражать экономический износ оборудования в течение каждые пяти лет эксплуатации (из расчёта 50 млн – стоимость бывшего в употреблении оборудования):



1) без проведения мероприятий по защите со сроком эксплуатации:

$$- 5 \text{ лет: } I_M = (50 - 16,5) / 50 \cdot 100 \% = 67 \%;$$

$$- 10 \text{ лет: } I_M = (50 - 33) / 50 \cdot 100 \% = 34 \%;$$

$$- 15 \text{ лет: } I_M = (50 - 49,5) / 50 \cdot 100 \% = 1 \%;$$

2) при затратах на антикоррозийную защиту со сроком эксплуатации:

$$- 5 \text{ лет: } I_M = (50 - 5,33) / 50 \cdot 100 \% = 89,34 \%;$$

$$- 10 \text{ лет: } I_M = (50 - 10,66) / 50 \cdot 100 \% = 78,68 \%;$$

$$- 15 \text{ лет: } I_M = (50 - 16) / 50 \cdot 100 \% = 68 \%.$$

График состояния оборудования представлен на рис. 2.

% изношенности оборудования

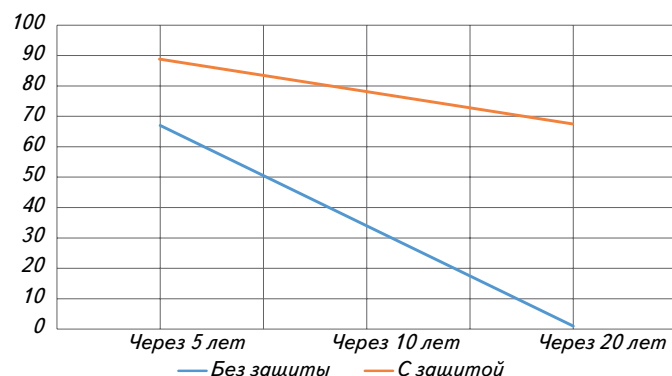


Рис. 2. Оценка материального износа оборудования

По полученным данным можно отчётливо проследить высокую степень износа оборудования, особенно возрастающую после 10 лет эксплуатации. Мероприятия по защите от коррозии позволяют сгладить график износа, сделав его более линейным по отношению к изначальному состоянию. Однако настоящая модель не учитывает губительное воздействие агрессивных сред на оборудование сахарного производства, что подчёркивает более высокую степень его реального износа.

### Выводы

Таким образом, результаты исследования отражают высокую актуальность заявленной темы. Несомненно, защита технологического оборудования сахарного производства является необходимой, поскольку позволяет предприятию существенно сократить предстоящие расходы. Результаты экономического анализа показали, что антикоррозионные меры существенно продлевают срок службы технического оснащения предприятия. Планируя проведение работ по антикоррозионной защите, важно найти такую компанию, которая качественно выполнит услугу и предоставит все соответствующие гарантии предприятию. Применение антикоррозионной защиты имеющегося технологического оборудования является более целесообразным, нежели приобретение нового.

Список литературы

1. Бакиева, Ш.К. Подготовка нефти для защиты оборудования от коррозии / Ш.К. Бакиева, З.В. Нуруллаева, М.О. Сатторов // Наука и образование сегодня. — 2016. — № 2 (3). — С. 33–34.

2. Алмагамбетова, С.Т. Анализ методов противокоррозионного воздействия на защиту оборудования объектов пищевой отрасли / С.Т. Алмагамбетова // Техника и технология пищевых производств. — 2018. — № 2. — С. 129–135.

3. Ингибитор коррозии [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/transportirovka-i-khranenie/141609-ingibitornaya-zashchita-truboprovodov/> (дата обращения: 27.09.2021)

4. Антикоррозийная эффективность цинк-полимерных покрытий, получаемых электроосаждением на катоде / А.В. Павлов, Н.О. Баранов, М.Ю. Квасников [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. — 2017. — № 11 (192). — С. 85–86.

5. Черкасова, Т.Г. Эксплуатационная надёжность антикоррозионной защиты в промышленно развитом регионе / Т.Г. Черкасова // Вестник КузГТУ. — 2012. — № 3(91). — С. 163–164.

6. РУСАГРО Группа компаний [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rusagrogroup.ru/ru/> (дата обращения: 24.09.2021)

7. ФАРСАЛ ДС-12 [Электронный ресурс]. URL: <https://farsal.ru/katalog/sahar/transportnaya-sistema-diffuzionnogo-apparata-ds-12-ds-8.html> (дата обращения: 28.09.2021)

8. Новосёлов, А.Л. Моделирование оценки состояния оборудования с позиции риск-менеджмента / А.Л. Новосёлов, А.В. Желтенков // Вестник МГОУ. — Сер. : Экономика. — 2018. — № 4. — С. 75–88.

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные аспекты износа технологического оборудования на предприятиях сахарного производства. Показано, что коррозия производственного оборудования является одной из главных проблем, решением которой является применение своевременной и эффективной защиты. Дана характеристика способов антикоррозионной защиты, описаны их преимущества и недостатки. Приведено экономическое обоснование своевременного применения антикоррозионной защиты оборудования на примере предприятий сахарного производства.

**Ключевые слова:** коррозия оборудования, затраты производства, антикоррозионная защита сахарного производства.

**Summary.** The article considers the main aspects of technological equipment amortization at sugar factories. It is shown that corrosion of production equipment is one of the main problems, the solution of which is usage of timely and efficient protection. The characteristics of rust protection methods are given, their advantages and disadvantages are discussed. The economic rationale of the timely application of rust protection of equipment is given on the example of sugar factories.

**Keywords:** equipment corrosion, production costs, rust protection in sugar production.