

УДК 624.3:624.014.2

## **Комплексный подход к управлению коррозионной защищенностью металлических конструкций при обеспечении технологической безопасности в условиях предприятий металлургического комплекса**

<sup>1</sup>**Шимановский А. В.**, член-корреспондент НАН Украины, заслуженный деятель науки и техники Украины, д-р техн. наук,  
<sup>2</sup>**Гибаленко А. Н.**, д-р техн. наук, <sup>3</sup>**Онищенко А. Н.**, д-р техн. наук

<sup>1</sup>Украинский институт стальных конструкций им. В. Н. Шимановского, Украина

<sup>2</sup>Приазовский государственный технический университет, Украина

<sup>3</sup>Национальный транспортный университет, Украина

**Аннотация.** В статье рассмотрены процедуры обеспечения режима нормальной эксплуатации основных производственных фондов, направленные на поддержание приемлемого уровня технологической безопасности. В рамках мероприятий модернизации, технического перевооружения, реконструкции, продления срока эксплуатации сооружений исследуются конструкции со значительным истощением своего нормативного ресурса. Предложена методика менеджмента качества как система совокупности мер, которая направлена на поддержание работоспособности, повышение эксплуатационной надежности. На основании изучения режима эксплуатации, действительного состояния конструкций разработана процедура диагностики и назначения ремонтных мероприятий по продлению остаточного ресурса металлоконструкций путепровода. При этом определяющим фактором в обеспечении надежности и долговечности является снижение уровня коррозионной опасности металлоконструкций пролетного строения при эксплуатации в коррозионно-агрессивных средах действующего предприятия. По результатам исследований разработаны конструкторско-технологические мероприятия, спецификации по обеспечению технологической безопасности для снижения уровня коррозионной опасности. Обоснованы и реализованы в практике выполнения ремонтных работ мероприятия обеспечения первичной и вторичной защиты металлоконструкций путепровода от коррозии.

**Ключевые слова:** технологическая безопасность, путепровод, металлоконструкции, агрессивность среды, коррозионный износ, ресурс, эксплуатация.

### **Введение**

Превышение предельных сроков эксплуатации конструкций зданий и сооружений, значительная изношенность основных фондов промышленных предприятий (доминирующую основу которых составляют строительные металлические конструкции) являются существенными угрозами технологической безопасности. Обеспечение нормального функционирования металлургических предприятий неразрывно связано с поддержанием приемлемого уровня надежности основных фондов, что представляет важную структурную составляющую системы менеджмента качества, характеризующую совокупность мер, направленных на поддержание работоспособности,

повышение эксплуатационной надежности конструкций зданий и сооружений в целом. В условиях модернизации, технического переоснащения, реконструкции и продлении срока их эксплуатации такие объекты рассматриваются как источники потенциальной опасности в связи со значительной степенью истощения своего нормативного ресурса [1–2].

Определяющим фактором в обеспечении надежности и долговечности является снижение уровня коррозионной опасности металлоконструкций при эксплуатации в условиях воздействия коррозионно-агрессивных сред действующего предприятия [3]. В данном контексте понятие коррозионной опасности включает определяющие параметры коррозионного состояния (ОПКС) или ситуации (угрозы), при которых увеличивается вероятность возникновения ущерба. Таким образом, создаются условия для выполнения процедур менеджмента и анализа рисков конструкторско-технологических мероприятий программ обеспечения надежности (ПОН), реализация которых направлена на продление ресурса объектов [4].

### **Цель исследований**

Разработка диагностических процедур для определения работоспособности конструкций, подверженных коррозионному износу в условиях воздействия агрессивных сред, с учетом требований процессного подхода к управлению качеством и безопасностью на основе контроля ОПКС; внедрение методики оценки признаков работоспособности сооружения путепровода; определение мероприятий первичной и вторичной защиты от коррозии конструкций для обоснования конструкторско-технологических решений ремонтного восстановления; назначение мероприятий технического обслуживания сооружения по фактическому состоянию.

### **Анализ данных и постановка проблемы**

При обеспечении непрерывного технологического процесса металлургического производства определяющую роль играет инфраструктура железнодорожного сообщения, включающая сооружения железнодорожных путепроводов, что связано с перемещением значительных объемов сырья и материалов.

Исследуемый путепровод обеспечивает технологический процесс доставки, складирования, переработки, перемещения (усреднения) рудного сырья предприятия полного производственного цикла металлургического производства. От качества и надежности его работы в высокой степени зависит эффективность функционирования всего производственного процесса (рис. 1).

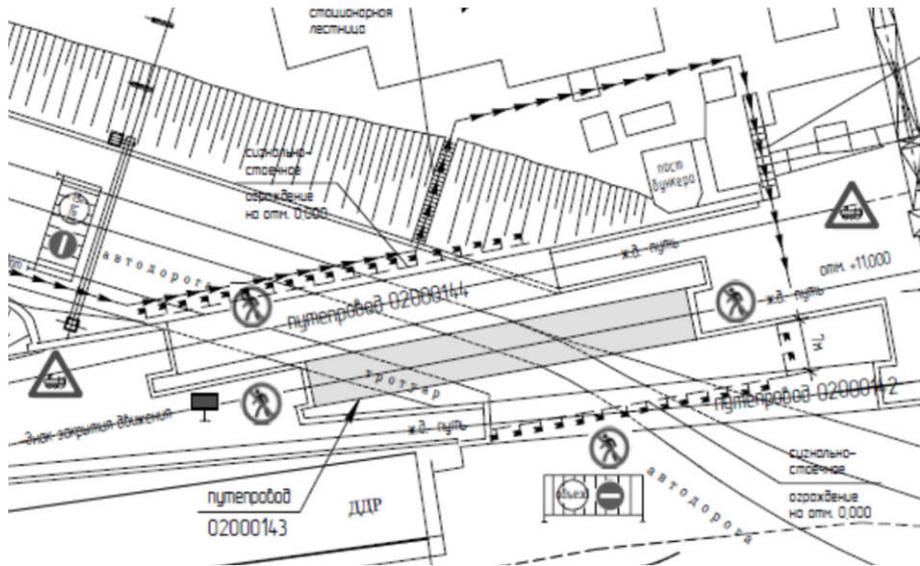


Рис. 1. Схема расположения путепровода на производственной площадке предприятия металлургического комплекса

Сооружение расположено в пределах производственной площадки рудного двора и эксплуатируется с 1936 года. Конструктивное решение пролетного строения – пространственная металлическая решетчатая конструкция, выполненная из главных мостовых ферм (установленных на железобетонных опорах-устаях) и связевых перекрестно-стержневых конструкций по верхним и нижним поясам. Соединения металлоконструкций – на заклепках (рис. 2–4).



а

б

Рис. 2. Конструктивное решение путепровода:  
а – пролетное строение; б – решетчатая конструкция главных ферм

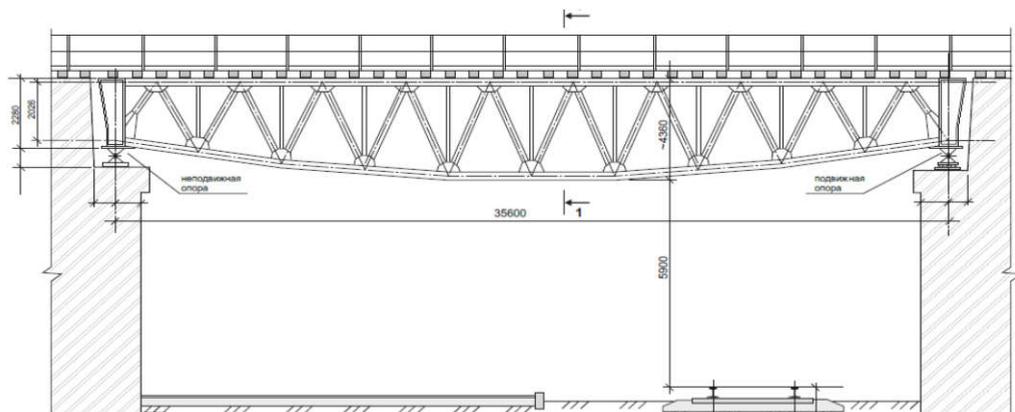


Рис. 3. Схема расположения конструкций пролетного строения путепровода

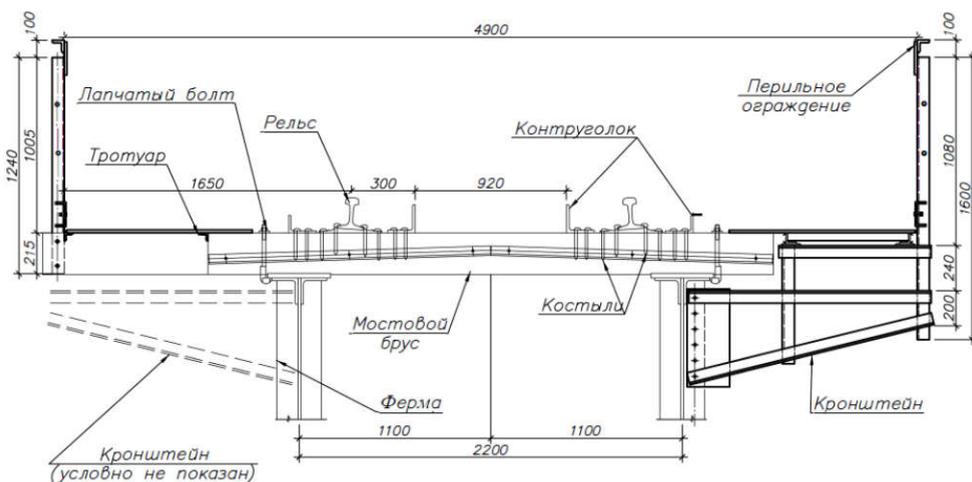


Рис. 4. Состав конструкций верхнего строения пути

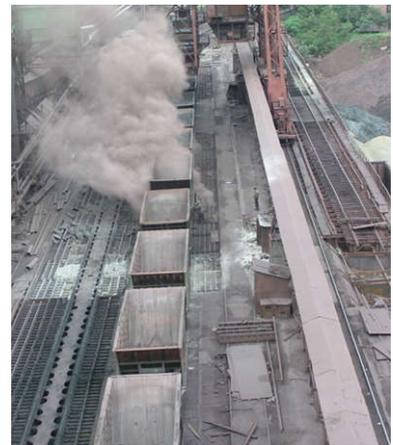
Из-за необходимости обеспечения операций по погрузке-разгрузке, сортировке и перемещению сырьевых материалов, шихты доменного производства эксплуатация металлоконструкций путепровода осуществляется в сложных производственных условиях при значительных динамических воздействиях рабочих процедур технологического процесса, превышающих расчетные (рис. 5) [5].



*a*



*б*



*в*

Рис. 5. Воздействие агрессивных технологических условий эксплуатации путепровода:  
*a* – газоздушная среда рабочей площадки доменного производства; *б* – участок коксохимического производства с использованием технологии мокрого тушения кокса;  
*в* – пылевые выделения погрузочно-разгрузочных операций рудного двора

Условия эксплуатации усложнены смерзанием и образованием глыб перемещаемого рудного концентрата, кокса, шихты при воздействии низких температур зимнего периода. Значительная коррозионная агрессивность атмосферных воздействий среды эксплуатации обусловлена влажностью и присутствием коррозионно-активных агентов [6–7]:

- наличием пылевых отложений на металлоконструкциях;
- периодическим увлажнением конструкций атмосферными осадками;
- воздействием коррозионно-агрессивных выделений (со стороны располагающегося рядом коксохимического производства), образование которых происходит при мокром тушении кокса.

Сложившиеся условия эксплуатации явились причиной значительного (на локальных участках более 20 % от проектного) уменьшения толщины сечения основных несущих элементов решетчатых несущих металлоконструкции моста (со скоростью в пределах 0,3...0,5 мм в год). Отмечены очаги сквозных коррозионных поражений, а также коррозии в наиболее опасных формах проявления – щелевой и питтинговой. Значительная степень повреждений отмечается в узловых соединениях (рис. 6).



*а*



*б*

Рис. 6. Состояние заклепочных узловых соединений элементов металлоконструкций: *а* – разрушение соединения в результате коррозионного износа; *б* – значительная потеря стержня заклепки и замыкающей головки по результатам оценки состояния элементов соединений при отборе образца их элемента металлоконструкции

В течение всего периода эксплуатации проводились планово-предупредительные ремонты металлоконструкций главных ферм, опор и технологических устройств путепровода (рис. 7.) Осуществлялись мероприятия по возобновлению их противокоррозионной защиты. В период проведения авторского надзора выполнялись работы по оценке технического состояния металлоконструкций, при этом отмечен значительный коррозионный

износ головок заклепок. Величина износа превышает предельно допустимый уровень и создает возможность достижения предельного состояния работы узловых соединений при существующих (паспортных) эксплуатационных нагрузках.



*a*

*b*

Рис. 7. Состояние металлоконструкций путепровода во время выполнения планово-предупредительных ремонтов: *a* – главных ферм (при демонтируемом верхнем строении пути); *b* – системы горизонтальных связей по верхним поясам ферм в период демонтажа путевых устройств верхнего строения пути

### **Материалы и методы исследования**

В связи с практической значимостью мониторинга эксплуатационного состояния по обеспечению технологической безопасности производства актуальным является развитие методики оценивания работоспособности при техническом обслуживании конструкций и сооружений по фактическому состоянию (с учетом информационной составляющей состояния и моделирования технико-экономических рисков) [8–9].

Снижение работоспособности конструкций зависит от протекания деградационных процессов случайного характера, происходящих при эксплуатации в условиях динамических нагрузок и влияния производственных сред. Коррозионный износ сопровождается накоплением повреждений металлических конструкций и их защитных покрытий, что вызывает изменения геометрических характеристик сечений и механических свойств материала [10–11].

В выполненных исследованиях принято DM-распределение повреждений на основе статистических данных об отказах при плане полных испытаний (план NUN) метода наибольшего правдоподобия [12]. Аналитическое описание процесса накопления повреждений выполнено в виде вероятностно-физических

моделей типа ДМ-распределения (ДСТУ 2862-94 «Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги»).

Действительное эксплуатационное состояние сооружения представляется структурной схемой, которая описывает состояние в каждый момент времени  $t$  значениями входных,  $X_i$ , внутренних,  $Y_i$  и выходных,  $Z_i$  координат, при этом входные и внутренние – переменные, а выходные – функции. Графическое представление диагностики при выполнении процедуры мониторинга коррозионного состояния представлено в виде блок-схемы состояния объекта исследования ОИ (рис. 8).

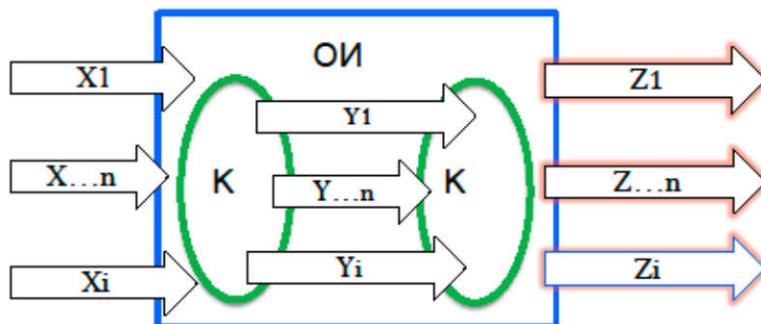


Рис. 8. Структурированная блок-схема описания процесса диагностики технического состояния объекта исследования

Условное деление объекта исследования (ОИ) на компоненты связано с рядом объективных условий и субъективных предпосылок. В качестве компонентов  $K$  выбираются конструкции, детали, узлы, которые составляют отдельные самостоятельные системы или элементы (фермы, опоры, связевые конструкции, смотровые площадки, проходные галереи, вспомогательные элементы и обустройства). Объект контроля, как логическая система, задается графически, аналитически, таблично, физической моделью, иной виртуальной формой для обработки методами компьютерно-инженерной технологии.

Независимо от формы компонента  $K$ , определяются выходные параметры и внутренние входные состояния. Построение модели требует анализа структуры объекта исследования как в исправном, так и в неисправном состояниях первичной и вторичной защиты от коррозии.

Формализация процесса анализа обуславливает описание возможных дефектов, повреждений, несовершенств сооружения, полученных в результате эксплуатации, которые в свою очередь, определяются неисправностями (дефектами) составляющих его конструкций.

Анализ структурной схемы при наличии неисправностей упрощается, если заранее известны функции, реализуемые компонентами с неисправностями. Для

определения этих функций в исправный компонент преднамеренно вводится неисправность.

Введение и определение входных функций неисправных компонентов происходит путем перечисления возможных неисправностей (дефекты и повреждения защитных покрытий, изменение геометрических характеристик в результате коррозионного износа, влияние факторов агрессивности среды, значения коррозионной стойкости конструктивной формы и материала) или определения неисправностей (деформация конструкций и т. д.).

Сооружение описывается состоянием из  $L$  компонентов. Если  $S_j$  – число возможных единичных неисправностей  $j$ -го компонента, то общее число  $M$  возможных неисправностей объекта контроля будет составлять:

— при единичных неисправностях (один неисправный компонент имеет одну неисправность):

$$M1 = \sum_{j=1}^L S_j; \quad (1)$$

— при единичных неисправностях компонентов и кратных неисправностях объекта (один или несколько неисправных компонентов имеют по одной неисправности):

$$M2 = \prod_{i=1}^L (1 + S_j) - 1 \quad (2)$$

— при кратных неисправностях компонента и кратных неисправностях объекта (один неисправный компонент имеет одну неисправность):

$$M3 = 2^{M1} - 1. \quad (3)$$

Если известна реализуемая исправным объектом его технологическая функция, определены возможные неисправности объекта и реализуемые при этом функции, а также способ проведения диагностики состояния первичной и вторичной защиты от коррозии, то составляется таблица функций неисправностей, при этом принимаются следующие условные обозначения (таблица 1):

Таблица 1

**Матрица функций состояния первичной и вторичной защиты от коррозии**

R	E		
	$f_0$	$f_i$	$f_M$
$t_1$	$r_{01}$	$r_{i1}$	$r_{M1}$
...	...	...	...
$t_j$	$r_{0j}$	$r_{ij}$	$r_{Mj}$
...	...	...	...
$t(T)$	$r_{0(T)}$	$r_{1(T)}$	$r_{M(T)}$

$E$  – множество функций, реализуемых всеми исправными и неисправными объектами;

$f_0, f_i$  – функция, реализуемая исправным и неисправным сооружением;

$f_M$  – функция, реализуемая объектом с  $M$  неисправностями;

$R$  – множество результатов отдельных исследований сооружения;

$T$  – множество, на котором задана функция, реализуемая исправным сооружением;

$t_{j(T)}$  – отдельные исследования (эксперименты) на сооружении;

$r_{ij(R)}$  – результаты частных экспериментов.

При разбиении множества  $E$  на непересекающиеся и непустые подмножества, можно выделить три характерные группы:

— число подмножеств равно двум, при этом одно из них содержит единственный элемент – исправную конструкцию, а второе – все  $i$  – неисправные конструкции. Такое условие соответствует процедуре проверки работоспособного состояния сооружения;

— число подмножеств на одно больше числа компонентов структуры сооружения, при этом одно подмножество содержит исправную конструкцию, а в любое из остальных входят только те  $i$  – неисправные конструкции, которым соответствуют неисправности одного, сопоставленного данному множеству компонента;

— число подмножеств равно числу элементов множества  $E$ .

Такое структурное представление диагностики состояния сооружения по обеспечению условий первичной и вторичной защиты металлоконструкций от коррозии соответствует условиям локализации с детализацией на каждом определенном дефекте или повреждении

При осуществлении комплекса диагностических мероприятий выполнено исследование технического состояния следующих металлоконструкций путепровода:

— главных ферм пролетного строения путепровода (включая фасонки узловых соединений, элементы нижнего и верхнего пояса);

— элементы горизонтальных связевых ферм по верхним и нижним поясам пролетного строения;

— конструкции обустройств;

— элементов опор.

Программа выполненных исследований включала:

- осуществление инструментального контроля пространственного положения несущих конструкций, а также основных размеров конструкций;
- определение геометрических параметров участков с дефектами и повреждениями, их позиционирование;
- контроль коррозионного состояния металлоконструкций, характер и степень развития повреждений;
- уточнение значимости влияния выявленных дефектов и повреждений на возможное изменение расчетной схемы конструкций с учетом разработки вариантов устранения несовершенств;
- конструкторско-технологические работы по проектированию элементов усиления и разработку технологического регламента проведения восстановительных работ;
- экспериментальную проверку конструкторских проработок;
- авторский надзор за ходом выполнения ремонтно-восстановительных работ, контроль качества применяемых материалов;
- проведение приемо-сдаточных испытаний и продление срока эксплуатации сооружения;
- последующий мониторинговый оперативный и систематический контроль состояния конструкций.

Разработанная карта-схема мест очистки и назначенные объемы выполнения работ по диагностике состояния позволили получить достоверную информацию о фактическом состоянии и обоснованно назначить мероприятия противокоррозионной защиты металлоконструкций.

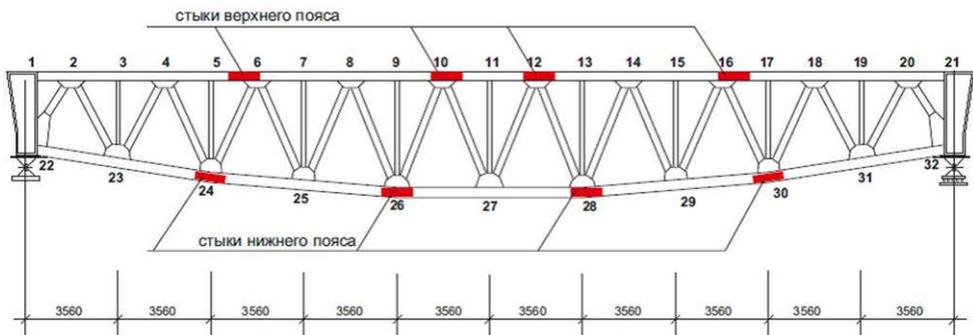


Рис. 9. Зоны назначенного инструментального контроля узловых соединений

На основани даних натурного огляду очищених поверхностей назначени заходи по визначенню стану заклепочних вузлових з'єднань елементів, сопряжених путем вибору контрольних зразків; виконання інструментального контролю стану несучих металоконструкцій і заклепочних з'єднань (рис. 9).

Виконан статистичний аналіз дефектів і пошкоджень, зафіксованих при обстеженні конструкцій тепловоду (рис. 10).

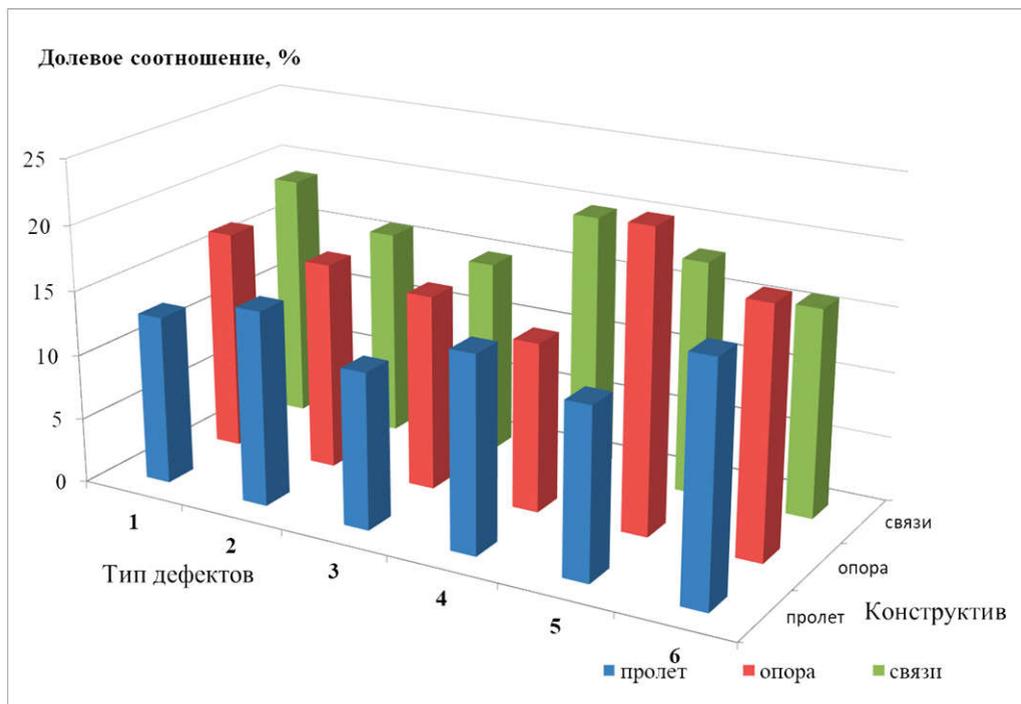


Рис. 10. Дефекти металоконструкцій: 1 – відсутність підготовки поверхності під нанесення покривних шарів ґрунтовки і емалі; 2 – корозійні пошкодження основних несучих конструкцій; 3 – руйнування покривних шарів протикорозійних покриттів; 4 – дефекти металоконструкцій при монтажі, ремонтних процедурах зварки і збирання; 5 – пошкодження в результаті механічних впливів; 6 – інші дефекти і пошкодження

Виявлено дійсний стан елементів сопряження конструкцій при виборі проб контрольних зразків і дослідження стану фрагмента вузлового з'єднання (см. рис. 6). Дане дослідження обґрунтувало передумови для розробки оптимальних конструкторсько-технологічних рішень по відновленню з'єднань несучих конструкцій. Виконані експериментальні дослідження моделей відновлення заклепочних з'єднань (рис. 11). Це дозволило обґрунтувати і розробити конструкторські

решения и технологию ремонтного восстановления головок заклепок заклепочного соединения постановкой дополнительных шайб на электросварке (рис. 12). С учетом полученных данных и рекомендаций специалистами разработан проект усиления металлоконструкций [12].



Рис. 11. Конструктивное решение восстановления замыкающей головки заклепок с использованием технологии постановки шайбы на электросварке. Фрагмент экспериментального образца модели заклепочного соединения

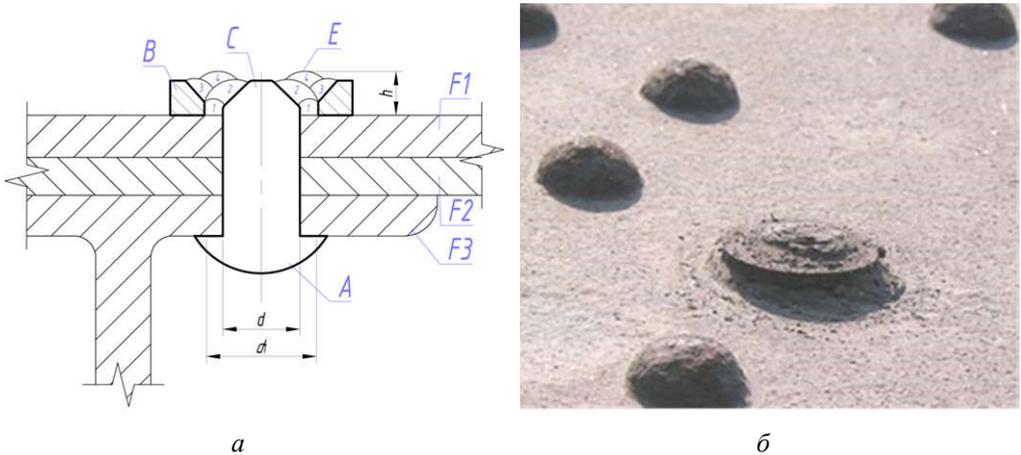


Рис. 12. Технологические решения восстановления головки заклепки постановкой шайб на электросварке: *а* – конструктивное решение (А – закладная головка; В – шайба, С – замыкающая головка и стержень заклепки, подверженные коррозионному износу, F1...F2 – соединяемые детали, E – наплавляемые валики сварного шва); *б* – фрагмент восстановленного узлового соединения путепровода

## **Результаты исследования**

При выполнении исследований и внедрении результатов работы осуществлены технико-технологические мероприятия обеспечения коррозионной защищенности конструкций при техническом обслуживании по фактическому состоянию. Сформирована логистическая система резервирования живучести конструкций на основе признаков коррозионной опасности промышленных объектов. На основании анализа данных натурных исследований определена необходимость разработки проектных решений (для обеспечения требуемых паспортных характеристик и режимов эксплуатации путепровода).

Для обеспечения диагностики состояния элементов конструкций и возможности выявления технических характеристик (геометрические размеры, характер и степень развития коррозионных поражений, состояние противокоррозионной защиты) разработана и обоснована технология выполнения работ по подготовке поверхности, включающая: гидроструйную очистку конструкций от пыли, слоев ржавчины и старой краски; механическую очистку конструкций от плотно сцепленных (с основным металлом) продуктов коррозии и старой краски (с помощью скребков, щеток, механизированного инструмента, пневматических молотков); обдув поверхности сжатым воздухом.

Основываясь на нормативных требованиях, данных опыта эксплуатации, результатах проведенных исследований, разработаны предложения по оптимальному назначению технологических режимов эксплуатации путепровода для обеспечения его безопасной эксплуатации, где предусмотрено:

- ограничения скорости перемещения подвижного состава;
- реализация процедуры контроля смерзания складированных, перемещаемых сырьевых материалов и шихты доменного производства, находящихся на хранении в складе при отрицательных температурах наружного воздуха;
- ограничение высоты складирования угольного концентрата в зимний период, для предотвращения глыбообразования.

Подразделением заводских ремонтных служб проведены работы по реализации конструкторско-технологических проработок восстановления заклепочных соединений. При этом осуществлен ремонт около 0,3 тыс. заклепок. Таким образом, восстановлена несущая способность узловых соединений решетки мостовых ферм и узлов крепления связей (рис. 13–14).

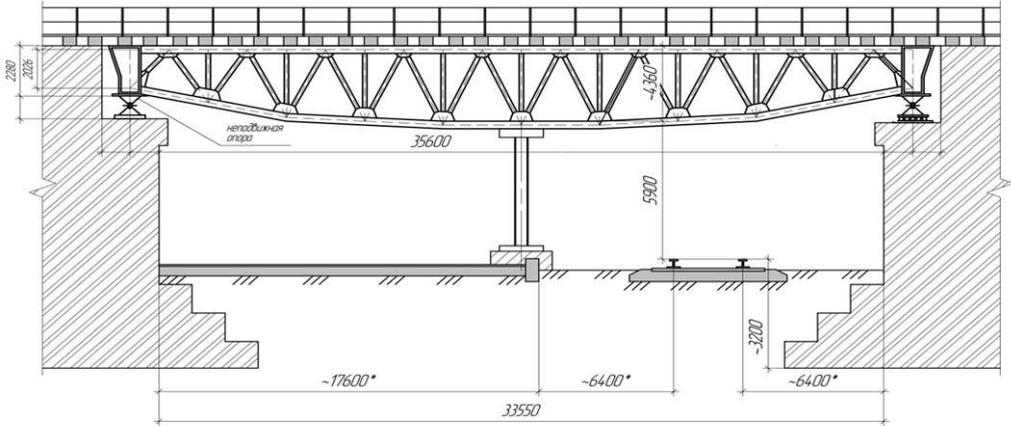


Рис. 13. Технологическая схема выполнения ремонтного восстановления узловых соединений металлоконструкций пролетного строения путепровода

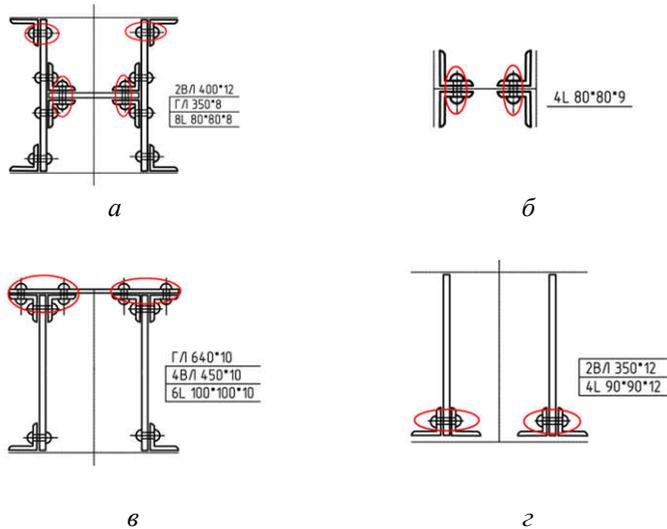


Рис. 14. Спецификации конструктивных решений ремонтного восстановления заклепок узловых соединений металлоконструкций пролетных ферм путепровода:  
а – верхний пояс (середина пролетной части); б – верхний пояс (оперная часть);  
в – раскос решетчатой фермы; г – нижний пояс пролетной конструкции

## **Выводы**

Металлоконструкции путепровода включают значительное число элементов заклепочных соединений, подверженных коррозионному износу. Для поддержания эксплуатационной пригодности путепровода определены мероприятия контроля состояния его элементов и соединений. При этом учтено, что в объем работ по периодическому контролю состояния конструкций входит выполнение детального обследования всех элементов, что невозможно выполнить без длительного вывода из эксплуатации сооружения. Методика диагностики обеспечивает контроль технического состояния без остановки основного производства и направлена на поддержание работоспособности путепровода за счет своевременного предупреждения процесса износа, устранения возможности возникновения аварийных ситуаций. Основные положения разработанной методики заключаются в следующем:

1. Работоспособное состояние путепровода в целом характеризуется обобщающими показателями действительного состояния конструкций.
2. Устанавливается функциональная зависимость между работоспособностью сооружения и значениями обобщающих показателей.
3. При выполнении контроля осуществляется проверка нахождения в допустимых пределах величин значений показателей.
4. На основании анализа конструктивных решений и статистических исследований устанавливаются следующие контролируемые показатели: геометрические характеристики пролетного строения; значения величин смещений и деформаций в заклепочных соединениях; характеристики деформаций элементов главных ферм; остаточная толщина фасонки узловых соединений главных ферм и элементов связей.
5. Практическая реализация положений методического подхода осуществляется при выполнении следующих мероприятий:
  - осмотр сооружения и выявление недопустимых повреждений основных элементов конструкций пролетного строения путепровода и опор;
  - зонирование конструкций по степени интенсивности износа и назначение мероприятий по результатам контроля;
  - систематический контроль состояния вспомогательных конструкций (лестниц, площадок, ограждений);
  - проведение процедуры определения величин обобщающих показателей и принятия решений на основании их фактических значений.

На основании разработанной методики назначены мероприятия ПОН при мониторинговом контроле состояния путепровода с составлением документации

на выполнение ремонтных работ. В состав документации входит планирование ремонтных работ с учетом загрузки путепровода в остановочный ремонтный период при выполнении периодического ремонта. Внедрение положений методики и реализация ПОН позволила обеспечить безопасную гарантированную работу путепровода и значительно продлить срок эксплуатации (на период 9...12 лет) после выработки его расчетного ресурса.

## **Литература**

- [1] Шимановський О. В. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних конструкцій / О. В. Шимановський, В. П. Корольов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – № 1. – 2008. – С. 4 – 9.
- [2] Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / Цільова комплексна програма НАН України : зб. наук. ст. за результатами, отриманими в 2013–2015 рр. – [Наук. Керівник: академік Б. Є. Патон]. – К. : ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. – 2015. – 816 с.
- [3] Гибаленко А. Н. Мониторинг остаточного ресурса металлоконструкций в коррозионных средах / А. Н. Гибаленко // Зб. наук. пр. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – Вип. 3 (45). – С. 110–116.
- [4] Королев В. П. Развитие корпоративной системы менеджмента: технологическая безопасность производственных объектов / В. П. Королев, Ю. В. Филатов, Ю. В. Селютин // Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2014. – Вип. 14. – С. 136 – 149.
- [5] Gibalenko A. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard / A. Gibalenko, V. Korolov, J. Filatov // Aktualne Problemy Konstrukcji Metalowych, Gdańsk Poland. – 2014. – P. 98–102.
- [6] Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification, determination and estimation : ISO 9223:2012. – Geneva : ISO, 2012. – P. 15.
- [7] Guedes Soares Influence of Environmental Factors on Corrosion of Ship Structures in Marine Atmosphere / [Guedes Soares, C. Garbatov, Y. Zayed, A. Wang] // Corrosion Science. – 2009. – No. 51.
- [8] Nadim Mahmudul Arifur. Numerical Analysis of Pit Shape Effect on Corrosion Diminution and Structural Integrity Parameters of Ship / Arifur Mahmudul Nadim // B. Sc. Thesis, MIST, Dhaka, Bangladesh. – 2015.
- [9] Estimation of steel structure corrosion risk level / [V. P. Korolov, Y. Vysotsky, O. M. Gibalenko, P. V. Korolov] // Eurocorr-2010. From the Earth's Depths to Space Heights ; the European Corrosion Congress (13.09–17.09.2010) ; Book of Abstracts – Moscow, 2010. – 534 p.

- [10] Zienkiewicz O. C. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics; [Sixth edition] / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor // Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 30 Corporate Drive, Burlington, MA 01803. – 2005. – 648 p.
- [11] Sumi Y. Strength and Deformability of Corroded Steel Plates Estimated by Replicated Specimens / Y. Sumi // Journal of Ship Production. – 2008. – No. 24 (3). – P. 161–167.
- [12] Korolov V. Design criteria of reliability and safety in the design of corrosion protection of structural steel / V. Korolov, Y. Vysotsky, Y. Filatov // EUROCORR-2014. Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications ; the European Corrosion Congress : Book of Abstracts. – Pisa, 2014. – 88 p.

### **Комплексний підхід до управління корозійною захищеністю металевих конструкцій за забезпечення технологічної безпеки в умовах підприємств металургійного комплексу**

<sup>1</sup>**Шимановський О. В.**, член-кореспондент НАН України, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук,  
<sup>2</sup>**Гібаленко О. М.**, д-р техн. наук, <sup>3</sup>**Онищенко А. М.**, д-р техн. наук

<sup>1</sup>Український інститут сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського, Україна

<sup>2</sup>Приазовський державний технічний університет, Україна

<sup>3</sup>Національний транспортний університет, Україна

**Анотація.** У статті розглянуто процедури забезпечення режиму нормальної експлуатації основних виробничих фондів, які спрямовані на підтримання прийнятого рівня технологічної безпеки. В рамках заходів модернізації, технічного переоснащення, реконструкції, продовження терміну експлуатації споруд досліджено конструкції зі значним вичерпанням свого нормативного ресурсу. Запропоновано методику менеджменту якості як систему сукупності заходів, яка спрямована на підтримку працездатності, підвищення експлуатаційної надійності. На підставі вивчення режиму експлуатації, дійсного стану конструкцій розроблено процедуру діагностики та призначення ремонтних заходів із продовження залишкового ресурсу металоконструкцій шляхопроводу. У цьому разі визначальним фактором для забезпечення надійності і довговічності є зниження рівня корозійної небезпеки металоконструкцій прогнаної будови під час експлуатації в корозійно агресивних середовищах діючого підприємства. За результатами досліджень розроблено конструкторсько-технологічні заходи, специфікації щодо забезпечення технологічної безпеки для зниження рівня корозійної небезпеки. Обґрунтовано і реалізовано в практиці виконання ремонтних робіт заходи із забезпечення первинного та вторинного захисту металоконструкцій шляхопроводу від корозії.

**Ключові слова:** технологічна безпека, шляхопровід, металоконструкції, агресивність середовища, корозійний знос, ресурс, експлуатація.

## **Integrated Approach to Management of Metal Construction Corrosion Protection while Ensuring Technological Safety under Conditions of Metallurgical Enterprises**

<sup>1</sup>**O. Shimanovsky**, Corresponding Member of the National Academy of Sciences  
of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), <sup>2</sup>**O. Gibalenko**, Dr. Sc. (Eng.),  
<sup>3</sup>**A. Onyshchenko**, Dr. Sc. (Eng.)

<sup>1</sup>V. Shimanovsky Ukrainian Institute of Steel Construction, Ukraine  
<sup>2</sup>Pryazovskyi State Technical University, Ukraine  
<sup>3</sup>National Transport University, Ukraine

**Abstract.** The article discusses the procedures for ensuring the normal operation of fixed assets aimed at maintaining an acceptable level of technological safety. Within the framework of modernization, technical equipment, reconstruction, in connection with the need to extend the service life, construction with significant degree depletion their normative resource is being investigated. A quality management methodology is proposed as a system of set measures that is aimed at maintaining efficiency, increasing operational reliability. Based on the study of the operating mode and the actual state of structures, a procedure was developed for diagnosing and assigning repair measures to extend the residual life the metal construction of the overpass. At the same time, the decisive factor in ensuring reliability and durability is a decrease in the level of corrosion hazard of the metal superstructure during operation in corrosive environments at an operating enterprise. Based on the research results, design and technological measures, specifications for ensuring technological safety to reduce the level of corrosion hazard have been developed. The measures to ensure the primary and secondary corrosion protection for metal construction of the overpass have been substantiated and implemented in the practice of repair work.

**Key words:** technological safety, overpass, metal construction, aggressiveness of environment, corrosion wear, resource, operation.

*Надійшла до редколегії 18.12.2020 р.*