

УДК 624.014:620.193

Научно-техническое сопровождение при оценке ресурса и реконструкции строительных объектов

¹Москаленко В.И., к.т.н., ²Королёв В.П., д.т.н., ³Гибаленко А.Н., к.т.н.,
²Селютин Ю.В., к.т.н.

¹ООО фирма «Промбудремонт», Украина

²ООО «Укринсталкон им.В.Н.Шимановского», ДонЦТБ, Украина

³ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Украина

Анотація. Представлене теоретичне обґрунтування і практичний досвід робіт з управління технологічною безпекою при реалізації програм переозброєння і стратегічного розвитку підприємств. Для організації технічного обслуговування і ремонтно-відновлювальних робіт за фактичним станом використаний експертний показник пропускної спроможності регулювання ресурсу конструкцій. Вирішена задача оцінки коефіцієнта зворотного зв'язку при негативних зовнішніх впливах для забезпечення післяремонтної несучої здатності конструкцій будівель і споруд. Показані переваги конструктивних і технологічних рішень при ремонтному посиленні і захисті конструкцій за допомогою рулонних фотополімерних волоконно-армованих матеріалів. Порівняльний аналіз ефективності застосування полімерних композитних матеріалів виконаний за наслідками визначення коефіцієнта готовності конструктивних елементів з урахуванням рівня корозійної небезпеки будівельних об'єктів.

Аннотация. Представлено теоретическое обоснование и практический опыт работ по управлению технологической безопасностью при реализации программ перевооружения и стратегического развития предприятий. Для организации технического обслуживания и ремонтно-восстановительных работ по фактическому состоянию использован экспертный показатель пропускной способности регулирования ресурса конструкций. Решена задача оценки коэффициента обратной связи при негативных внешних воздействиях для обеспечения послеремонтной несущей способности конструкций зданий и сооружений. Показаны преимущества конструктивных и технологических решений при ремонтном усилении и защите конструкций с помощью рулонных фотополімерных волоконно-армированных материалов. Сравнительный анализ эффективности применения полимерных композитных материалов выполнен по результатам определения коэффициента готовности конструктивных элементов с учетом уровня коррозионной опасности строительных объектов.

Abstract. The theoretical justification and skills in the management of the technological safety in the course of enterprises reequipment and strategic development of the enterprises is presented. For organization of the maintenance of the repair and the repair-and-renewal operations by the actual state, the expert index of carrying capacity of the still structure control was used. The problem of estimation of the feedback factor in course of the negative external actions for provision of the after-repair carrying capacity of structures and constructions are solved. The advantages of the structural and technological decisions in course of the structure repair strengthening and protecting with a help of the roll photopolymer fiber-armored materials are shown. The comparison analysis of the efficiency of the polymeric composition material use is carried out according to the result of the determination of the structural member preparedness taking into account the level of corrossions aggressiveness.

Ключевые слова: несущая способность конструкции, анализ эффективности, коэффициент готовности.

Введение. Методы учета производственных затрат, обеспечивающих нормативные показатели качества и долговечности строительных металлоконструкций, в значительной степени зависят от отраслевой принадлежности предприятий, методов организации производства, особенностей технологических процессов и других условий. Техничко-экономические показатели ремонтно-восстановительных работ строительных объектов определяются специфическими условиями организации, управления и материально-технического обеспечения работ при новом строительстве, технической эксплуатации и реконструкции производственных предприятий.

Здания и сооружения, как конечная продукция строительного производства, составляют значительную часть основных фондов и рассчитаны на длительную эксплуатацию. Потребности нового строительства, а также реконструкция, техническое перевооружение и модернизация действующих промышленных предприятий требуют применения обоснованных мер обеспечения нормативных сроков службы конструкций, оценки остаточного ресурса и управления эксплуатационным сроком их надежной и безопасной эксплуатации.

В Донецкой области образована мощная техносфера, включающая объекты инфраструктуры и производственные фонды. По основным факторам техногенной нагрузки региона имеет место превышение в 5-15 раз аналогичных показателей ведущих промышленно развитых стран. Основы безопасности природно-техногенной сферы базируются на теории техногенных и природных катастроф, правовом и экономическом управлении рисками, научных принципах, методах диагностики, мониторинга и инженерной защиты.

Цель работы связана с анализом эффективности конструктивных и технологических решений, направленных на повышение послеремонтной несущей способности конструкций и сооружений, при производстве ремонтно-восстановительных работ на потенциально опасных объектах, требующих выполнения комплекса задач научно-технического сопровождения [1, 2].

Представленные материалы отражают опыт взаимодействия Донбасского центра технологической безопасности ООО «Укринсталкон им. В.Н. Шимановского» и ООО фирма «Промбудремонт» при решении практических задач продления ресурса конструкций и сооружений производственных объектов ПрАО «Донецксталь»-металлургический завод» [3, 4]. Разработ-

ки направлены на внедрение эффективных методов управления технологической безопасностью в условиях модернизации производственного потенциала Донбасса, концентрацию финансовых, материально-технических ресурсов и научно-технического потенциала для оценки и продления ресурса объектов инфраструктуры и основных фондов, стимулирование инноваций, направленных на разработку новых материалов и применения ресурсосберегающих технологий.

Методика управления технологической безопасностью потенциально опасных объектов. Организация вертикально интегрированной системы управления надежностью и безопасностью эксплуатации конструкций зданий и сооружений, предупреждение возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций техногенного характера направлены на выполнение требований технического регулирования Директивы Совета ЕС №89/106/ЕЕС.

Для характеристики методов управления технологической безопасностью сопоставим область применения требований техногенной и промышленной безопасности. Техногенная безопасность устанавливает степень защищенности человека, объектов и окружающей среды от созданных и функционирующих сложных технических систем гражданского и промышленного назначения.

Сфера промышленной безопасности определяет степень защищенности человека от опасных производственных факторов.

Технологическая безопасность характеризует степень защищенности человека, общества, объектов и окружающей среды от угроз, связанных с необоснованным созданием или несозданием технических систем, технологических процессов и материалов, обеспечивающих устойчивое развитие в основных отраслях экономики. Технологическая безопасность представляет важную структурную составляющую безопасности предприятия, характеризующую систему мер для поддержания работоспособности, повышения эксплуатационных свойств конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей, которые полностью или в значительной степени исчерпали свой нормативный ресурс. Такие объекты рассматриваются как источники потенциальной опасности при модернизации (техническом переоснащении), реконструкции и продлении срока их эксплуатации. Анализ отечественных нормативных документов, европейских и международных стандартов подтверждает, что обеспечение безопасности и ремонтно-пригодности конструкций связаны с управлением на принципах всеобщего управления качеством (TQM).

Управление проектной и технологической документацией, а также контроль качества при изготовлении и монтаже конструкций, производстве ремонтно-восстановительных работ выполняется главным

образом на методической основе стандартов серии ISO 9001:2000, что позволяет использовать процессный подход к обеспечению надежности и безопасности конструкций и сооружений (рис. 1).

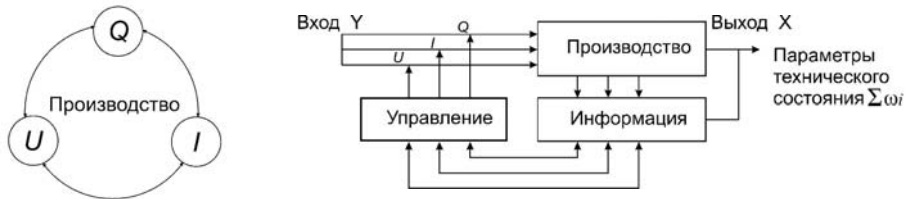


Рис. 1. Схема процессного подхода и структурно-организационная модель материальной (Q), информационной (I) и управленческой (U) составляющих мониторинга коррозионного состояния строительных объектов

Стабильность и непрерывность производственных процессов при негативных воздействиях обеспечивается условиями технологической безопасности, которые могут быть представлены в виде:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N U_i \geq \sum_{i=1}^N (S_{d,i} + S_{c,i}), \\ \sum_{i=1}^N U_i = \sum_{j=1}^M f(T_{v,j}) \Rightarrow \min, \end{cases} \quad (1)$$

где U_i – затраты на поддержание i -го конструктивного элемента выборки (N) в работоспособном состоянии, обеспечивающие требования технологических процессов зданий и сооружений, грн/год; $S_{d,i}$ – потери, вызванные физическим износом, грн/год; $S_{c,i}$ – потери в результате морального старения, грн/год; $T_{v,j}$ – показатель ремонтпригодности, определяющий промежуток времени (год), для восстановления работоспособности при минимальных затратах j -го конструктивного элемента выборки (M), степень критичности дефектов и повреждений которого выше предельного уровня повреждаемости.

Разработанный методический подход предусматривает основные этапы оценки уровня риска по технологической безопасности (R_i , балл) для конструкций зданий и сооружений:

- выбор режима контроля параметров конструкций по результатам оценки повреждаемости и допустимым интервальным значениям ремонтпригодности;
- количественную оценку показателя ремонтпригодности $T_{v,j}$ на основании расчета стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность;

- анализ уровня уязвимости стальных конструкций в зависимости от степени критичности (категории) дефектов и повреждений;
- оценивание угроз (категории технического состояния) при эксплуатации по фактическому состоянию для установленных значений ремонтпригодности стальных конструкций;
- восстановление эксплуатационных свойств, продление ресурса стальных конструкций и понижение уровня риска при реализации мер программ обеспечения надежности (ПОН) объектов повышенной опасности.

В соответствии с требованиями методики предельных состояний оценивается пропускная способность регулирования ресурса, определяющая допустимое изменение проектного значения отношения резерва надежности для восстановления работоспособного состояния за счет конструктивно-технологических ограничений и методов обеспечения требуемой послеремонтной несущей способности.

Данные контроля технического состояния объектов (параметры «выхода» системы) позволяют произвести анализ требований технологической безопасности (параметры «входа») для обоснования регламента ремонтно-восстановительных работ с учетом показателей ремонтпригодности и послеремонтной несущей способности. Задание критериев предельных состояний при продлении ресурса по результатам оценки фактического состояния выполняется с помощью коэффициента обратной связи режима эксплуатации конструкций (ψ) на основании зависимости

$$N = \Phi / (\Gamma - \psi), \quad (2)$$

где N – наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе, кН; Φ – предельное усилие, кН, которое может воспринять элемент с характеристикой повреждаемости Θ_f ; Γ – отношение резерва надежности.

Использование коэффициента обратной связи режима эксплуатации (ψ) обеспечивает реализацию аналитического подхода к управлению технологической безопасностью, формированию программ обеспечения надежности на основе решения задач анализа возможных причин, последствий отказов (FMEA) и оценки критичности отказов (FMESA). При этом критерием технологической безопасности конструкций является характеристика (η), определяющая пропускную способность регулирования ресурса

$$\eta = 1 / (\Gamma - \psi). \quad (3)$$

При накопленні повреждень Θ_f коефіцієнт обратної зв'язи (ψ) характеризує зниження експлуатаційних показателів сталевих конструкцій при установленому проектному значенні відношення резерва надійності (Γ). Возмущаючі впливи негативних зовнішніх факторів $A(L, G, S, T, R)$ і внутрішніх параметрів $A(f)$ викликають корозійне руйнування і появу ознак граничних станів конструкцій. Пропускна здатність регулювання ресурсу характеризує допустиме змінення проектної значення відношення резерва надійності (Γ) для відновлення робоспроможного стану і продовження ресурсу за рахунок конструктивно-технологічних обмежень і методів забезпечення виможуваної післяремонтної несучої здатності. Кінечноелементне моделювання напружено-деформованого стану сталевих конструкцій для оцінки показателів ресурсу (ψ, η) виконано з використанням інтегрованого розрахункового комплексу SCAD.

Структура проектних і технологічних рішень по забезпеченню надійності об'єктів підвищеної небезпечності представлена на рис. 2.

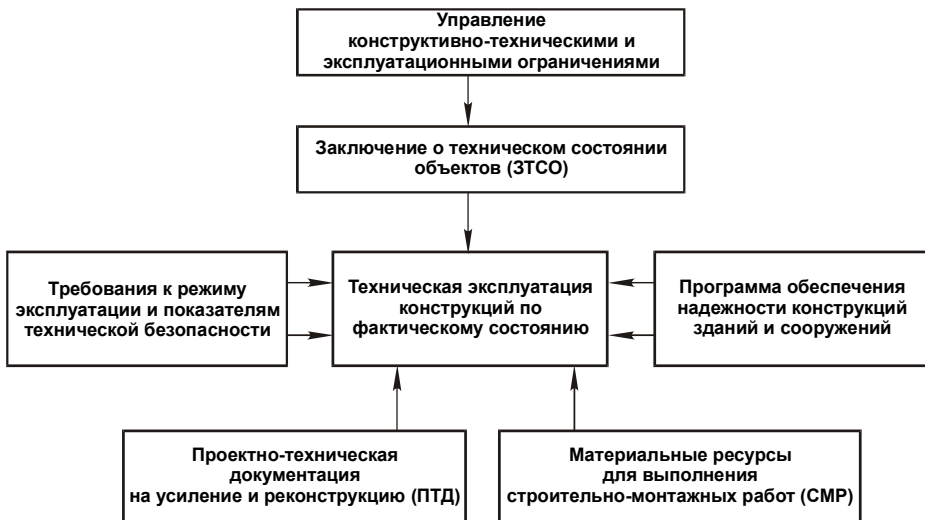


Рис. 2. Организационно-технические меры по обеспечению технологической безопасности

Продление ресурса объектов повышенной опасности. Решение задачи оценки остаточного ресурса главным образом определяется показателями ремонтпригодности, характеризующими приспособленность конструкций к предупреждению, обнаружению и устранению дефектов и повреждений путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Анализ обеспеченности технического обслуживания и ремонта на предприятиях создает условия для разработки программ обеспечения надежности (ПОН), включающих формирование и привлечение требуемых ресурсов при обслуживании строительных объектов по фактическому состоянию.

Рассмотрим основные этапы работ при продлении нормативного срока службы на примере стальных конструкций рудного перегружателя грузоподъемностью 30 т пролетом 76,2 м.

Рудно-грейферный кран (РГК-2) эксплуатируется с 1954 г. в тяжелом режиме работ. Кран-перегрузатель установлен на рудном дворе доменного цеха ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод (рис. 3, 4).



Рис. 3. Общий вид РГК-2



Рис. 4. Коррозионный износ конструкций

Эксплуатационные нагрузки обусловлены особенностью технологического процесса рудного двора, где происходит разгрузка, сортировка по маркам и хранения шихты, предназначенной для подачи в домы № 1 и № 2 доменного цеха. Эксплуатация металлоконструкций крана осуществляется в условиях значительных динамических воздействий, превышающих расчетные из-за необходимости сортировки и погрузке-разгрузке слежавшихся, подвергающихся замерзанию, складываемых и перемещаемых углей и шихты.

В конструктивном отношении стальная клепанная решетчатая конструкция РГК-2 имеет пролет 76,2 м и консоли – со стороны шарнирной опоры 21,85 м, со стороны жесткой опоры 34,5 м. Численные исследования напряженно-деформированного состояния несущих конструкций учитывали специфику расчета конструкций мостовых перегружателей.

При постановке задачи продления ресурса рассмотрены параметры грузоподъемности, интенсивности эксплуатации (действующая производительность, фактические скорости подъема груза, передвижения тележки и моста крана) и ремонтпригодности. В качестве расчетной схемы принята пространственная схема моста с П-образным сечением в решетчатом исполнении.

Усилия в элементах определялись методом пространственных конечных элементов с использованием вычислительного комплекса «SCAD Office». Выявлены элементы, напряжения в которых превышают предельные с учетом действительных режимов нагружения и технического состояния. По данным мониторинга технического состояния установлено, что при III категории технического состояния, высоком уровне уязвимости для группы ответственности (R2), уровень риска стальных конструкций перегружателя по технологической безопасности составляет 8 баллов в соответствии с требованиями таблицы.

Таблица

Уровни рисков по технологической безопасности (R_i) в зависимости от групп ответственности, уровня угроз и уязвимости конструкций и сооружений

Группы ответственности по технологической безопасности	Уровень угрозы (категория технического состояния)											
	низкий (I)			низкий (II)			средний (III)			высокий (IV)		
	Оценка уязвимости конструкций											
	Н	С	В	Н	С	В	Н	С	В	Н	С	В
Объекты с функциями обслуживания непроизводственного назначения (R5)	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	6
Объекты с функциями обслуживания производственного назначения (R4)	2	3	3	3	4	5	4	5	6	5	6	7
Вспомогательные объекты (R3)	3	3	4	4	5	6	5	6	7	6	7	8
Основные объекты, допускающие ремонт и техническое обслуживание без технологической остановки (R2)	4	4	5	5	5	7	6	7	8	7	8	9
Основные объекты, для которых ремонт и техническое обслуживание выполняется при технологической остановке (R1)	5	5	6	5	6	7	7	8	8	8	9	10

Причинами неудовлетворительного эксплуатационного состояния конструкций могут быть низкая технологическая дисциплина при изготовлении и монтаже конструкций, нарушение требований проектной документации и технологических регламентов. Аварийная ситуация, связанная с дефектами монтажных соединений стальных конструкций ферм моста, показанная на рис. 5. В соответствии с разработанными проектными и технологическими решениями произведены работы по замене и усилению поврежденных конструкций, восстановлена работоспособность радиального сгустителя.

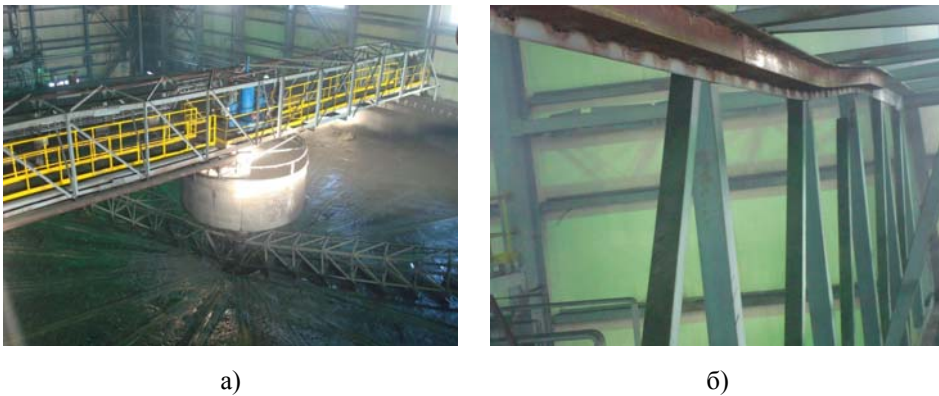


Рис. 5. Конструкции пролётного сооружения радиального сгустителя:
а) Общий вид сооружения; б) Повреждения элементов стальных ферм

Процедура проведения ремонтно-восстановительных работ при продлении ресурса объектов повышенной опасности, как правило, включает требования обеспечения технологической, производственной и техногенной опасности. Сложность проектных и технологических требований обуславливает применение новых материалов и технологий.

Возможность восстановления герметичности тройника трубопровода была обеспечена без применения сварочных работ и прекращения подачи коксового газа за счет применения упрочняющего полиэфирного волокноармированного пластика (рис. 6, 7).



Рис.6. Поврежденный участок тройника коксового газа ПАО «Ясиновский коксохимзавод»



Рис. 7. Тройник коксового газа после ремонтного восстановления

Данный материал успешно используется для химической и противокоррозионной защиты трубопроводов, емкостей для хранения агрессивных сред и пищевых продуктов, водостоков и вентиляционных коммуникаций [5].

Выводы

С учетом факторов неопределенности и риска, высокого уровня физического износа методология ремонтно-восстановительных работ объектов повышенной опасности включает научно-техническое сопровождение на основе требований обеспечения технологической безопасности. Указанное обстоятельство имеет первостепенное значение для предупреждения аварийных ситуаций и обоснования мероприятий по усилению и реконструкции при модернизации и техническом переоснащении. Мониторинг технического состояния конструкций и сооружений включает расчетную оценку остаточного ресурса, регулирование послеремонтной несущей способности с учетом положений норм ДБН В.1.2-5:2007 и ДБН В.1.2-9-2008 и способствует повышению эффективности финансовых и материальных затрат.

Процессный подход к обеспечению технологической безопасности предполагает переход от расчетных показателей пассивной надежности к разработке программ управления рисками для предупреждения или нейтрализации последствий отказов. Таким образом, можно констатировать, что обеспечение надежности и безопасности объектов возможно только на принципах всеобщего управления качеством (TQM).

Литература

- [1] ДБН В.1.2-5:2007 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. – Мінрегіон України. – 16 с.
- [2] ДБН В.1.2-9-2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель та споруд. Безпека експлуатації. – Мінрегіон України. – 21 с.
- [3] Шимановський О.В. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних конструкцій / Шимановський О.В., Корольов В.П. // Промислове будівництво та інженерні споруди, 2008. – № 1. – С. 4–9.
- [4] Шимановский А.В. Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений / Шимановский А.В., Гордеев В.Н., Корольов В.П., Оглобля А.И., Рухович И.Р., Филатов Ю.В. – К.: Изд-во «Сталь», 2008. – 463 с.
- [5] Рекомендации по применению фотополимерных волоконно-армированных материалов «ТехноПласт» при ремонтно-восстановительных работах и защите от коррозии листовых металлоконструкций. – Киев: УкрНИИПроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского, 2006. – 48 с.

Надійшла до редколегії 21.08.2012 р.