

УДК 624.014.2

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ
С УЧЕТОМ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА**

*к.т.н., доц. Жаданова К.Ф., маг. Онищенко В. В., маг. Кириченко Н. С.
Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье*

Вопросы обеспечения работоспособности конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений являются на сегодняшний день чрезвычайно актуальными. Особо важное значение эти вопросы приобретают, если речь идет о конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных средах, где главным фактором, определяющим долговечность конструкций, является коррозионный износ.

Основным способом защиты строительных металлоконструкций от коррозии является нанесение антикоррозионных покрытий. Однако, срок службы таких защитных покрытий в агрессивных средах крайне низок по сравнению со сроком службы здания: в сильноагрессивных средах лакокрасочные покрытия выходят из строя через 1-3 года, в среднеагрессивных – через 3-5 лет [1]. Для того, чтобы в таких условиях эксплуатировать конструкцию долго, необходима хорошо налаженная и постоянно функционирующая система технической эксплуатации строительных объектов, обеспечивающая бесперебойный мониторинг технического состояния конструкций, отвечающая за правильное содержание и периодическое восстановление защитных покрытий. Однако, как показывает практика, техническое обслуживание большинства промышленных предприятий ведется крайне плохо, не носит систематического характера. Нередки случаи, когда металлоконструкции эксплуатируются без возобновления первоначального лакокрасочного покрытия заводского исполнения вплоть до исчерпания их несущей способности, т.е. большая часть жизненного цикла конструкций проходит практически без защиты в условиях естественно протекающей коррозии.

Коррозионный износ конструкции – потеря площади сечения элемента – может стать причиной наступления предельных состояний первой или второй группы вследствие снижения несущей способности элементов конструкций или появления недопустимых деформаций из-за снижения жесткости конструкции в целом. Для предотвращения аварийной ситуации важно располагать достоверной методикой, позволяющей оценить состояние эксплуатируемой конструкции на текущий момент времени и дать прогноз относительно ее эксплуатационной пригодности на будущее.

Настоящая статья посвящена прогнозированию эксплуатационной пригодности стальных ферм покрытий промышленных зданий с учетом коррозионного износа. Работа выполнена применительно к стальным фермам покрытия цеха графитации ОАО «Укрграфит».

В последние десятилетия накоплен значительный экспериментальный материал по коррозионному износу строительных металлоконструкций [1, 2]. Обоснованы математические модели, описывающие кинетику процесса, конкретизированы параметры и показатели коррозионного износа в зависимости от влажности, агрессивности производственной среды, температурного режима здания.

Так, основные цеха цветной металлургии объединены [1] в четыре самостоятельные группы по условиям эксплуатации и интенсивности коррозионного процесса. Кинетика коррозионного износа в этих цехах с достаточной точностью описывается выражением:

$$\delta_t = c \cdot t^n, \quad (1)$$

где δ_t – проникновение коррозии (односторонний износ), мм; t – срок службы, годы; c и n – эмпирические коэффициенты для конструкций покрытий, зависящие от группы цеха.

В основе приведенного исследования использована математическая модель (1) и основные положения метода расчета стальных конструкций по предельным состояниям [3].

Цех графитации ОАО «Укрграфит» введен в эксплуатацию в 1952 г. Каркас здания стальной; по фермам из парных уголков укладывались прогоны сплошного сечения и асбестоцементные волнистые листы. Цех оборудован светоаэрационным фонарем. Для данного цеха характерна повышенная относительная влажность, технологический процесс сопровождается значительным тепловыделением, а также выделением пыли. Температурный режим характеризуется крайней нестабильностью. Наиболее резкие перепады температур наблюдаются вблизи аэрационных фонарей, дверных и оконных проемов, т. е., в зонах проникновения холодного наружного воздуха. Производственная среда цеха характеризуется как сильноагрессивная.

В 1976 г. при реконструкции цеха конструкции покрытия, включая фермы, прогоны, элементы фонаря, были демонтированы, как непригодные к дальнейшей эксплуатации и заменены новыми. Вновь запроектированные фермы были выполнены из парных уголков с изломанным нижним поясом (рис. 1). В качестве кровли применены стальные волнистые листы.

В 2002 г. После обследования при реконструкции объекта было выполнено усиление ферм, имеющих дефекты в виде коррозионного износа, выгибов стержней, смалкования уголков. Всего было усилено 14 ферм из 46. Кроме того была выполнена очистка всех металлических конструкций пескоструйным способом с последующим нанесением антикоррозионного покрытия в виде грунтовки, эмали и лака состава ХС. Прогоны, кровельные листы и конструкции светоаэрационного фонаря были заменены новыми. Эти конструкции эксплуатируются по сегодняшний день.

В настоящее время решается вопрос о пригодности к дальнейшей эксплуатации стальных ферм покрытия цеха, срок службы которых составляет 35 лет. Задача заключается в оценке технического состояния ферм покрытий на текущий момент времени и прогнозировании эксплуатационной пригодности ферм на период до 2036 г., когда срок службы здания составит 60 лет.

В соответствии с [1] цех графитации может быть отнесен ко второй группе цехов, куда входят пирометаллургические цеха с светоаэрационными фонарями при относительной влажности воздуха 60 – 80 %; параметры математической модели (1) в этом случае имеют значения: $c = 0,12$; $n = 0,61$.

Пригодность конструкции к эксплуатации (I группа предельных состояний) проверяется неравенством:

$$N \leq [N], \quad (2)$$

где N – усилия в элементах, $[N]$ – их несущая способность.

Усилия в стержнях ферм определялись с применением программного комплекса «ЛИРА». Расчетная схема фермы показана на рис. 1.

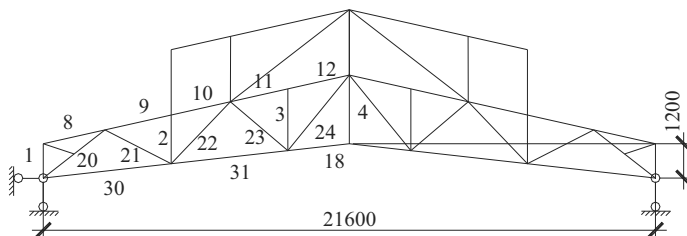


Рис. 1. Расчетная схема фермы покрытия.

Комплекс выполненных расчетов включает в себя:

- расчет фермы с определением усилий и проверкой напряжений в стержнях с учетом норм, действующих в 1976 г. Расчет показал, что ферма запроектирована со значительным запасом (30 – 50%), при этом обнаружены стержни, гибкость которых превышает предельные значения;

- расчет ферм с определением усилий и проверкой напряжений в стержнях по действующим нормам. Расчет показал, что прочность и устойчивость стержней фермы обеспечена. При расчете ферм учитывалась постоянная нагрузка, два варианта снеговой нагрузки и нагрузка от производственной пыли. Усилия в стержнях ферм, полученные на этой стадии расчета приведены в табл. 1;

- расчет несущей способности стержней без учета коррозионного износа и с его учетом.

Несущую способность сжатых и растянутых стержней ферм в интересующие нас моменты времени можно определить соответственно по формулам:

$$[N_c] = A_t \cdot R_y \cdot \varphi_t \cdot \gamma_c, \quad [N_p] = A_t \cdot R_y \cdot \gamma_c,$$

в которых A_t – площадь элемента с учетом коррозионного износа δ_t , накопленного к рассматриваемому моменту времени и определяемому по формуле (1), R_y – расчетное сопротивление стали, φ_t – коэффициент продольного изгиба, γ_c – коэффициент условия работы.

Рассматривались периоды времени эксплуатации конструкций $T_1 = 35$ лет (с 1976 по 2011 гг.), $T_2 = 60$ лет (с 1976 по 2036 гг.). Последний период времени соответствует приближенному сроку эксплуатации промышленных зданий. В рассматриваемые периоды коррозионный процесс исключался дважды: при действии первоначальной антикоррозионной защиты в 1976 г. и возобновленной в 2002 г. В соответствии с данными [1] срок службы первоначального лакокрасочного покрытия составляет 3 года, повторного – 2 года. Таким образом, периоды времени накопления коррозионного износа составляют соответственно $t_1 = 30$ лет, $t_2 = 55$ лет. Значения площадей элементов и их несущей способности для периодов времени $t = 0$, $t_1 = 30$ лет, $t_2 = 55$ лет приведены в табл. 1.

Таблица 1

Усилия в стержнях ферм и их несущая способность

Элементы фермы	№ стержня	Усилия, кН	Сечения	Площадь, см ²			Несущая способность, кН		
				A_0 $t=0$	A_0 $t_1=30$	A_0 $t_2=55$	$[N]_0$	$[N]_3$ 0	$[N]_5$ 5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Верхний пояс	8	0.00	2┘ 75x8	23.00	17.66	15.13	292.68	219.66	180.44
	9	-151.18	2┘ 75x8	23.00	17.288	14.91	-242.87	-175.22	-148.15
	10	-151.17	2┘ 75x8	23.00	17.288	14.91	-242.87	-175.22	-148.15
	11	-151.06	2┘ 75x8	23.00	17.288	14.91	-239.28	-176.77	-149.12
	12	-150.93	2┘ 75x8	23.00	17.288	14.91	-239.28	-176.77	-149.12
Нижний пояс	30	-71.31	2┘ 75x8	23.00	17.288	14.91	-84.21	-63.30	-53.27
	31	-16.31	2┘ 75x8	23.00	17.288	14.91	-92.43	-66.00	-53.27
	18	-46.75	2┘ 75x8	23.00	17.288	14.91	-97.56	-74.10	-62.25
Раскосы	20	-139.87	2┘ 75x8	23.00	17.288	14.91	-340.43	-255.89	-216.72
	21	59.53	2┘ 60x6	13.82	9.356	7.51	308.53	208.87	167.71
	22	-31.20	2┘ 90x8	28.00	21.034	18.14	-261.62	-192.97	-164.34
	23	-20.43	2┘ 60x6	13.82	9.356	7.51	-98.73	-62.09	-47.73
	24	36.51	2┘ 60x6	13.82	9.356	7.51	308.53	208.87	167.71
Стойки	1	-11.92	2┘ 60x6	13.82	9.356	7.51	-220.06	-147.40	-117.50
	2	-33.29	2┘ 60x6	13.82	9.356	7.51	-155.11	-100.43	-78.66
	3	-17.01	2┘ 60x6	13.82	9.356	7.51	-111.20	-70.71	-54.65
	4	-10.31	2┘ 60x6	13.82	9.356	7.51	-95.35	-63.15	-46.18

Табл. 1 позволяет сравнить усилия в стержнях ферм с их несущей способностью и сделать вывод относительно пригодности конструкции к дальнейшей эксплуатации. Из сравнения видно, что в период времени $t_1 = 30$ лет, соответствующего настоящему моменту времени, условие (2) удовлетворяется для всех стержней ферм, за исключением первой панели нижнего пояса, в котором усилие превосходит его несущую способность. В период времени $t_2 = 55$ лет условие (2) также не удовлетворяется для всех панелей верхнего пояса.

Рассматривалось также влияние коррозионного износа на жесткость конструкции (II группа предельных состояний). Расчет фермы с учетом эксплуатационного значения нагрузок и продольных жесткостей EAt_1 и EAt_2 показал, что прогибы фермы, увеличиваясь во времени по мере износа стержней ферм, не превысили предельного значения, установленного действующими нормами.

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Для конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, способ защиты от коррозии путем нанесения лакокрасочных покрытий нельзя признать эффективным. Периодическое возобновление защитных покрытий, обусловленное их недолговечностью, требует значительных материальных затрат.

2. Опыт эксплуатации конструкций цеха графитации показывает, что реально существует альтернативный подход к этой проблеме: конструкции эксплуатируются без антикоррозионной защиты до исчерпания их несущей способности, а затем заменяются новыми.

3. Изложенная методика прогнозирования эксплуатационной пригодности позволяет надежно определить время перехода конструкции в нерабочее состояние. Методика применима для эксплуатируемых объектов при отсутствии системного подхода к вопросам антикоррозионной защиты. Для вновь проектируемых объектов методика позволяет запроектировать конструкцию с припусками на коррозию, обеспечивая эксплуатационную пригодность в течении срока службы конструкции.

За пределами выполненного исследования остались вопросы отрицательного влияния коррозионного износа на трещиностойкость сварных швов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Коряков А.С., Грушина И.Б., Ямбулатов Р. И. Экономическая эффективность мероприятий по повышению долговечности металлических конструкций на предприятиях цветной металлургии. Обзорная информация, вып. 4. М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1987. – 36 с.
2. Кикин А.И., Васильев А.А. и др. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий. М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.
3. СНиП II-23-81* Стальные конструкции. Нормы проектирования. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП, 1990.