

РАЗДЕЛ III.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.046

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ ТИПА «МОЛОДЕЧНО»

Ю.С. Белова, Л.И. Жукова, Д.А. Кузьмин, Е.В. Тишков
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В статье установлена зависимость влияния степени развития поверхностной коррозии на несущую способность наиболее нагруженных стержней металлической стропильной фермы, выполненной из профилей типа «Молодечно». В результате проведенного исследования построены графики зависимости прочности, гибкости и местной устойчивости стенки от степени коррозионного разрушения поясов фермы поверхностной коррозией. Сделан вывод об интенсивности исчерпания несущей способности элементов фермы в зависимости от скорости распространения коррозионных процессов.

Ключевые слова: несущая способность, коррозионное разрушение, стропильная ферма, местная устойчивость, замкнутые профили.

ВВЕДЕНИЕ

Россия в 90-е годы переживала определенные политические и экономические события, которые оказали негативное влияние, в том числе на сферу строительства. Помимо того, что перестали строиться новые здания, многие уже построенные объекты, особенно производственного назначения, перестали эксплуатироваться. Длительные перерывы и неправильная эксплуатация привели к развитию деструктивных процессов в несущих конструкциях зданий и сооружений, в том числе к их коррозии. Достигая определенных значений, степень коррозии может существенно снижать несущую способность конструкций, что требует ее учета при проведении расчетов.

При проектировании и эксплуатации многих несущих строительных конструкций промышленных объектов предъявляются повышенные требования по надежности и долговечности. Это делает актуальным значительное количество научных исследований, посвященных расчету ферм, подверженных коррозионному износу – наиболее распространенному проявлению агрессивной среды.

Целью работы является оценка влияния поверхностной коррозии фермы из профильных

труб на несущую способность конструкции, а также прогнозирование долговечности фермы с учетом развития коррозионных повреждений ее элементов.

АНАЛИЗ СИТУАЦИИ

Согласно международному стандарту [1], под коррозией понимают физико-химическое или химическое взаимодействие между металлом (сплавом) и средой, приводящее к ухудшению функциональных свойств металла (сплава), среды или включающей их технической системы.

Результаты некоторых исследований показали, что сечения, выполненные из гнuto-сварных профилей (ГСП), менее подвержены коррозии, и скорость коррозионного процесса в них протекает медленнее [2]. Ярким примером ферм из ГСП профилей являются фермы типа «Молодечно», разработанные в 70-80-е годы в составе системы быстровозводимых зданий, названных по одноименному населенному пункту в республике Беларусь, где начал функционировать первый завод-изготовитель таких конструкций. Система предусматривала возможность демонтажа и переноса конструкций на новое место. Основными преимуще-

ствами ферм из профилей типа «Молодечно» являются:

- простота в изготовлении, удобство в покраске;
 - низкая металлоемкость вследствие сопряжения элементов конструкций без применения дополнительных фасонных деталей и меньшего количества сварных швов;
 - обтекаемая форма сечения профилей исключает наличие впадин и щелей в ферме, уменьшается возможность коррозионного влияния внешней среды;
 - наличие беспроемного решения приводит к минимальному количеству монтажных единиц и понижению трудоемкости монтажа;
 - эстетическое превосходство в сравнении с распространенными фермами из парных уголков.
- Недостатки ферм типа «Молодечно»:
- необходимость глушить и герметизировать стержни фермы;
 - высокая стоимость профильных труб.

Несмотря на данные недостатки, фермы из профилей типа «Молодечно» нашли широкое распространение в России, в том числе и городе Омске. При этом чаще использовались не ГСП трубы, а профильные (прямоугольные) трубы.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является стропильная ферма покрытия производственного здания в городе Омске. По объемно-планировочному решению здание имеет квадратную форму в плане с габаритными размерами по осям 72х72 м. Пространственная система здания представляет собой связевый стальной каркас, образованный двутавровыми прокатными колоннами сечением 50Ш1, подстропильными и стропильными фермами пролетом 12 и 24 м соответственно. Покрытие выполнено беспроемным, с укладкой профилированного листа непосредственно на верхние пояса стропильных ферм. Настил из профлиста развязывает верхние пояса из плоскости и играет роль горизонтальных связей, обеспечивая пространственную жесткость каркаса.

Стропильные фермы разработаны по типу серии 1.460-3-14/90. Пролет фермы 24 м, высота 1,8 м. Высота до низа стропильных ферм составляет 11 м. Шаг ферм 4 м. Масса фермы составляет 1408 кг. Сечения стержней фермы выполнены в виде прямоугольных и квадратных труб. Внешний вид фермы представлен на рис. 1а, 1б.

а)



б)



Рисунок 1 – Стропильная ферма из профильных труб: а – общий вид на ферму; б – коррозионные повреждения элементов фермы

Здание 1991 года постройки. С момента завершения строительства и до настоящего времени здание практически не эксплуатировалось. Требуемых мероприятий по консервации здания на период длительного простоя не производилось. Естественные процессы старения привели к полной потере герметичности кровли, что повлекло за собой образование повсеместных протечек поверхностных вод через кровлю внутрь здания. Все вышеперечисленные факторы способствовали развитию коррозионных процессов в стальных элементах ферм. В настоящее время авторами статьи проведены в соответствии с нормами инструментально-технические обследования несущих конструкций здания на предмет возможности дальнейшей безаварийной эксплуатации конструкций, особое внимание уделено работе элементов стропильных ферм с коррозией. [3]

Номинальные размеры сечений (без учета коррозии) определены на основании натурных замеров и представлены на рисунке 2. Раскосная решетка фермы треугольная. Раскосы не оснащены фасонками и примыкают непосред-

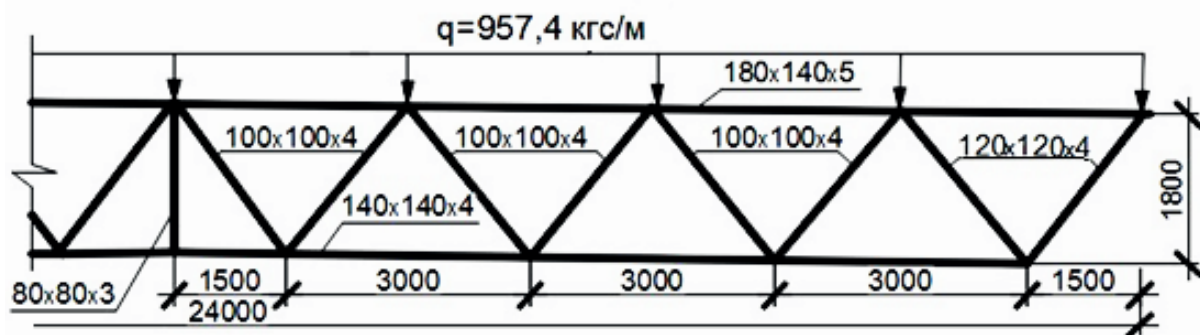


Рисунок 2 – Геометрическая схема и загрузка полуфермы

ственно к поясам. Фермы имеют монтажные стыки в середине пролета – фланцевое соединение на высокопрочных болтах.

Фермы шарнирно опираются на подстропильные конструкции в уровне верхних поясов.

Полная расчетная нагрузка на ферму определена с учетом фактической массы кровли согласно [4] и составляет 957.4 кг/м.

Выявлено наличие поверхностной коррозии элементов ферм. На момент обследования величина коррозии, определенная инструментальными измерениями, составляла до 0,5 мм.

Для оценки влияния коррозионных повреждений элементов фермы на ее несущую способность выполнен ряд инженерных расчетов. Статический расчет фермы проведен в программном комплексе «Лира» методом конечных элементов. Конструктивный расчет произведен на основании действующих норм [5-6].

Предпосылки расчетов:

- жесткости и нагрузка от собственного веса стержней фермы приняты по номинальным размерам без учета коррозии;
- сопряжения стержней в узлах приняты жесткими;
- нагрузка приложена к верхнему поясу фермы линейно распределенной;
- совместная работа фермы и настила не учтена;
- поверхностная коррозия распределена по всему внешнему периметру сечения элементов фермы;
- степень коррозионных повреждений варьировалась в пределах 0...40% относительно номинальной толщины сечения;
- ослабление сечения крепежными элементами настила не учтено;
- влияние коррозии на стыки и сварные

швы не анализировалось;

- рассмотрена только I группа предельных состояний.

Исчерпание несущей способности фермы наступает одновременно с исчерпанием несущей способности ее наиболее нагруженного элемента.

Для анализа выбраны наиболее нагруженные элементы, работающие на внецентренное сжатие и растяжение. Усилия в наиболее нагруженном внецентренно сжатом элементе (верхний пояс) составляют: $N = -37.4$ тс, $M = 0.615$ тс·м, $Q = 1.43$ тс; в наиболее нагруженном внецентренно-растянутом (нижний пояс): $N = 38.5$ тс, $M = 0.230$ тс·м; $Q = 0.12$ тс.

В расчетах проанализировано влияние коррозии сечения на прочность элементов, местную устойчивость их стенки, а также гибкость нижнего пояса. Поскольку верхний пояс фермы раскреплен по всей длине диском перекрытия, общая устойчивость и гибкость верхнего пояса не рассматривались. Результаты расчетов приведены на рисунках 3-5. При расчете прочности верхнего пояса рассмотрено два типа сечения: полное и редуцированное.

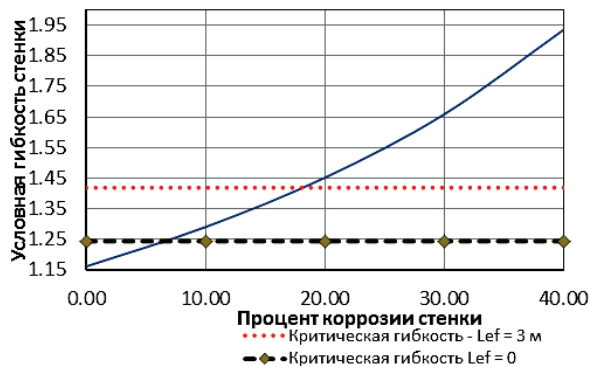


Рисунок 3 – Влияние коррозионных повреждений на условную гибкость стенки верхнего пояса

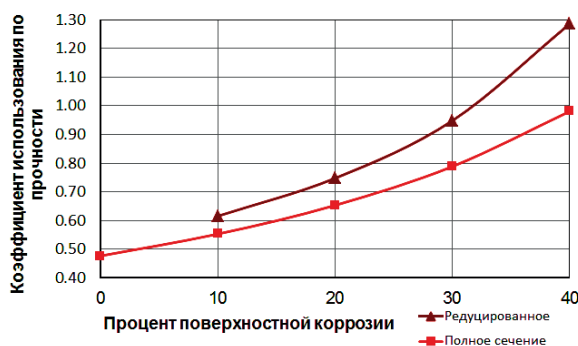


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента использования по прочности верхнего пояса от степени коррозионных повреждений



Рисунок 5 – Зависимость коэффициента использования по прочности нижнего пояса от степени коррозионных повреждений

Определение несущей способности элементов ферм с учетом поверхностной коррозии – один из важнейших аспектов поверочных расчетов стальных конструкций при обследовании зданий и сооружений. Один из наиболее трудоемких этапов расчета – определение геометрических характеристик сечений с учетом коррозии. Практика показывает, что упрощенное рассмотрение трубчатых ГСМ профилей как прямоугольников (без учета скруглений углов) приводит к большим погрешностям и неадекватным результатам, когда корродированное сечение имеет более высокие характеристики, нежели первоначальные, принятые по ГОСТ 30245.

Предложена упрощенная инженерная методика для определения геометрических характеристик ГСМ профилей при поверхностной коррозии всего периметра.

$$J_{xk} = J_{xo} \cdot (\alpha_k - \Delta); \quad (1)$$

где

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A_0}. \quad (2)$$

J_{xk}, J_{xo} , см⁴ – моменты инерции сечения по сортаменту и корродированного сечения;
 A_0, A_k , см² – площади сечения по сортаменту и корродированного сечения.

При этом зависит от степени коррозии:

При коррозии:

- до 0.1 мм $\Delta = 0$;
- до 0.5 мм $\Delta = 0.01$;
- до 1 мм $\Delta = 0.02$;
- более 1 мм $\Delta = 0.03$.

Таким образом, задача сводится к определению площади сечения, ослабленного коррозией, что более простой способ, нежели вычисление непосредственно моментов инерции.

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Несущая способность не корродированной фермы на восприятие действующих нагрузок обеспечена. Наиболее нагружен нижний пояс фермы, запас составляет 20%.

2. Текущая на момент обследования степень коррозии элементов достигает 0.5 мм, что соответствует 10% для верхнего пояса и 12% для нижнего пояса. Согласно графикам несущая способность фермы находится на пределе, и запас составляет всего около 1% по прочности нижнего пояса.

3. При достижении 5-7% коррозии верхнего пояса фермы достигается критическая гибкость стенки профильной трубы, возникает опасность потери местной устойчивости стенки, и требуется оценка прочности ослабленного (редуцированного) сечения пояса. При возрастании свободной длины пояса критическая гибкость возрастает – допускается до 18% коррозионных повреждений при свободной длине 3 м. Однако вместе с тем возникает необходимость в проверке общей устойчивости пояса.

4. Разница в несущей способности не корродированного и редуцированного сечений (сечения за вычетом участка стенки, потерявшего местную устойчивость) составляет 10% при коррозионных повреждениях до 20% толщины профиля. При дальнейшем развитии коррозии разница нелинейно возрастает.

5. Поверхностная коррозия не оказывает существенного влияния на гибкость элементов фермы (гибкость возрастает на 2-3%).

В соответствии с [7] и [8] скорость распространения коррозии зависит от степени агрес-

сивности сред и группы стойкости металлов. Ориентируясь на эти документы, возможно спрогнозировать предположительный срок исчерпания несущей способности фермы при дальнейшем развитии коррозионных повреждений.

Для производственного помещения, в котором располагается рассмотренная ферма, нормативная скорость поверхностной коррозии составляет 0,1 мм/год. Тогда текущий уровень коррозии (0,5 мм) достигается в среднем за 5 лет ненадлежащей эксплуатации. Предельный уровень коррозии для нижнего пояса составляет 0,55 мм и может наступить менее чем через полгода, если не принять соответствующих мер по обеспечению сохранности и восстановлению конструкций от коррозии.

Существует еще один менее явный, но весьма опасный фактор риска. В данном случае речь идет о настиле покрытия из профилированного листа, раскрепляющего верхние пояса ферм. Поскольку стыки профилированного листа по длине устроены непосредственно на опорах, т.е. на верхних поясах ферм, это создает предпосылки для очаговой коррозии профилированных листов в зоне расположения закрепляющих саморезов. Расстройство узлов крепления профлиста к ферме делает ее работу неопределенной, создается опасность потери устойчивости из-за потери конструктивной связи между фермами и настилом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования установлена зависимость влияния степени развития поверхностной коррозии на несущую способность наиболее нагруженных стержней металлической стропильной фермы, выполненной из профилей типа «Молодечно». В результате проведенного анализа на примере рассмотренной фермы построены графики влияния степени коррозионного разрушения поясов на прочность, гибкость и местную устойчивость стенки.

Исследование показало, что поверхностная коррозия 0,5 мм (10-12%) снижает несущую способность рассмотренной фермы приблизительно на 20%, что, безусловно, существенно и должно учитываться при проведении проверочных расчетов, в том числе

аналогичных ферм. Выявлено, что уже через полгода при дальнейшей скорости нарастания коррозионных повреждений степень коррозии может достичь критической величины.

Предложена инженерная методика по определению геометрических характеристик профильных труб с учетом поверхностной коррозии.

В ходе дальнейших исследований планируется аналогичным образом рассмотреть фермы из замкнутых профилей с иными геометрическими параметрами с целью выявления общих зависимостей и составления обобщенных номограмм допустимых коррозионных повреждений применительно к наиболее распространенным профилям сортамента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стандарт ISO 8044:2015. Corrosion of metals and alloys. Basic terms and definitions. Коррозия металлов и сплавов. Общие термины и определения. // 25.08.2015 – Р. 86.
2. Рыбакова Л.Ю. Влияние конструктивной формы на скорость распространения коррозии/ Рыбакова Л.Ю. // Приволжский научный вестник № 8 (36), часть 1. – Самара, 2014. – С.42-44.
3. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Введ. 2012-04-12. – М. : ГУП МНИИМНИИТЭП, 2011. – 89с.
4. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М., 2011. – 80 с.
5. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Изменением N 1). – М.: ФГУП ЦПП, 2010. – 172 с.
6. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции»)/ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.
7. СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 (с Изменением N 1). – Минрегион России, М., 2012. – 94 с.
8. ГОСТ 13819-68. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы и сплавы. Десятибальная шкала коррозионной стойкости (с Изменением N 1). – М., 1968. – 55 с.

Yu. S. Belova, L. S. Zhukova, D. A. Kuzmin, E. V. Tishkov

Annotation. In the article the influence of the dependence of the degree of surface corrosion on the bearing capacity of the most loaded rods metal truss made of profiles such as “Molodechno”. The study plotted strength, flexibility-sti and local stability of the wall on the degree of corrosion damage in truss belts surfactant corrosion. It is concluded that the intensity of the exhaustion of the bearing capacity of the elements of the truss, depending on the speed of propagation of corrosion processes.

Keywords: bearing capacity, corrosion destruction, truss, local resistance, closed profiles.

REFERENCES

1. Standard ISO 8044: 2015. Corrosion of metals and alloys. Basic terms and definitions. Corrosion of metals and alloys. General terms and definitions. // 25.08.2015 – P. 86.
2. Rybakova LY Influence of structural forms in the speed of propagation of corrosion / Rybakova LY Volga // Scientific Bulletin number 8 (36), part 1. – Samara, 2014. – S.42-44.
3. GOST 31937-2011. Buildings and constructions. Terms of survey and monitoring technical condition. – Enter. 2012-04-12. – Moscow: GUP MNIIMNIITEP, 2011. – 89c.
4. SP 20.13330.2011 Loads and effects. The updated edition of SNiP 2.01.07-85 *. – M., 2011. – 80 p.
5. SP 16.13330.2011 Steel structures. The updated edition of SNiP II-23-81 * (with the change in N 1). – M.: FSUE LAC, 2010. – 172 p.
6. Posobie the design of steel structures (to the SNiP II-23-81 * "Steel design ") / CNIISK Kucherenko USSR State Committee – . M.: TSITP Gosstroy of the USSR, 1989. – 148 p.
7. SP 28.13330.2012 protection of building structures against corrosion. The updated edition of SNiP 2.03.11-85 (with Amendment N 1). – Ministry of Regional Development of Russia, Moscow, 2012. – 94 p.
8. GOST 13819-68 Unified system of corrosion and aging (ESZKS). Metals and alloys. Ten-point scale corrosion resistance (with Amendment N 1). – M., 1968. – 55 p.

Белова Юлия Сергеевна (Омск, Россия) – студент ПГСБ-13П2 ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644080, г.Омск, пр. Мира, 5, e-mail: julyabelowa@mail.ru).

Жукова Людмила Игоревна (Омск, Россия)
– студент ПГСб-13П1 ФГБОУ ВО Сибирская
государственная автомобильно-дорожная
академия (644080, г.Омск, пр. Мира, 5, e-mail:
lydik2009.95@mail.ru).

Кузьмин Дмитрий Андреевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры Строительные конструкции ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644080, г.Омск, пр. Мира, 5, e-mail: dimitri.kuzmin@mail.ru).

Тишков Евгений Владимирович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры Недвижимость и строительный бизнес ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644080, г.Омск, пр. Мира, 5, e-mail: evgen2713@mail.ru).

Yulia Belova Sergeyevna (Omsk, Russian Federation) – student PG Sb-13P2 Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, Mira av., 5, e-mail: julyabelowa@mail.ru).

Zhukova Lyudmila Igorevna (Omsk, Russian Federation) – student PGSb-13P1 Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, Mira av., 5, e-mail: lydik2009.95@mail.ru).

Kuzmin Dmitriy Andreevich (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical Sciences, Associate Professor of Building construction Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, Mira av., 5, e-mail: dimitri_kuzmin@mail.ru).

Tishkov Evgeni Vladimirovich (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical Sciences, Associate Professor of real estate and construction business Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, Mira av., 5. e-mail: evgen2713@mail.ru).