

Оценка несущей способности металлической фермы: анализ результатов проведенных натуральных испытаний

Н.Л. Тишков, И.Л. Шипелев, А.В. Белов

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

Аннотация: В статье представлены результаты проведённого натурального испытания надворотной пространственной металлической фермы авиационного ангара пролетом 72 м. Выполнен сравнительный анализ данных, полученных по результатам моделирования работы фермы от прогнозируемых нагрузок (с учетом фактической геометрии) и проведенных натуральных испытаний. В ходе оценки технического состояния и испытания выявлены существенные ошибки проектирования и изготовления конструкций рамы ворот, которые могли привести к потере несущей способности или непригодности к нормальной эксплуатации. По результатам испытаний разработаны и выполнены мероприятия по усилению элементов фермы, проведены повторные натурные испытания. На основании вышеизложенного пролетная конструкция признана пригодной к безопасной эксплуатации.

Ключевые слова: испытание, металлическая ферма, болтовые соединения, податливость, несущая способность, деформативность, рама ворот, надежность, статический расчет.

Для обеспечения надежной работы и долговечности несущих элементов на стадии сдачи объектов в эксплуатацию зачастую возникает необходимость в проведении натуральных испытаний [1-3]. Натурным экспериментально-теоретическим исследованиям также подвергаются конструкции, усиленные в процессе их эксплуатации [4-6], что дает возможность оценить эффективность проведенных мероприятий.

В рамках настоящей статьи приведены исследования работы большепролетной пространственной фермы ворот авиационного ангара, которая устроена на отдельных стойках (рис.1). Пролетная пространственная конструкция ворот выполнена из двух ферм с параллельными поясами, объединёнными связями по верхнему и нижнему поясам. Размеры пространственной фермы в осях 72,7x5x5 м. Элементы фермы выполнены из прокатных элементов. Ферма по длине разбита на четыре секции, монтажные стыки которых выполнены на фланцевых соединениях высокопрочными болтами.

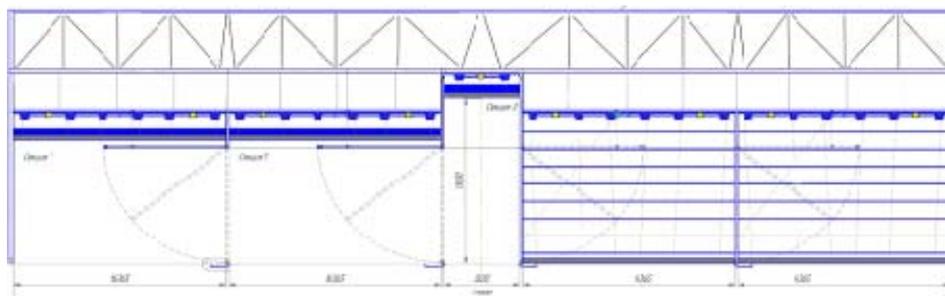


Рис. 1. – Схема рамы ворот авиационного ангара

Целью данного экспериментально-теоретического исследования являлась оценка эксплуатационной пригодности и возможности безопасной эксплуатации конструкции фермы.

Для достижения поставленной цели выполнялись следующие задачи: были определены фактические геометрические параметры фермы и стоек; выявлены дефекты и отклонения от проектных решений, влияющие на несущую способность; по результатам моделирования работы от прогнозируемых нагрузок определена несущая способность элементов с учетом выявленных дефектов и отклонений от проектных решений; разработана программа испытания с учетом результатов моделирования; проведены натурные испытания; произведен сравнительный анализ результатов моделирования и испытаний.

Для установления фактических геометрических размеров фермы выполнены обмерные работы элементов и узлов сопряжения, а также произведена тахеометрическая съемка.

На основании проведенного освидетельствования фермы были обнаружены следующие отклонения от проектных решений и дефекты: отклонения от проектного положения связей по нижнему поясу; отклонение от проекта сечении элементов вертикальных связей; отклонение от конструктивных требований (СП 16.13330.2017. «Стальные конструкции») размещения болтов в узлах (ошибки рабочей документации); отклонение в величине строительного подъема фермы (фактический строительный подъем

составил 135 мм, что меньше проектного в 2 раза); неплотное примыкание фланцев друг к другу; погибы полок нижнего пояса у опор фермы (вызванные неправильной строповкой фермы). При этом после освидетельствования часть узлов сопряжения элементов горизонтальных связей с фермами была усилена, в связи с недостаточной несущей способностью болтовых соединений. На рис. 2 приведен общий вид пространственной фермы.



Рис. 2. – Общий вид пространственной фермы

Для определения усилий и деформаций от прогнозируемых нагрузок выполнен расчет рамы ворот в программном комплексе «ЛИРА-САПР», с учетом обнаруженных отклонений и дефектов (рис. 3).

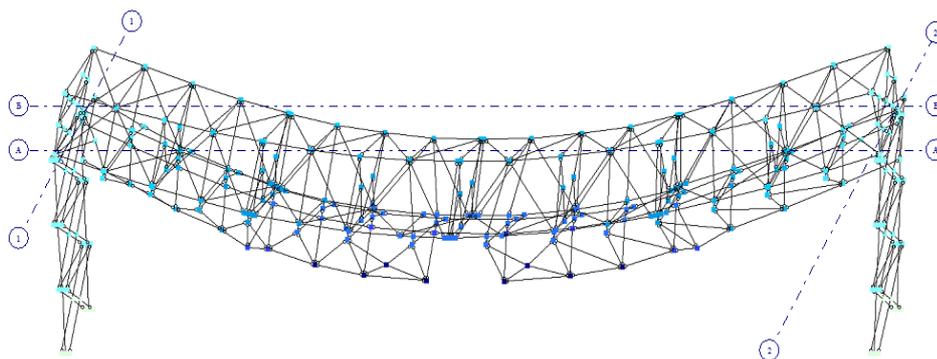


Рис. 3. – Общий вид деформированной конечно-элементной модели рамы ворот (деформации от постоянных и временных нагрузок)

На основании анализа результатов расчёта было установлено, что несущая способность элементов обеспечена, однако для исследования работы узловых соединений и определения действительной расчетной схемы

было предложено провести натурное испытание пространственной фермы. Программа испытаний разработана на основании моделирования работы пространственной фермы.

Для испытания фермы выбрано наиболее неблагоприятное сочетание вертикальных и горизонтальных нагрузок. Вертикальные: нагрузка от подъемного оборудования ворот, нагрузка от собственного веса ворот, нагрузка от собственного веса ограждающих элементов, нагрузка от веса снега на элементы покрытия. Горизонтальные: нагрузка от ветра на ворота и элементы фермы. Испытательная нагрузка прикладывалась сосредоточенно к узлам фермы в местах крепления подвеса ворот. Для равномерности загрузки испытательная нагрузка была разбита на пять этапов [7] (1-3 этапы вертикальные нагрузки, 4-5 этапы горизонтальные). На рис. 4 представлены схемы приложения нагрузок на последнем этапе.

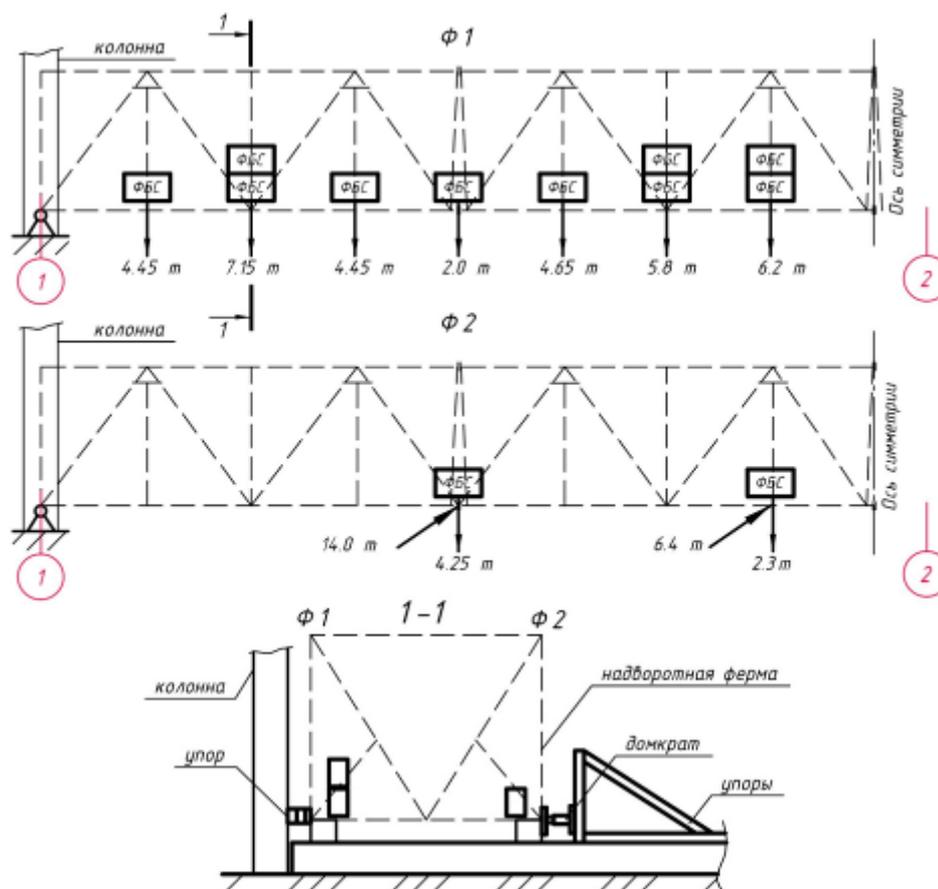


Рис. 4. – Схема испытания и приложения нагрузок

Вертикальная нагрузка при испытании создавалась бетонными блоками массой 150...2000 кг, горизонтальная гидравлическими домкратами (рис. 5).



Рис. 5. – Общий вид приложения нагрузок при испытании

Вертикальные и горизонтальные перемещения, полученные при испытании, приведены на рис. 6, 7.

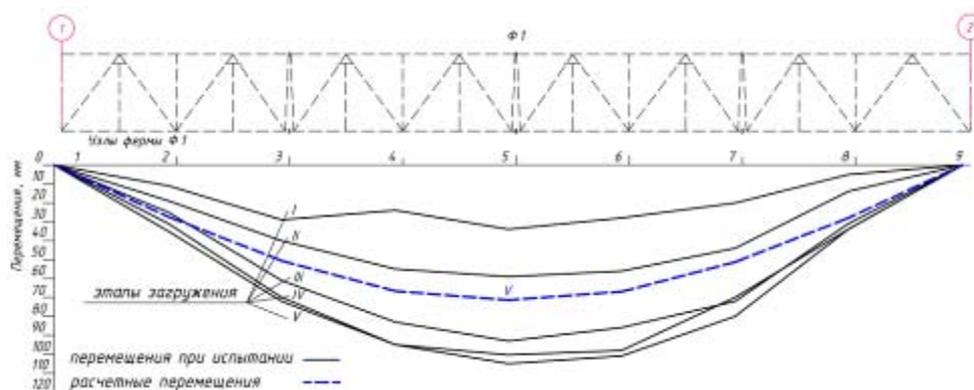


Рис. 6. – Вертикальные перемещения нижнего пояса фермы Φ1

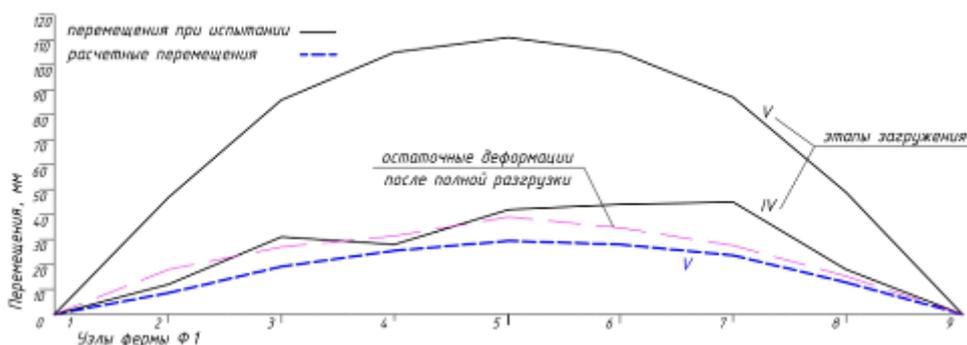


Рис. 7. – Горизонтальные перемещения нижнего пояса фермы Φ1

Натурное испытание показало превышение допустимых горизонтальных перемещений, а также требований, предъявленных

эксплуатационными характеристиками к конструкции по деформациям производителем ворот. При этом максимальные остаточные горизонтальные деформации составили 49 мм. На основании этого сделан вывод, что значительные горизонтальные деформации вызваны податливостью узлов крепления связей [8-10] (рис. 8).

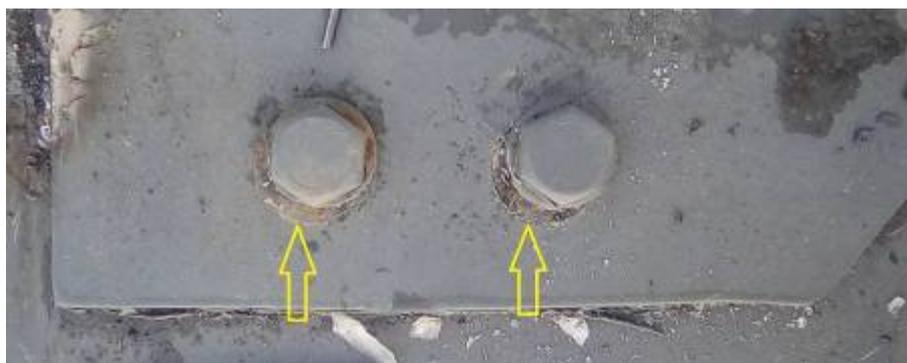


Рис. 8. – Смещение болтового соединения после испытания

Для исключения проскальзывания болтовых соединений, узлы горизонтальных связей были проварены и проведено повторное испытание фермы на горизонтальную нагрузку.

Повторное испытание показало, что обварка узлов крепления связей увеличила горизонтальную жесткость конструкции. На рис. 9 представлен график горизонтальных перемещений фермы от испытательной нагрузки после обварки узлов, при этом горизонтальные перемещения не превысили предельно допустимые и расчётные значения.

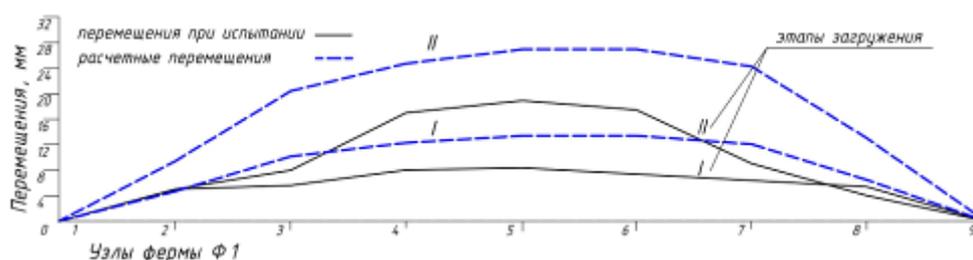


Рис. 9. – Горизонтальные перемещения нижнего пояса фермы Ф1 после обварки узлов

Таким образом, проведенное инженерно-техническое обследование и натурные испытания пространственной фермы выявили существенные

ошибки при проектировании и изготовлении, которые могли привести к потере несущей способности или непригодности к нормальной эксплуатации рамы ворот.

Литература

1. Туманов В.А., Абрашитов В.С., Туманов А.В., Абрашитов Н.В. Натурные испытания подстропильной стальной фермы пролетом 12 м // Региональная архитектура и строительство. 2013, №3. С. 82-85.
2. Ротштейн Д.М., Студинская М.В. Оценка надежности ж/бетонных конструкций, крупнопанельных 14-этажных жилых домов по результатам натурных испытаний // Вестник научных конференций. 2017, № 9-1. С. 102-108.
3. Гарькин И.Н., Саденко Д.С., Агафонкина Н.В. Оценка несущей способности монолитных железобетонных фундаментов: результаты испытаний в полевых условиях // Инженерный вестник Дона. 2020, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6272.
4. Родионов И.К. Об экспериментальном исследовании стальной фермы, усиливаемой под нагрузкой с применением сварки // Вектор науки ТГУ. 2015, №2-1. С. 47-51.
5. Малышкин А.П., Есипов А.В. Экспериментально-теоретические исследования стальных ферм покрытия легкоатлетического манежа в г. Тюмени // Вестник ПНИПУ. 2015, №2. С. 105-115.
6. Nan J., Liu G., Xu Y. Study on field loading test of structures // Journal of Building Structures. 2014, Volume 35. Pp. 52-58.
7. Долидзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений. Издательство: М.: Высшая школа, 1975. 252 с.
8. Должиков В.Н., Должиков А.В. Исследование влияния податливости соединений на напряженно-деформированное состояние стержневых

- конструкций с внутренней статической неопределимостью // Современные наукоемкие технологии. 2009, № 10. С. 49-50.
9. Решетников А.А., Леонова Д.А., Корнет В.Ю. Несущая способность и живучесть шарнирного узла крепления балок к колоннам на 2-х болтах // Инженерный вестник Дона. 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4799.
10. Elliott M.D., Teh L.H., Ahmed A. Behaviour and strength of bolted connections failing in shear // Journal of Constructional Steel Research. 2019, Volume 153. Pp. 320-329.

References

1. Tumanov V.A., Abrashitov V.S., Tumanov A.V., Abrashitov N.V. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2013, №3. Pp. 82-85.
2. Rotshteyn D.M., Studinskaya M.V. Vestnik nauchnykh konferentsiy. 2017, № 9-1. Pp. 102-108.
3. Gar'kin I.N., Sadenko D.S., Agafonkina N.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6272.
4. Rodionov I.K. Vektor nauki TGU. 2015, №2-1. Pp. 47-51.
5. Malyshev A.P., Yesipov A.V. Vestnik PNIPU. 2015, №2. Pp. 105-115.
6. Nan J., Liu G., Xu Y. Journal of Building Structures. 2014, Volume 35. Pp. 52-58.
7. Dolidze D.Ye. Ispytaniye konstruktsiy i sooruzheniy [Testing of structures and structures] Publisher. M . Higher School. 1975. P. 252.
8. Dolzhikov V.N., Dolzhikov A.V. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2009, № 10. Pp. 49-50.
9. Reshetnikov A.A., Leonova D.A., Kornet V.YU. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4799.
10. Elliott M.D., Teh L.H. Journal of Constructional Steel Research. 2019, Volume 153. Pp. 320-329.