

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПОВТОРНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

ЗГИРОВСКИЙ А.И., РУДЕНКОВ А.В.

Белорусский национальный технический университет

При сложившихся современных экономических реалиях в строительстве на ряду с строительством вновь возводимых строительных объектов, иногда появляется необходимость повторного применения строительных конструкций уже бывших в эксплуатации, полученных в результате поэтапной разборки зданий и сооружений, с последующим возведением несущих конструкций повторного применения на другой площадке. Порой такие операции оказываются экономически целесообразными, т. к. старое здание не надо утилизировать, а для нового сооружения отпадает необходимость изготовления несущих конструкций покрытия или каркаса в целом.

При выполнении работ по проектированию и строительству зданий и сооружений с применением стальных конструкций повторного применения, для обеспечения необходимого уровня безопасности и надежности возникает необходимость в проведении натуральных исследований и испытаний.

Центр научных исследований и испытаний строительных конструкций (ЦНИИСК) специализируется на проведении натуральных испытаний строительных конструкций, в том числе и стальных.

На этапе проведения натуральных испытаний возникают вопросы, так как в действующих ТНПА Республики Беларусь отсутствуют методики проведения натуральных испытаний для стальных конструкций.

На базе ЦНИИСК в лабораторных условиях были проведены натурные испытания экспериментальных конструкций покрытия типа «Молодечно» таких как, стропильная ферма пролетом 24 м и подстропильная ферма пролетом 12 м. Данные конструкции были демонтированы конструкции на производственном корпусе в г. Орша и перемещенные в г. Жодино для вновь возводимого объекта.

Демонтированное здание – блок вспомогательных цехов Оршанского завода приборов автоматического контроля, был разработан

Белорусским отделением ЦНИИПроектстальконструкция (шифр объекта 1035 КМ) в 1981 году. Запроектированный корпус блока вспомогательных цехов представлял собой производственное здание с размерами в плане 156,0 x 96,0 м. Здание отапливаемое одноэтажное четырёхпролетное. Шаг колонн каркаса 12,0 м, шаг стропильных ферм – 4,0 м. В здании все пролеты $L = 24$ м. В трёх пролетах из четырех были размещены подвесные двух- и трёхопорные краны грузоподъемностью от $Q = 1,0$ тс до $Q = 3,2$ тс. Покрытие здания малоуклонное оборудовано зенитными фонарями.

В поперечном направлении корпус представляет 4-х пролетную схему с колоннами, заземленными в фундаментах и шарнирно соединенными с ригелями покрытий. Устойчивость каркаса обеспечивалась: в поперечном направлении – жесткостью поперечных рам, в продольном направлении – диском, образованным профилированным настилом, системой связей по фермам покрытия и колоннам.

Покрытие разработано с применением ферм и связей из гнутосварных профилей прямоугольного сечения и профилированного оцинкованного настила без прогонов в соответствии с типовой серией 5992-КМ, выпуск 1 (беспрогонное решение). Стропильные фермы пролетом 24,0 м и высотой 2000 мм по наружным граням поясов – из гнутосварных профилей прямоугольного сечения с параллельными поясами с уклоном поясов 1,5 % и треугольной решеткой с нисходящими опорными раскосами.

Подстропильные фермы с высотой 1700 мм по наружным граням поясов, пролетом 12,0 м в соответствии с серией 5992-КМ, выпуск 1.

Несущие конструкции покрытия производственного корпуса блока вспомогательных цехов были запроектированы экспериментальными, с верхними сталежелезобетонными поясами стропильных и подстропильных ферм, т. е. внутренние полости поясов заполнялись бетоном. Сталежелезобетонные стропильные и подстропильные фермы для экспериментального строительства были разработаны проектным институтом «Ленпроектстальконструкция». Для заполнения мелкозернистым бетоном марки 400 верхнего пояса в опорном ребре стропильной фермы было предусмотрено отверстие диаметром 100 мм. С противоположной стороны полуфермы, для контроля заполнения верхнего пояса бетоном, фланец конькового узла снабжался отверстием диаметром 20 мм. Для подстропильных ферм пролетом 12 м в одном опорном ребре выполнялось

отверстие диаметром 100 мм, а в противоположном опорном узле выполнялось отверстие диаметром 20 мм. Суммарный объем бетона в верхнем поясе стропильной фермы составил $0,60 \text{ м}^3$, в подстропильной ферме – $0,36 \text{ м}^3$. Информация о технологии заполнения внутренних полостей поясов мелкозернистым бетоном не сохранилась.

Следует отметить, что центр научных исследований и испытаний строительных конструкций (ЦНИИСК) специализируется на проведении натуральных испытаний различных строительных конструкций, в том числе и стальных. В ранее проводимых исследованиях стальных конструкций покрытия натурные испытания выполнялись без доведения их до разрушения. В соответствии с заданием поставленным проектной организацией на испытание стальных ферм покрытия, конструкции должны были доведены до разрушения, т. е. после испытания их эксплуатация не допускалась.

Перед началом испытаний было выполнено освидетельствование конструкции, в результате которого было определено значение действительных геометрических параметров. До установки испытываемой конструкции ее на испытательный стенд производилась проверка соответствия конструкции рабочим чертежам, оценка качества изготовления. Для испытания была отобрана стропильные ферма марки ФСБ-24-2,4. Верхний пояс фермы, заполненный бетоном, выполнен из трубы прямоугольного сечения $180 \times 140 \times 6 \text{ мм}$. Полный нижний пояс – из квадратной трубы $140 \times 7 \text{ мм}$, опорный раскос, а также второй от опоры $120 \times 6 \text{ мм}$. Остальные средние раскосы выполнены из квадратной трубы $120 \times 4 \text{ мм}$. Для испытания подстропильной фермы была отобрана ферма марки ПФБ-24-54. Верхний пояс фермы, заполненный бетоном, выполнен из трубы прямоугольного сечения $200 \times 160 \times 8 \text{ мм}$. Полный нижний пояс – из квадратной трубы $160 \times 8 \text{ мм}$, опорный раскос и второй от опоры $140 \times 8 \text{ мм}$. Средние раскосы выполнены из квадратной трубы $120 \times 3 \text{ мм}$.

Была составлена программа испытаний, согласно которой была разработана методика проведения испытаний статическим нагружением, которая включала в себя разработку схем испытаний, определения контрольных нагрузок и контролируемых параметров. Схемы испытаний (опирания, нагружения, расстановки приборов) приняты на основании проектного положения конструкций. Кон-

трольные нагрузки и контролируемые параметры были определены по результатам поверочных расчетов конструкций.

Перед началом испытаний было выполнено освидетельствование конструкции, в результате которого было определено значение действительных геометрических параметров. Испытание ферм производилось в перевернутом положении. Нагружение производилось на верхний пояс, этапами. Контролируемым показателем при проведении нагружения являлось усилие, прикладываемое к фермам. Нагружение ферм, производилось при помощи гидравлической насосной станции и нагружающих домкратов. После приложения каждого этапа нагружения делалась выдержка 10 минут, после чего снимались отсчеты по приборам. На всех этапах нагружения фиксировался прогиб в середине пролета и осадки опор, для чего использовались прогибомеры. Для контроля напряжений в элементах ферм фиксировались удлинения элементов с помощью многооборотных индикаторов 1МИГ с ценой деления 0,001 мм на базе 200 мм (рис. 1 и б). По полученным относительным удлинениям рассчитывались фактические напряжения в элементах ферм.

В результате испытания ферм было получено значение разрушающей нагрузки и графики зависимости перемещений от действия нагрузки.

Схемы опирания и нагружения конструкций выбирались таким образом, чтобы они соответствовала фактическим условиям работы конструкций составе каркаса на стадии эксплуатации, а также чтобы в ходе испытания достигались контролируемые предельные состояния в расчетных сечениях.

Схема испытания стропильной фермы пролетом 24 м с указанием мест приложения узловой нагрузки к верхнему поясу, сечений элементов и расстановки прогибомеров представлена на рис. 1.

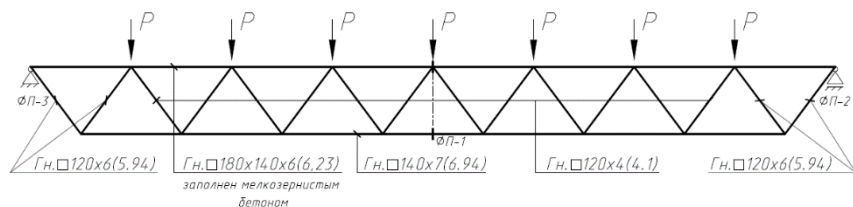


Рисунок 1. Схема испытания стропильной фермы пролетом 24 м

Испытываемые стропильная и подстропильная фермы в соответствии со схемой испытаний, как однопролетные свободно опертые и работающие в одном направлении опирались на две шарнирные линейные опоры, расположенные по концам конструкции, одна из которых была неподвижной, а другая – подвижной, допускающая перемещение конструкции вдоль пролета.



Рисунок 2. Общий вид стропильной фермы марки ФСБ-24-2,4 пролетом 24 м при испытании статическим нагружением



Рисунок 3. Общий вид подстропильной фермы марки ПФБ-24-54 пролетом 12 м при испытании статическим нагружением

Испытания проводились в закрытом помещении, в условиях постоянной температуры и влажности окружающего воздуха, в котором отсутствовало воздействие на конструкции атмосферных осадков и прямого солнечного излучения (рис. 2 и 3). Перед проведением натуральных испытаний конструкций следует произвести измерения температуры и влажности окружающего воздуха. Полученные значения записывались в протокол испытаний. Испытания конструкций проводились в соответствии с рекомендациями по испытанию конструкций, при температуре окружающего воздуха около 20 °С и относительной влажности 65 %.

В процессе испытаний стальных ферм покрытия измерялись и регистрировались:

- значение нагрузки и соответствующие основные деформации конструкции (прогибы, вертикальные перемещения);
- значение нагрузки и соответствующий прогиб при разрушении и характер разрушения конструкции.

Нагружение конструкции в соответствии с разработанной методикой испытания осуществлялось равномерно и одновременно по всему пролету конструкции в равные промежутки времени и равными ступенями величиной не более 0,2 от значения расчетной нагрузки. Продолжительность приложения каждой ступени нагрузки составила не менее 5 мин.

Измерение вертикальных деформаций (прогибов) осуществлялось непосредственно перед началом нагружения, на каждой последующей ступени и тотчас же после нагружения. Продолжительность фиксирования результатов измерений не превышала одну минуту, причем, прежде всего, зафиксировались результаты измерений прогибов посередине пролета, а затем – на опорах.

После разрушения конструкции производился детальный осмотр зоны разрушения, а также выполнялись измерения разрушенных частей и фрагментов конструкции.

Разрушение подстропильной фермы марки ПФБ-24-54 произошло в опорном раскосе, по сварному шву, в зоне примыкания к нижнему поясу (рис. 5).

При испытаниях за предел максимальной испытательной нагрузки принимается расчетная нагрузка в наименее выгоднейшем её положении. При проверке на прочность контрольная нагрузка принимается равной расчетной, умноженной на коэффициент безопасности

S , принимаемый в зависимости от типа конструкции, материала и характера ожидаемого разрушения. Например, в правилах приёмки стальных резервуаров, избыточное давление должно превышать проектное значение на 25–50 %, в зависимости от типа резервуаров. В практике испытаний стальных структурных плит покрытия, был принят коэффициент безопасности в пределах 1,4–1,6. Некоторые авторы, ссылаясь на опыт проектирования стальных ферм покрытия и проведенные натурные испытания натуральных конструкций, считают, что для стальных конструкций коэффициент безопасности достаточен в пределах 25–30 %. Однако, до сих пор, в нормативной литературе отсутствует конкретное значение коэффициента запаса для стальных конструкций.

Нагрузка на стропильную ферму в момент, предшествующий разрушению превышала расчетную нагрузку более чем в два раза.

Разрушение стропильной фермы марки ФСБ-24-2,4 произошло по сварному шву по фланцу монтажного узла нижнего пояса (рис. 6).

Нагрузка на подстропильную ферму в момент, предшествующий разрушению превышала расчетную нагрузку также более чем в два раза.



Рисунок 4. Контроль напряжений в элементах ферм с помощью многооборотных индикаторов МИГ с ценой деления 0,001 мм на базе 200 мм



Рисунок 5. Разрушение по сварному шву опорного раскоса подстропильной фермы в зоне примыкания к нижнему поясу



Рисунок 6. Разрушение по сварному шву по фланцу монтажного узла нижнего пояса стропильной ферм

Выводы.

1. Проведенные экспериментальные исследования позволили получить данные по работе и характере разрушения ферм покрытия из ГСП – стропильной пролетом 24 м и подстропильной пролетом 12 м.

2. Испытанные стальные конструкции, в частности фермы покрытия из ГСП, прослужившие более 40 лет, показали высокую эксплуатационную надежность и пригодны для повторного применения на вновь возводимом объекте.

3. Разрушение в обоих случаях происходило по сварным швам.

4. Коэффициент безопасности для испытанных стальных конструкций оказался равен более двух, что гораздо выше прогнозируемого, и более высоким, чем для железобетонных конструкций, принимаемый в пределах 1,4–1,8 в зависимости от вида конструкции и характера разрушения, или 1,85 для «сэндвич»-панелей.

5. С учетом динамического развитием строительной отрасли отсутствие нормативного и методологического обеспечения сдерживает использований конструкций повторного применения. Рекомендуется в Национальном комплексе технических правовых актов разработать методику испытания нагружением стальных конструкций. Установить значение коэффициента безопасности как для стальных конструкций, так и для конструкций повторного применения.

Список использованных источников:

1. СП 5.04.01 Стальные конструкции. Минск 2021.
2. Авдейчиков Г.В. Испытание строительных конструкций. Учебное пособие (конспект лекций). – М.: изд. АСВ, 2009. –160 с.
3. Аронов Р.Н. Испытание сооружений. – М: Высшая школа, 1974. – 187 с.
4. Золотухин Ю.Д. Испытание строительных конструкций. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 208 с.