

УДК 539.3

М.Ю.Горохов (асп., каф. СМ),
Б.Е.Мельников, д.т.н., проф., В.А.Шерстнев, к.т.н., доц., А.С.Семенов, к.ф.-м.н., доц.

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕЛЛАЖЕЙ*

Металлические стеллажи производства «ДиКом» (Санкт-Петербург) изготавливают из тонкостенных профилей различной конфигурации и размеров методом холодной прокатки стальной полосы. В качестве несущих балок используют С-образные идентичные полупрофили, которые свободно соединяют между собой методом тубуса (вложения по осевой линии) и приваривают по торцам к гребенчатым зацепам. Получаемое таким образом соединение приобретает свойства тонкостенного замкнутого профиля, прочность и жесткость которого существенно выше, чем у исходных полупрофилей при их независимом использовании.

Вторая особенность стеллажей в смысле определения их нагрузочной способности обусловлена наличием гребенчатых зацепов, которые являются соединениями типа упругий шарнир; жесткость таких элементов может существенным образом влиять как на прочность отдельных балок в составе конструкции, так и на устойчивость конструкции в целом.

Третьей особенностью является наличие перфорации вертикальных несущих стоек. Это, в свою очередь, снижает изгибную жесткость стоек и, следовательно, критическую нагрузку по устойчивости. Надо отметить, что в данной конструкции устойчивость является одним из главных факторов, определяющих нагрузочную способность.

Согласованная по различным аспектам программа исследований включала решение следующих задач: экспериментальная проверка выполнимости гипотезы монолитности сечения (гипотеза отсутствия депланации) на модели без сварки; определение механических характеристик материала балки на лабораторных образцах; испытания серии балок на моделях с зацепами с доведением их до опасного состояния; оценка упругой податливости гребенчатых зацепов; расчет несущей способности балок промышленной серии различных типоразмеров с учетом полученных экспериментальных результатов; оценка влияния перфорации на изгибную жесткость стоек; расчет устойчивости многоярусных конструкций.

Необходимость проведения проверки монолитности сечения вызвана тем, что, во-первых, она позволяет внести ясность в вопрос о возможном стеснении депланации; во-вторых, она позволяет ответить на вопрос о правомерности использования традиционных решений сопротивления материалов для тонкостенной балки, изготовленной по нетрадиционной технологии. Результаты соответствующих измерений убедительно свидетельствуют о том, что во всем интервале рабочих нагрузок поперечные сечения балки в целом можно рассматривать как монолитные; для дальнейшего рассмотрения могут быть использованы традиционные методы сопротивления материалов.

Анализ экспериментальных данных показывает, что используемая для профилирования балок стальная лента БТ–ПН–2,0 ГОСТ 19904–90 практически обладает прочностной изотропией, ее характеристики прочности и пластичности в продольном и поперечном направлениях практически совпадают.

Содержание опытов основной серии состояло в следующем: по мере увеличения нагрузки проводилась регистрация перемещений точек балки; периодически проводили

разгрузку с целью выявления признаков пластического деформирования балки на ранних стадиях; после выявления момента начала пластического деформирования нагрузку увеличивали еще на одну-две ступени до придания пластическим деформациям конструкции явно выраженный характер. Практически во всех случаях экспериментальные значения предельной нагрузки были выше расчетных в пределах одной ступени догрузки.

Традиционно считают, что соединение зацепов со стойками является шарнирным; расчет по этой методике обеспечивает дополнительный запас прочности, который вместе с тем можно рассматривать и как неиспользуемый резерв нагрузочной способности. Упругая податливость зацепа рассмотрена при проведении исследования теоретически (с целью выявления специфики его деформирования и возможностей дальнейшего совершенствования конструкций) и экспериментально (с целью гарантированного оптимального применения).

В процессе эксплуатации стеллажей реализуются самые разнообразные схемы загрузки балок в зависимости от длины балки, а также установленного на складе порядка загрузки стеллажей. Нагрузка на балки передается через специальные деревянные полки, так называемые «европоддоны». Была определена предельная грузоподъемность балок в случае загрузки одним (наиболее опасный случай), двумя и тремя «европоддонами» для различных длин балок и типоразмеров профилей.

Оценка влияния перфорации на изгибную жесткость стоек проводилась экспериментальным и расчетным путем (метод прямой гомогенизации на основе КЭ анализа). Снижение изгибной жесткости учитывалось при анализе устойчивости стеллажа.

Расчет критической нагрузки по устойчивости проводился с помощью системы конечно-элементного анализа ANSYS. Трехпролетная рамная конструкция моделируется балочными конечными элементами (BEAM188), позволяющими наиболее корректно учесть форму профиля поперечного сечения балок. В состав модели входят три представительных элемента: вертикальные стойки различных типоразмеров профилей; горизонтальные несущие балки различных типоразмеров профилей (крепятся к стойкам по схеме упругой заделки); раскосы, шарнирно закрепленные на стойках. Горизонтальные балки нагружены равномерно распределенной и одинаковой для всех ярусов нагрузкой. Задача решается в линейной постановке (малые деформации, упругий материал) – устойчивость по Эйлеру. Граничными условиями выступают условия заделки оснований стоек к жесткому основанию.

В серии проведенных расчетов варьируемыми параметрами являлись: высота рамы; высота до первого нагруженного уровня; число ярусов (межъярусное расстояние одинаково); профиль вертикальной стойки. Фиксированными параметрами были: длина пролета; типоразмер профиля горизонтальных несущих балок. Данные параметры оставались фиксированными в силу незначительного (<1%) влияния на величину критической нагрузки, соответствующей первой форме потери устойчивости.

Ключевым моментом в данном расчете является учет податливости (жесткости) узла крепления горизонтальных несущих балок к вертикальным стойкам. Так, например, в прочностном анализе горизонтальных балок учет податливости соединения приводит к увеличению предельной нагрузки лишь на 5 – 10% по сравнению со схемой шарнирного закрепления, а при анализе устойчивости стеллажа учет податливости соединения приводит к отличию величины критической нагрузки в два и более раз по сравнению с шарнирной схемой крепления.

