



А.Н. Жабинский,
к. т. н., БНТУ

А.Ф. Старовойтов,
магистр т. н., БНТУ



МОДЕЛИРОВАНИЕ АРОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

В странах Европейского союза конструкции из тонкостенных профилей используются уже давно и, как следствие, разработана нормативно-правовая база, регламентирующая расчеты и проектирование таких конструкций.

В СНиП II-23-81* приведены рекомендации по редуцированию сечений для узкоограниченного типа профилей (двутавровые, швеллерные, коробчатые), в случае если местная устойчивость стенки этих профилей не обеспечена. Однако эти рекомендации не распространяются для расчета всего ассортимента конструктивных элементов из тонкостенных профилей.

В Республике Беларусь в настоящее время на альтернативной основе введены технические кодексы установившейся практики (ТКП) по проектированию строительных конструкций, идентичные соответствующим Европейским нормам — Еврокодам [1, 2, 3]. С введением этих документов появилась возможность проектирования и расчета конструкций из достаточно широкого набора тонкостенных элементов.

В настоящее время на территории Республики Беларусь нашли применение бескаркасные арочные покрытия, разработанные иностранными компаниями (рис. 1). В частности, конструкции монтируют из тонкостенных холодногнутых профилей арочного очертания толщиной от 0,6 до 1,5 мм. Профили изготавливают непосредственно на строительной площадке с помощью передвижного профилегибочного агрегата. Сначала прокатывают прямолинейные корытообразные профили, а затем их изгибают по дуге окружности требуемого радиуса для образования цельных арочных элементов длиной на пролет. Монтаж покрытия осуществляется укрупненными блоками. В каждом блоке 3–5 арочных профилей соединяются на земле с помощью фальцегибочной машины. Установленные в проектное положение блоки соединяют друг с другом вдоль продольных свободных краев с помощью такой же машины. Наибольшее распространение в Республике Беларусь приобрели арочные профили шириной 303 и 630 мм.

Для арочных конструкций, изготовленных из профилей столь малой толщины, характер-

на местная потеря устойчивости сжатых плоских участков сечения. В расчете учитывается снижение несущей способности путем редуцирования сечения и потери устойчивости плоской формы изгиба при действии сжимающих усилий от внешних нагрузок и воздействий.

Отличительной особенностью арочных профилей является наличие на поверхности их стенок и полок поперечных гофр. Гофры образуются в результате проката профиля через гибочный стан при придании ему арочного очертания, при этом высота гофр является переменной

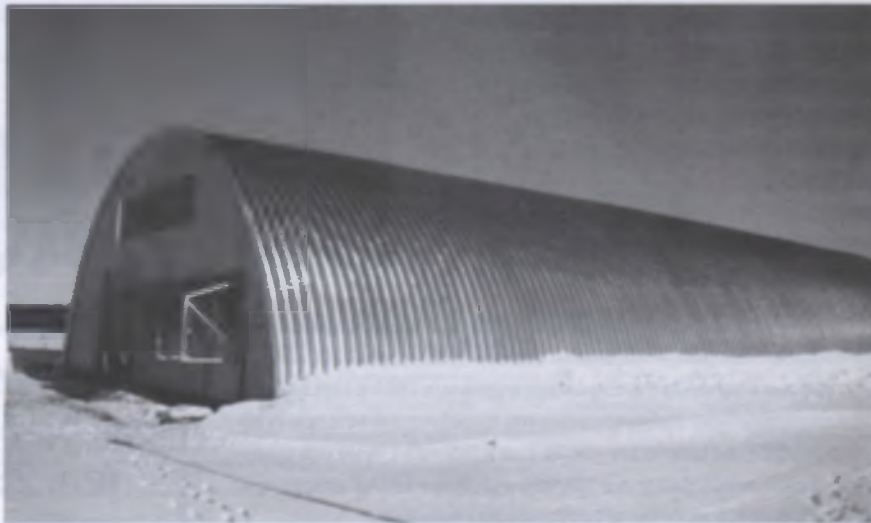


Рис. 1. Бескаркасное арочное здание, выполненное по технологии компании M.I.C. Industries

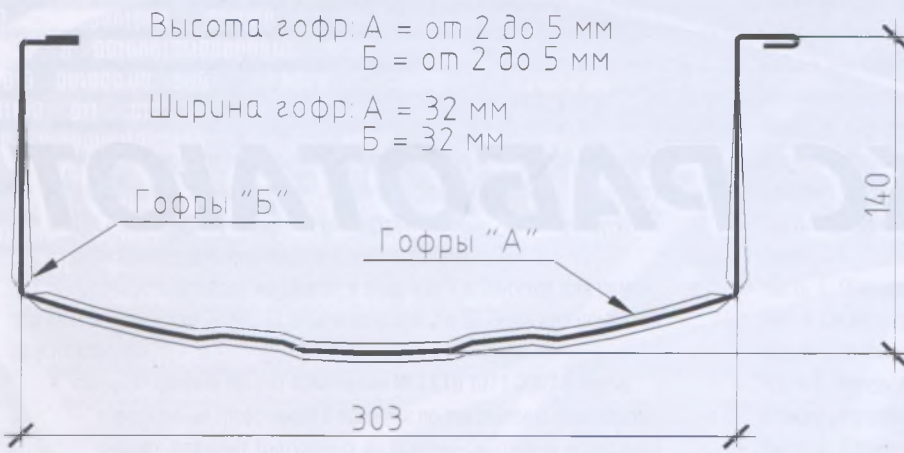


Рис. 2. Поперечное сечение арочного профиля шириной 303 мм

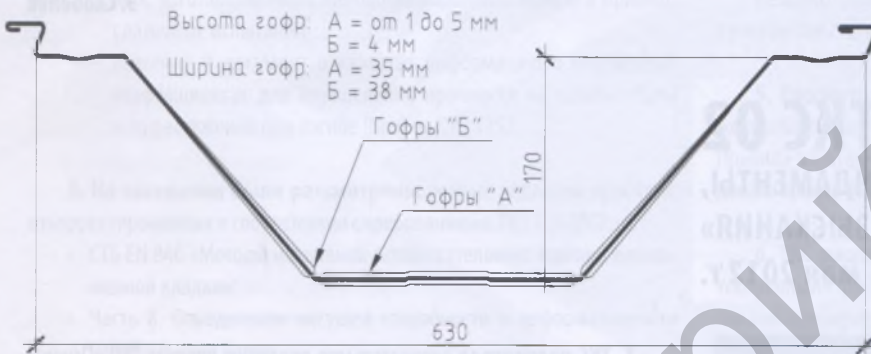


Рис. 3. Поперечное сечение арочного профиля шириной 630 мм

и зависит от радиуса кривизны и марки стали, из которой изготавливается профиль (рис. 2, 3). Чем меньше радиус кривизны, тем большей высотой получаются гофры.

Поперечные гофры оказывают существенное влияние на местную устойчивость тонкостенных профилей и, как результат, уменьшают их несущую способность. В Еврокоде [3] отсутствует методика расчета эффективных характеристик поперечного сечения тонкостенных холодногнутых профилей с поперечными гофрами. В данном случае для оценки несущей способности профилей понадобилось провести дополнительные исследования для определения эффективных характеристик поперечного сечения, которые зависят не только от напряженного состояния, толщины и размеров плоских участков сечения, но и параметров гофр. Необходимость проведения таких исследований обусловлена тем, что геометрические размеры рассматриваемых профилей выходят за рамки области применимости ТКП EN 1993-1-3-2009 (табл. 5.1), также отсутствуют указания по учету поперечных гофр по длине профиля.

Сотрудниками кафедры металлических и деревянных конструкций Белорусского национального технического университета были проведены компьютерные испытания моделей тонкостенных арочных профилей методом

конечных элементов (далее — МКЭ) в среде ANSYS [4, 5, 6]. В соответствии с Еврокодом компьютерное моделирование методом конечных элементов рассматривается как альтернатива натурным испытаниям конструкций [0].

Для определения эффективной площади поперечного сечения тонкостенных арочных профилей выполнено моделирование испытаний на сжатие. Для определения эффективного момента сопротивления и эффективного момента инерции проводилось моделирование испытаний на чистый изгиб.

Метод конечных элементов позволяет практически полностью автоматизировать расчет статических систем. В МКЭ исследуемая конструкция разбивается на отдельные части — конечные элементы, соединяющиеся между собой в узлах. Совокупность соединенных между собой и прикрепленных к основанию конечных элементов образует расчетную схему, называемую конечноэлементной схемой или конечноэлементной моделью.

Для создания реалистичной модели большое значение имеет выбор типов конечных элементов. В среде ANSYS имеется несколько основных типов конечных элементов для статического анализа конструкций: балочные элементы, поверхности, мембраны, тела. При выборе конечного элемента для решения за-

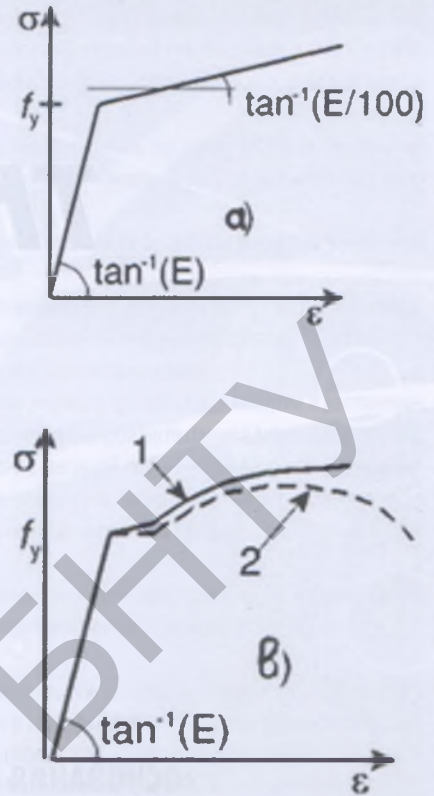


Рис. 4. Моделирование свойств стали: а — упруго-пластические свойства с линейным углом стадии самоупрочнения; б — действительная кривая зависимости деформаций от напряжений

дачи моделирования тонкостенных профилей необходимо применять элементы, обладающие высокой сходимостью при больших деформациях.

Анализ эффективности различных типов конечных элементов при решении задач моделирования тонкостенных элементов показывает, что наиболее эффективными, с точки зрения достоверности результатов, являются КЭ типов SHELL181 (4-узловая оболочка с шестью степенями свободы в каждом узле) и SOLSH190 (8-узловая оболочка с тремя степенями свободы в каждом узле) [7].

Назначение свойств материалам конечноэлементных моделей зависит от требуемой точности решаемой задачи. Для получения наиболее достоверных результатов целесообразно использовать действительную кривую зависимости деформаций от напряжений (рис. 4б), определенную по результатам испытаний стали на растяжение отобранных из исследуемых образцов. В случае отсутствия результатов испытаний стали на растяжение в соответствии с ТПК EN 1993-1-5 допускается использовать упруго-пластические свойства стали с линейным углом стадии самоупрочнения (рис. 4а).

Окончание следует.