

Эмпирические методы оценки несущей способности стальных тонкостенных просечно-перфорированных балок и балок со сплошной стенкой

Магистр П.Н. Недвига,
аспирант В.А. Рыбаков*,

ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

В последние годы проблематика расчета и проектирования легких стальных тонкостенных конструкций (далее ЛСТК) становится все более актуальной. На эту тему проходят семинары и конференции, готовятся и защищаются диссертации. В Санкт-Петербургском государственном политехническом университете начиная с 2006 г. было защищено несколько магистерских работ по ЛСТК, готовятся к защите кандидатские диссертации. Но большинство этих работ имеют один существенный недостаток, точнее неполноту, - полное отсутствие экспериментальных результатов, полученных лично авторами. А, как известно, данный аспект является немаловажным, с учетом специфической сложности и наукоемкости самих тонкостенных конструкций.

Также стоит отметить, что на данную тему с 2009 года читаются лекции и проводятся практические занятия, что в ближайшем будущем может повлечь за собой введение в учебный план и лабораторных работ по ЛСТК. И этот факт также вызывает необходимость создания методики испытаний профилей.

Поэтому настоящая статья посвящена созданию методики испытаний стальных тонкостенных просечно-перфорированных балок и балок со сплошной стенкой.

Итак, целью готовящихся к проведению испытаний образцов балок является получение зависимостей между несущей способностью балок и рядом параметров. К задачам работы относятся следующие.

1. Оценка прочности тонкостенных профилей по предельным состояниям первой и второй групп, к которым отнесено: формосохранение и способность восприятия постоянных и временных нагрузок без изменения формы сечения, других конструктивных геометрических параметров; обрушение или раскол; способность выдержать следующую ступень приложения нагрузки.
2. Проверка прочности профилей при переходе на измененные параметры геометрии сечения и формы профиля: по толщинам профилей; по высоте боковой стенки профилей; наличие/отсутствие просечек на стенках профилей; наличие/отсутствие ребер жесткости.
3. Определение зависимостей, связывающих характеристики прочности балок с переменными конструктивными и технологическими параметрами.

Таблица 1. Список испытываемых образцов

№ п/п	Назначение	Тип профиля	Длина, мм	Количество, шт		Примечание
				С ребрами жесткости	Без усиления	
1	испытываемый образец	ПС 150-0,8	3000	5	5	
2	то же	ПС 150-1,5	3000	5	5	
3	то же	ПС 250-0,8	3000	5	5	
4	то же	ПС 250-1,5	3000	5	5	
5	то же	ТС 150-0,8	3000	5	5	
6	то же	ТС 150-1,5	3000	5	5	
7	то же	ТС 250-0,8	3000	5	5	
8	то же	ТС 250-1,5	3000	5	5	
9	ребра жесткости	У 50х50х1,0 шаг 0,6м.	147	120	-	К поз.1,2,5,6
10	то же	У 50х50х1,0	247	120	-	К поз.3,4,7,8

Общий расход металла: 585 кг

За основу опытной модели принимаем схему (рис. 1, 2) однопролетной шарнирно опертой балки проектной длиной не менее 3000 мм, производства ООО «БалтПрофиль», исполненной по ТУ 1121-001-13830080-2003. Данная схема часто встречается в перекрытиях, покрытиях и стропильных системах из легких стальных тонкостенных профилей (далее ЛСТК).

В основе испытаний принято положение о том, что реальная стропильная система имеет раскрепления по верхней и нижней полкам балок (обычно шаг прогонов, установленный проектным расчетом каркаса покрытия, составляет от 300 до 600 мм по собственным осям на плане кровли).

Края образца балки не должны подвергаться какой-либо обработке. Свободные деформации краевых зон должны ограничиваться закреплением, исключающим деформации сечения на концах испытываемого образца, что соответствует его работе в реальной конструкции. При этом закрепление должно соответствовать схеме шарнирно-опертой балки (см. далее), при допущении, что изгибными – стесняющими деформациями крепежных элементов можно пренебречь.

Задаваемыми в ходе экспериментов параметрами являются исключительно геометрические - высота поперечного сечения балки, толщина стенок, наличие просечек. Параметры используемых материалов остаются постоянными. Использование ребер жесткости при испытании образцов служит для достижения при испытаниях 1 предельного состояния.

Испытания проводятся в два этапа:

- 1) испытание профилей без перфорации разных типоразмеров с ребрами жесткости и без них;
- 2) испытание профилей с перфорацией для выявления соответствующих зависимостей.

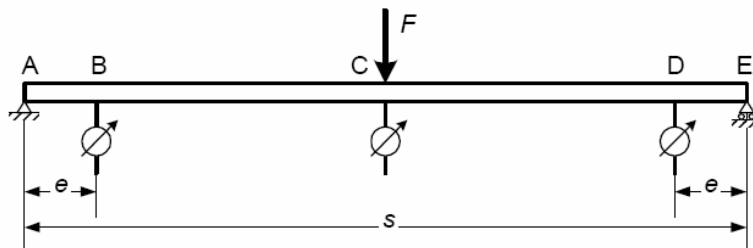


Рисунок 1. Схема испытательного стенда

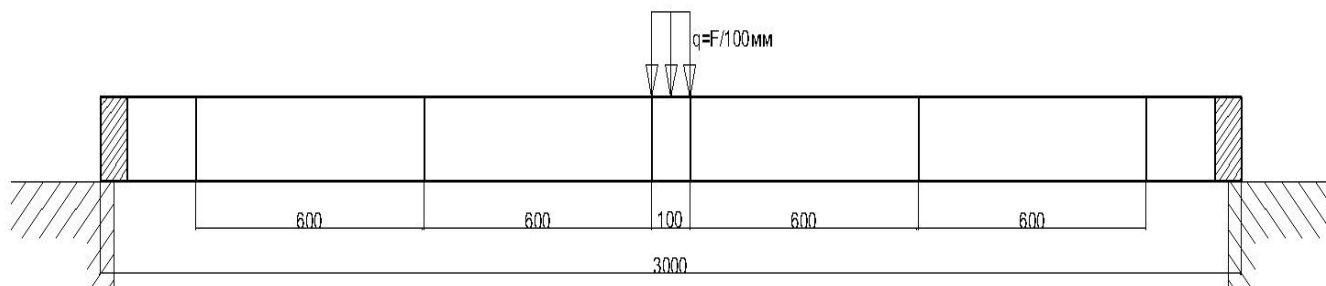


Рисунок 2. Рабочая схема нагружения и расположения ребер

На рис. 2 приведена рабочая схема нагружения (вариант с ребрами), которая образована из идеализированной схемы (рис. 1) и должна быть рассмотрена как альтернативная.

Данная схема представляет собой предельный переход от равномерно распределенной к «точечной» пролетной нагрузке, что, конечно, не является прямым эквивалентом.

Опоры А и Е должны быть шарнирными и катковыми соответственно. На этих опорах поворот балки относительно продольной оси может быть исключен с помощью упоров.

Методика оценки несущей способности стальной тонкостенной балки



Рисунок 3. Испытательная машина «Инстрон»

В качестве нагружающего устройства может быть применена универсальная испытательная машина «Инстрон» (рис. 3).

Балка устанавливается на испытательном стенде, закрепляется на концах в обоймы либо с использованием жестких вставок (см. рис. 2), при необходимости устанавливаются ребра жесткости по длине балки (см. рис. 4).

Загружение образца производится ступенями, составляющими около 10% от несущей способности по предварительной оценке теоретическими методами.

На каждой стадии нагружения перемещения и деформации должны измеряться в характерных местах конструкции. Отсчеты перемещений и деформаций должны сниматься после стабилизации конструкции после приложения каждой ступени нагрузки.

Несущая способность профиля оценивается по величине точечной пролетной нагрузки по схеме рис. 1, соответствующей факту достижения предельных напряжений, относительных деформаций элементов сечения в месте приложения нагрузки, потери устойчивости верхнего (сжатого при изгибе) пояса или стенки тонкостенной балки.

Внешними признаками потери устойчивости тонкостенной балки являются образование складок, переломов по углам профиля, потеря базовых плоскостей полков и стенок, происшедшая под действием напряжений сжатия в верхнем поясе при изгибе или при выходе из плоскости изгиба под внешней нагрузкой.

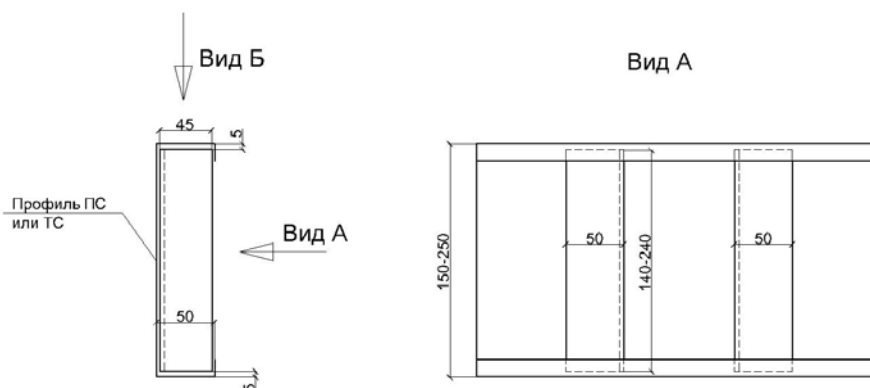


Рисунок 4. Крепление ребер жесткости в точке приложения нагрузки

Существенным признаком потери устойчивости является образование площадки на кривой нагрузки, т.е. ненаращение или снижение ее при увеличении прогиба, что одновременно сопровождается появлением любого из указанных внешних признаков.

Таким образом, измеряемая в эксперименте величина – это нагрузка, установленная по силоизмерителю, соответствующая предельному состоянию материала балки в момент потери устойчивости балки либо предела текучести.

В ходе опытов измеряется величина усилия (внешней нагрузки), затем – изгибающий момент на опоре, приводящий к потере устойчивости сжатого пояса или стенки балки.

Все остальные механические параметры, кроме модулей нормальной упругости и сдвига также устанавливаются расчетным путем.

На каждом этапе необходимо производить фотофиксацию полученных результатов испытаний и видов разрушения образца с занесением в протокол.

В заключении должно быть отражено:

- дата, время, климатические условия испытаний;
- количество образцов, поступивших на испытания;
- размеры, качественные характеристики образцов по данным и в объеме в соответствии с ТУ (п.п. 2.1);
- отметки об особенностях образцов балок, если они обнаружены;
- паспортные данные нагружающего и измерительного оборудования;
- описание особенностей процесса нагружения образцов и испытаний в целом;
- величины разрушающих нагрузок как по величине усилия «Р», так и по изгибающим моментам на опоре, указание наименьшего из двух опорных, найденных расчетом по (2) и (3), описание вида разрушения, его особенности;
- подписи ответственных исполнителей.

Оценка результатов испытаний проводится аналитическими [3] и численными [4] методами. К аналитическим относится метод, основанный на теории тонкостенных стержней, предложенной В.З. Власовым; численное моделирование производится методом КЭ в ПК SCAD Office. При этом прослеживается полная аналогия граничных условий всех трех методов (двух теоретических и эмпирического).

В ходе работы была предложена методика испытаний стальных холодногнутых тонкостенных балок с отсутствием и наличием продольных просечек и получены соответствующие зависимости. Результаты работы внедрены в проектную деятельность ООО «БалтПрофиль» и научно-исследовательскую деятельность ГОУ СПбГПУ.

Литература

1. Айрумян Э.Л.. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутого стальных оцинкованных профилей производства ООО конструкций «БалтПрофиль», М., 2004.
2. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни (прочность, устойчивость, колебания), М., 1940.
3. Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3: Общие правила. Дополнительные правила для холодногнутого элементов и листов. Русская версия.
4. ГОСТ 14918-80. Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий.
5. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. Вычислительный комплекс SCAD. М, 2007.
6. ТУ 1121-001-1383-0080-2003. Профили стальные оцинкованные для системы каркасного строительства.

**Владимир Александрович Рыбаков, Санкт-Петербурге*
Тел. раб.: +7(812)314-98-34; эл. почта: fishermanoff@mail.ru