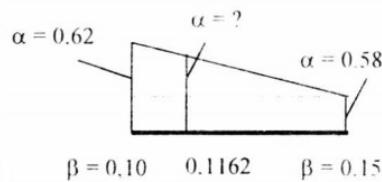


β	α	α'
0,01	0,77	0,20
0,02	0,73	0,22
0,03	0,71	0,24
0,04	0,69	0,25
0,05	0,67	0,25
0,10	0,62	0,26
0,15	0,58	0,26
0,20	0,56	0,26
0,50	0,46	0,25



УДК 624.014.2

Проблемы определения расчетного сопротивления локальной нагрузке стенок балок с гофрированной стенкой

Вихляев А.И.

Научные руководители – Надольский В.В., Верёвка Ф.А.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Введение

Экономическая целесообразность использования большепролетных стальных балок требует снижения собственного веса. Применение тонких гофрированных стенок – один из способов достижения достаточного уровня местной устойчивости стенок большепролетных балок без использования ребер или диафрагм. Именно из-за повышенной жесткости стенки ее толщина может быть уменьшена, что ведет за собой уменьшение собственного веса и, как следствие, более быстрый и простой монтаж. С 1990-х годов гофрированные стенки все чаще используются в качестве стенок балок, применяемых в строительстве стальных и композитных мостов (рис.1). Во время запуска таких мостов почти все поперечные сечения балок проходят, по меньшей мере, один раз над опорой, где на них действует локальная сила реакции. Во избежание достижения предельных деформаций элементов сечения подобных конструкций необходимо определить расчетное сопротивление локальной нагрузке гофрированной стенки, что может являться темой научной работы.

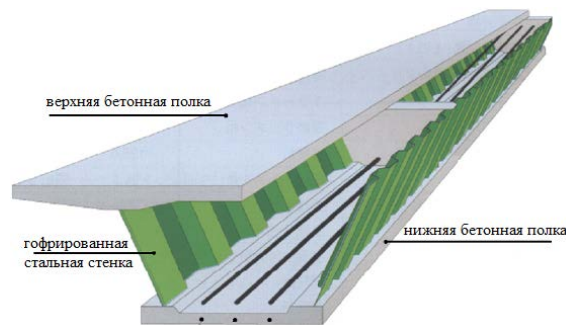


Рис. 1. Схема моста с гофрированной стенкой

Нормативная база.

В ТКП EN 1993-1-5-2009*[2] представлена методика по расчету сопротивления локальным нагрузкам:

$$F = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} \quad (1)$$

где t_w – толщина стенки;
 f_{yw} – предел текучести материала стенки;
 L_{eff} – эффективная длина при определении сопротивления локальной нагрузки стенки;
Данный метод требует усовершенствования для расчета гофрированных стенок.

Используемое для расчета несущей способности балок с рифлеными стенками приложение D к ТКП EN 1993-1-5-2009*[2] не даёт указаний по сопротивлению локальной нагрузке. Так же в текущей версии ТКП EN 1993-1-5-2009*[2] нет формулы учета совместного воздействия локальной нагрузки и сдвигающей силы как для плоских, так и для гофрированных стенок. Существующие методы, основанные на экспериментальных данных, не исследуют случаи приложения нагрузки с эксцентриситетом, которые возникают при монтаже мостовой конструкции (рис. 2, 3).



Рис. 2. Монтажное устройство [3].

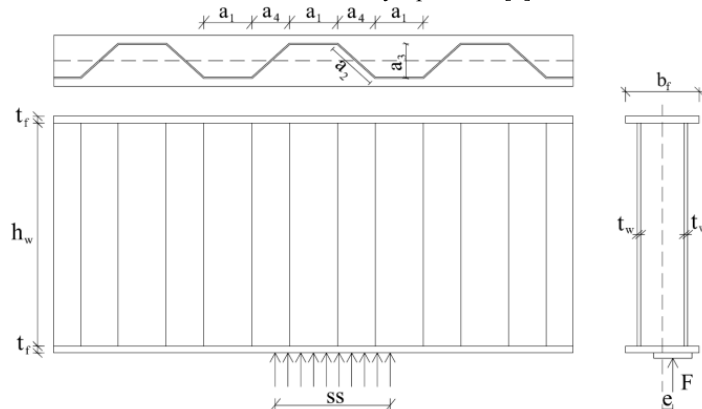


Рис. 3. Нагрузка с эксцентриситетом [3].

Существующие эксперименты.

В рамках изучения существующих методов расчета балок с гофрированной стенкой и их совершенствования 12 однопролетных балок было протестировано в Отделе Строительной Инженерии Будапештского Технологического и Экономического Университета в 2009 году [4] (рис. 4).



Рис 4 – Тестовый стенд

В тестах были испытаны образцы с различными толщинами полок, пролетами и шириной области приложения нагрузки (рис. 5).

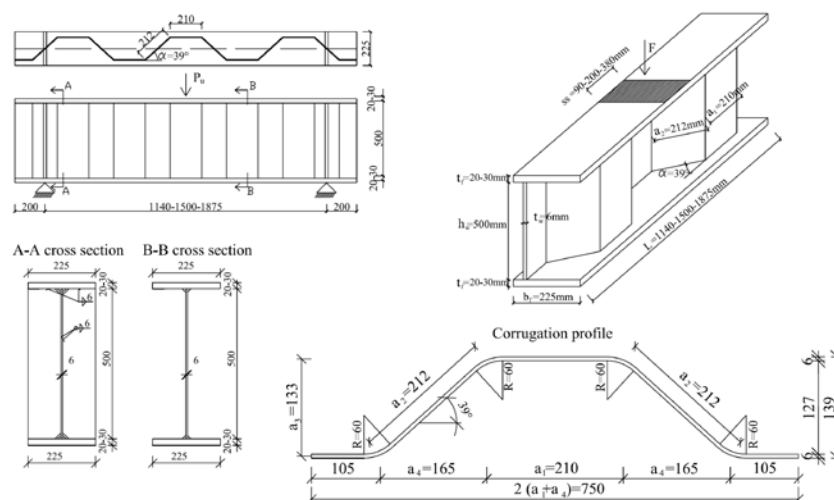


Рис. 5. Характеристики образцов [4].

В результате испытаний были получены данные о горизонтальных перемещения гофрированной стенки и вертикальных перемещения полок в зависимости от приложенной силы.

На основании исходных данных и результатах эксперимента предоставляется возможность создания расчетной модели на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Разработка метода проектирования на основе МКЭ.

Целью расчетов методом конечных элементов является определение расчетного значения сопротивления локальной нагрузке. Большое значение имеет учет несовершенств. В рекомендациях по расчету при помощи метода конечного элемента ТКП EN 1993-1-5-2009*[2] отсутствуют стандартизированные формы несовершенств для гофрированных элементов. Применение эквивалентных геометрических несовершенств требует определения минимальной величины отсека исследуемого элемента (таблица С.2 ТКП EN 1993-1-5-2009*[2]).

Таблица 1

Эквивалентные геометрические несовершенства [2].

Тип несовершенства	Элемент конструкции	Форма	Величина
Глобальный	Элемент конструкции длиной l	Дуга	EN 1993-1-1:2005 (таблица 5.1)
Глобальный	Продольный элемент жесткости длиной a	Дуга	$\min(a/400, b/400)$
Локальный	Панель или отсек с короткой стороной a или b	Вид кривой выпучивания	$\min(a/200, b/200)$
Локальный	Элементы жесткости или пояса, подверженные закручиванию	Повернутая дуга	1/50

Анализируемые в эксперименте балки моделируются в расчетном комплексе Abaqus 2020 [5]. Комплекс позволяет создать точную расчетную схему исследуемых балок на основе МКЭ (рис.4.1). Модель проектируется с учетом физической и геометрической нелинейности. Сетка конечных элементов создана из восьми-узловых объемных элементов типа C3D8R. Количество конечных элементов варьируется от 130000 до 200000 в зависимости от пролетов балок. учет

геометрической нелинейности производился включением команды NGEOM, что позволило учитывать изменяющуюся матрицу жесткости системы при каждой итерации. Для всех балок была задана нагрузка в 800 000 Н (800 кН), что превышает несущую способность всех балок. В качестве метода расчета был выбран способ решения, основанный на итерационном алгоритме Ньютона-Рафсона в сочетании с методом Рикса. Данные, полученные в ходе исследований смоделированных элементов будут представлены в следующих статьях.

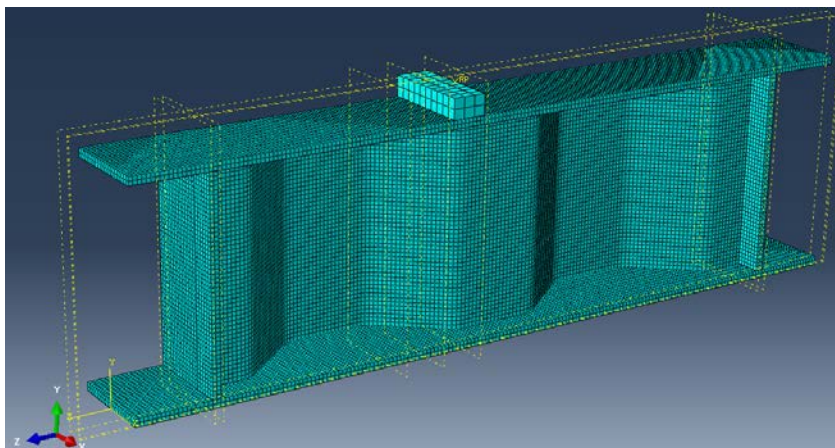


Рис. 6. Характеристики образцов [4].

Заключение

С учетом малого количества исследований по определению расчетного сопротивления гофрированных элементов локальной нагрузке и отсутствием четких рекомендаций в нормативной литературе является целесообразным изучение данной темы по следующим тезисам:

1. Анализ работы элементов балок с гофрированными стенками посредством сбора и анализа имеющихся в свободном доступе экспериментальных данных.
2. Разработка численной модели и проверка ее точности на основании имеющихся экспериментальных данных.
3. Усовершенствование предложенных методик проектирования на основе численных методов и экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wei Ji, Lu Deng, Shizhong Liu: "Study of vertical bending vibration behavior of continuous prestressed concrete box girders with corrugated steel webs", *Advances in Structural Engineering*, 2016.
2. ТКП EN 1993-1-5:2009*. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-5: Пластинчатые элементы конструкций.
3. L. Davaine: „I-girders launching – Influence of load eccentricity”, COMBRI project, RFCS Contract RFS-CR-03018, Document COMBRI-Report-SETRA-001, 2007.
4. Balázs Kövesdi: "Patch loading resistance of girders with corrugated webs", Budapest University of Technology and Economics, 2010.
5. Abaqus/CAE 2020, Dassault Systemes Simulia Corp., Johnston, RI, USA.

УДК 624.014.2

Проверка устойчивости стенки сварной балки при совместном действии локальных и сдвиговых усилий

Подымако В.И.

Научные руководители: Надольский В.В., Верёвка Ф.А.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Введение

Металлические конструкции используются в различных областях хозяйственной деятельности человека: как при строительстве общественных и жилых зданий, так и при возведении промышленных объектов. В течение жизненного цикла эти конструкции подвергаются различным видам нагрузок как в период возведения, так и в период эксплуатации.

Нагрузки часто вызывают сложное напряженное состояние в элементах сечения конструкций. В качестве примера можно привести подкрановую балку мостового крана: стенка подкрановой балки не только локально нагружена, но также подвержена действию изгибающего момента и поперечной силы. (рис. 1.).