



УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР  
СТАЛЬНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА

## Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой. Местная потеря устойчивости и потеря устойчивости формы сечения

Семко Владимир,  
кандидат технических наук

Семинар «ЛСТК: проектирование, производство и монтаж»

16-17 апреля 2015



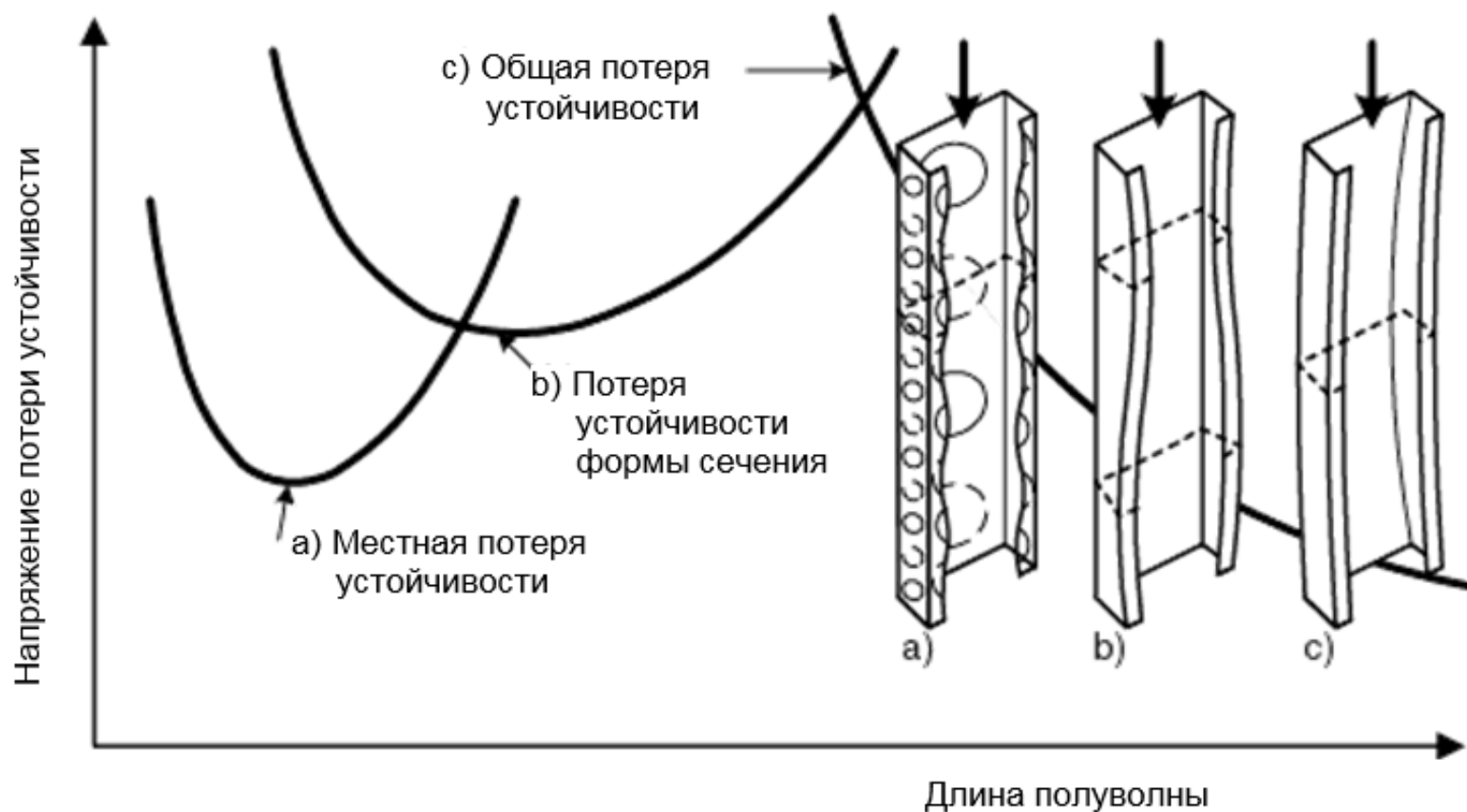
# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

---

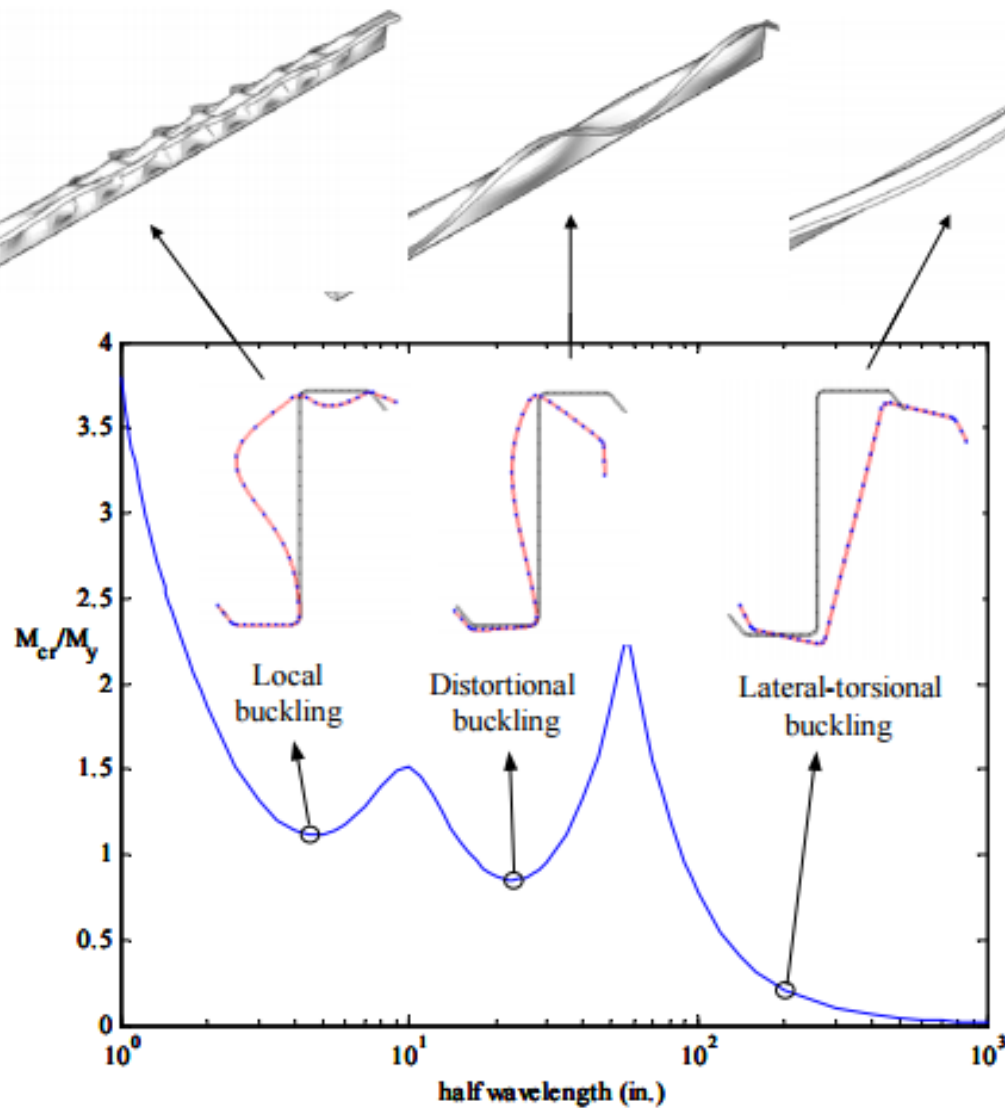
Выделяют четыре основных вида потери устойчивости:

1. Местная;
2. Общая;
3. Потеря устойчивости формы сечения;
4. Потеря устойчивости при сдвиге. (не рассматриваем!)

# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой



# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой



# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

---

Форма потери устойчивости профиля будет отличаться при разных типах нагрузки!

Основные виды нагрузки:

1. Сжимающая нагрузка
2. Изгибающая нагрузка
3. Растягивающая нагрузка (тут все проще – устойчивость не теряется)

# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

П-образный профиль (П100х40х1) работающий на сжатие:

CUFSM v4.05 -- C and Z Template

Update Plot ☒ C ☐ Z

material (steel) units: ☒ kip&in. ☐ N&mm

h	94	t	1
b1	37	b2	37
d1	0	d2	0
theta1	0	theta2	0
r1	3	r3	3
r2	0	r4	0

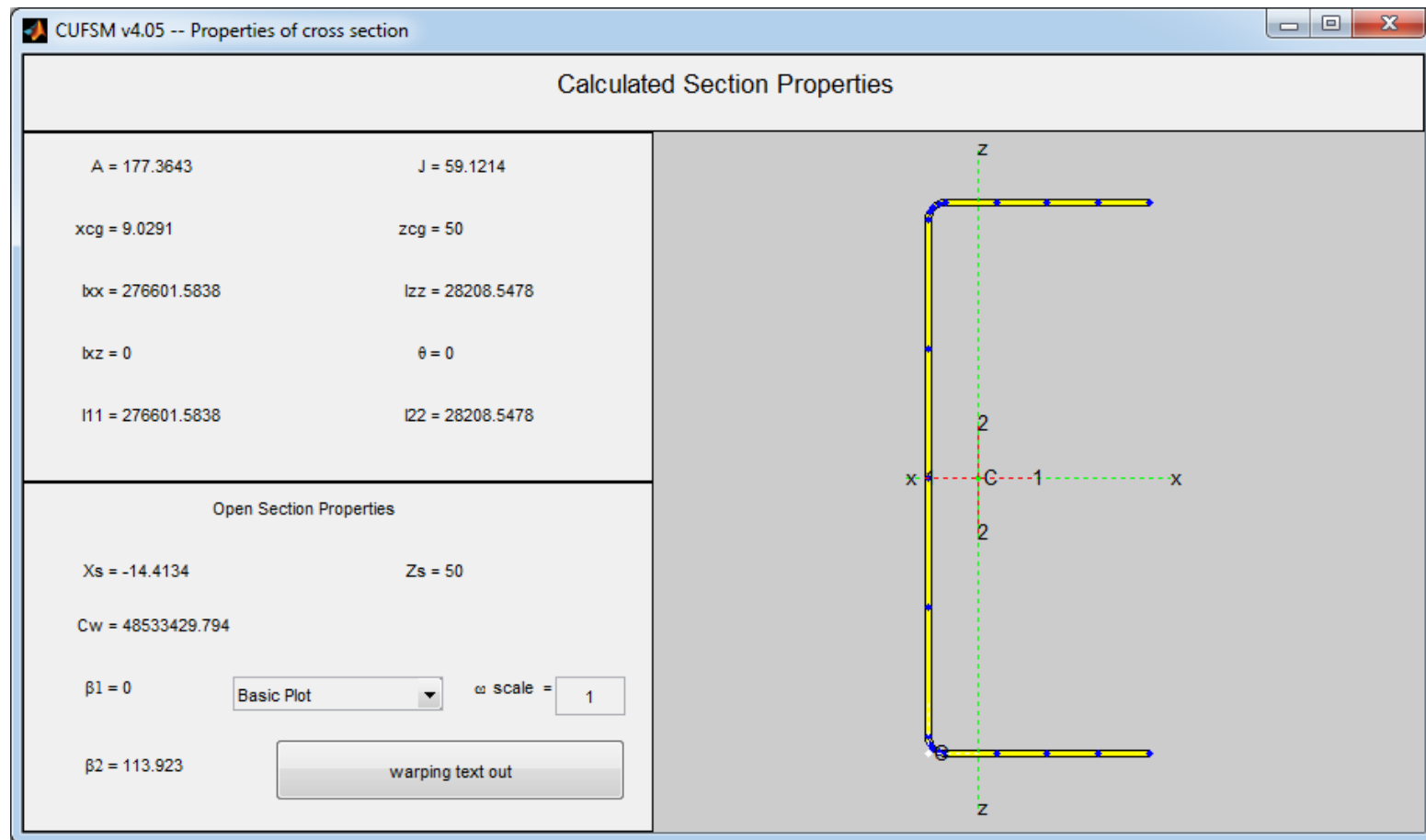
Submit to Input Close (don't submit)

NOTE: ALL DIMENSIONS ARE CENTERLINE DIMENSIONS! (NOT OUT-TO-OUT)

EXIT

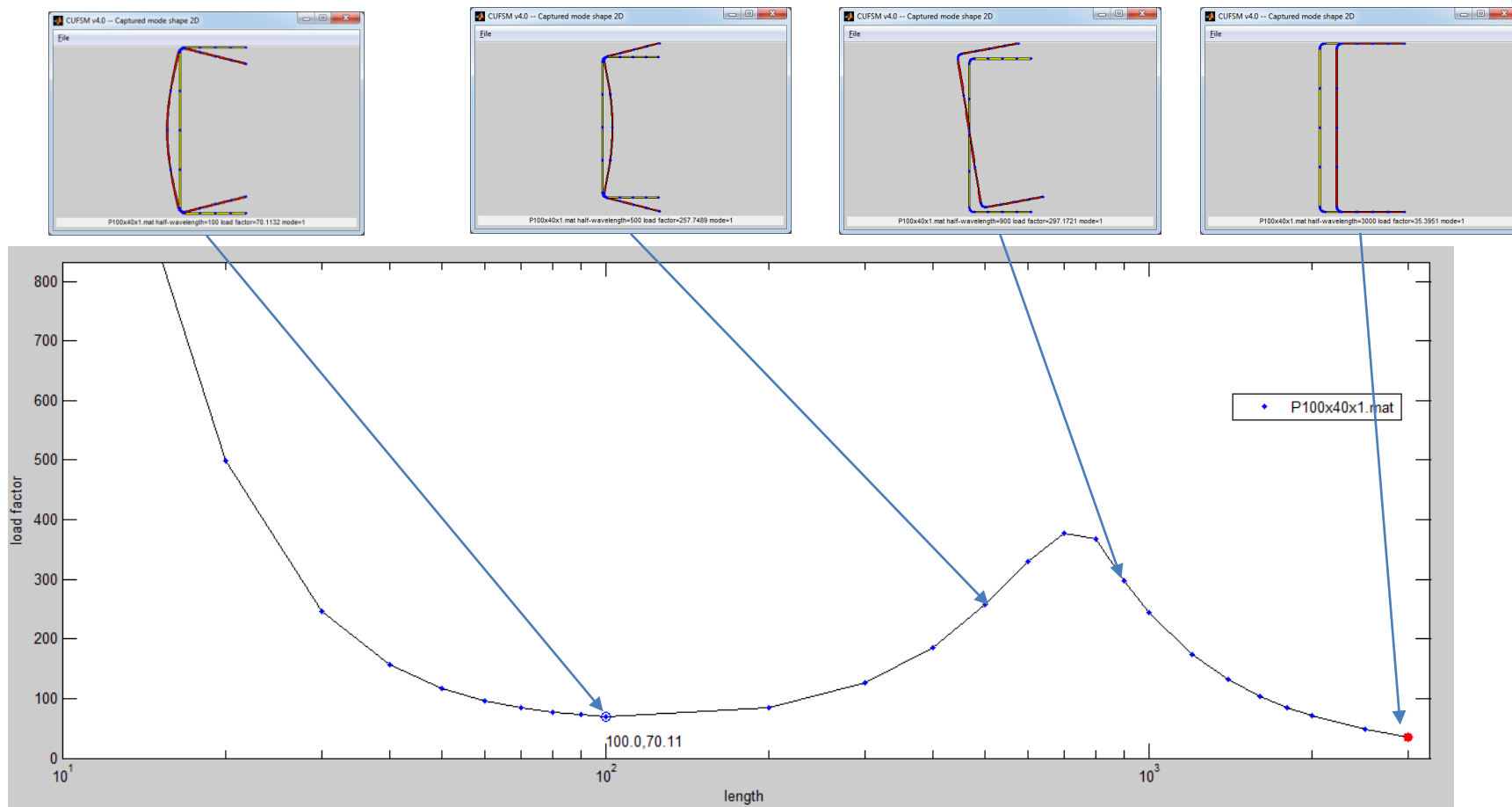
# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

П-образный профиль (П100х40х1) работающий на сжатие:



# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

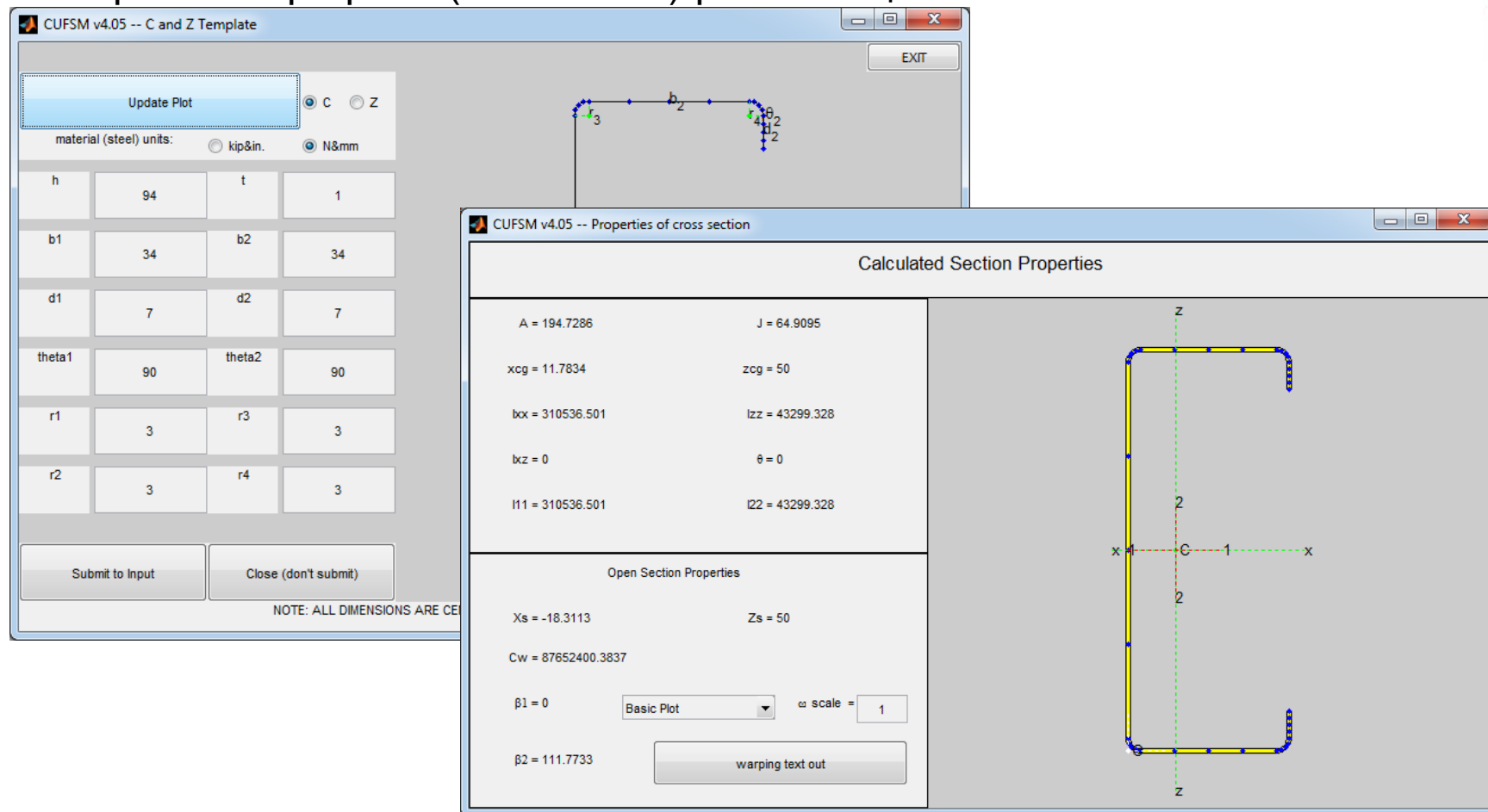
П-образный профиль (П100х40х1) работающий на сжатие:





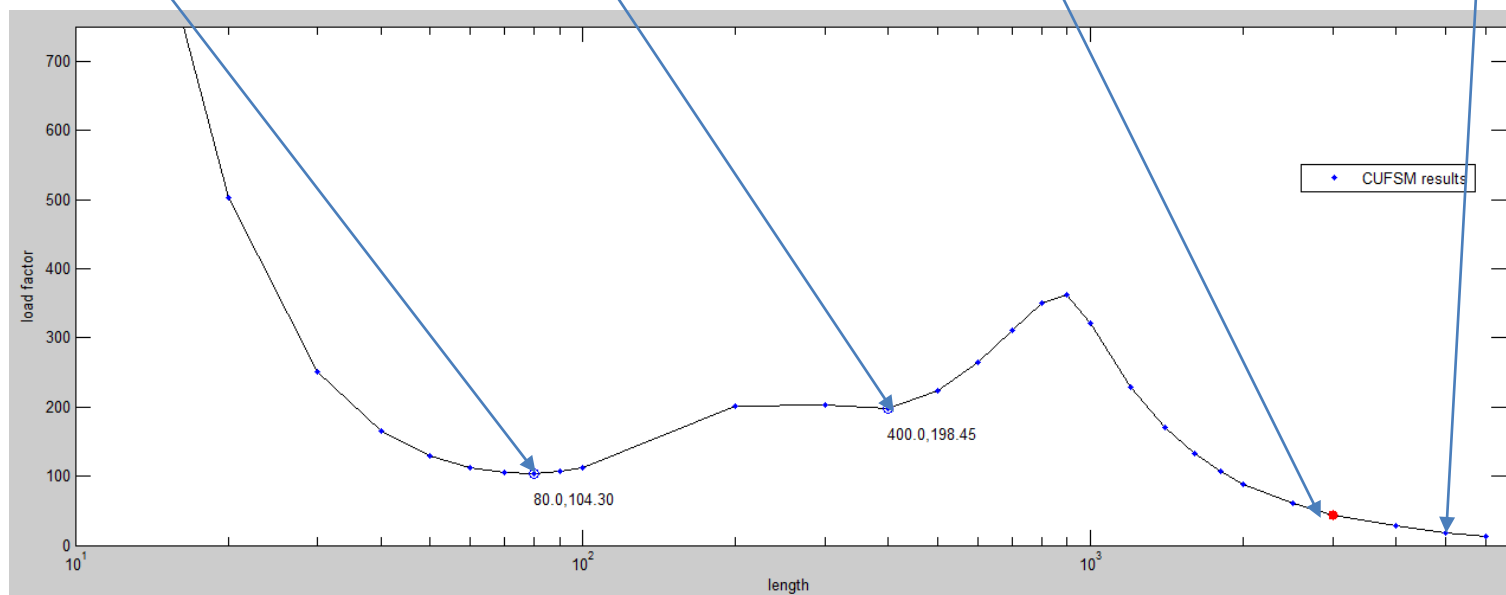
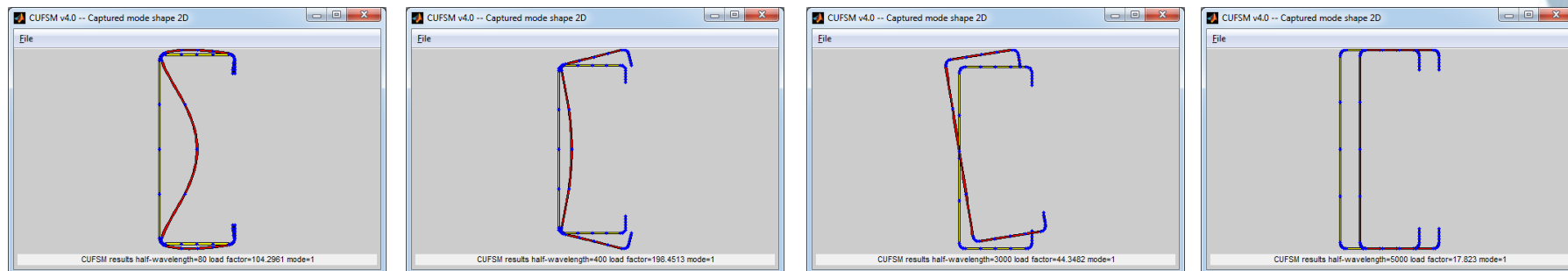
# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

## С-образный профиль (C100x40x1) работающий на сжатие:



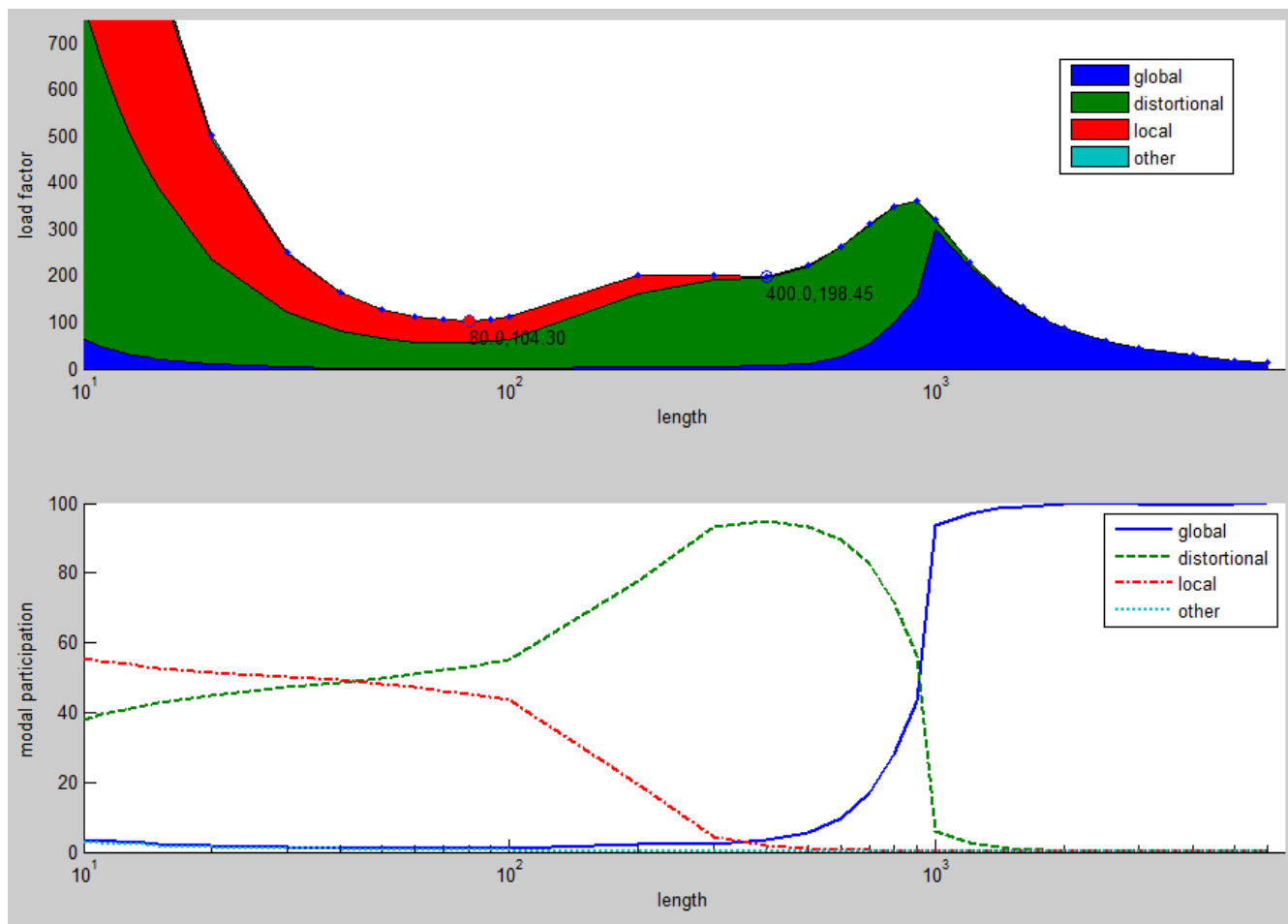
# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

С-образный профиль (С100х40х1) работающий на сжатие:

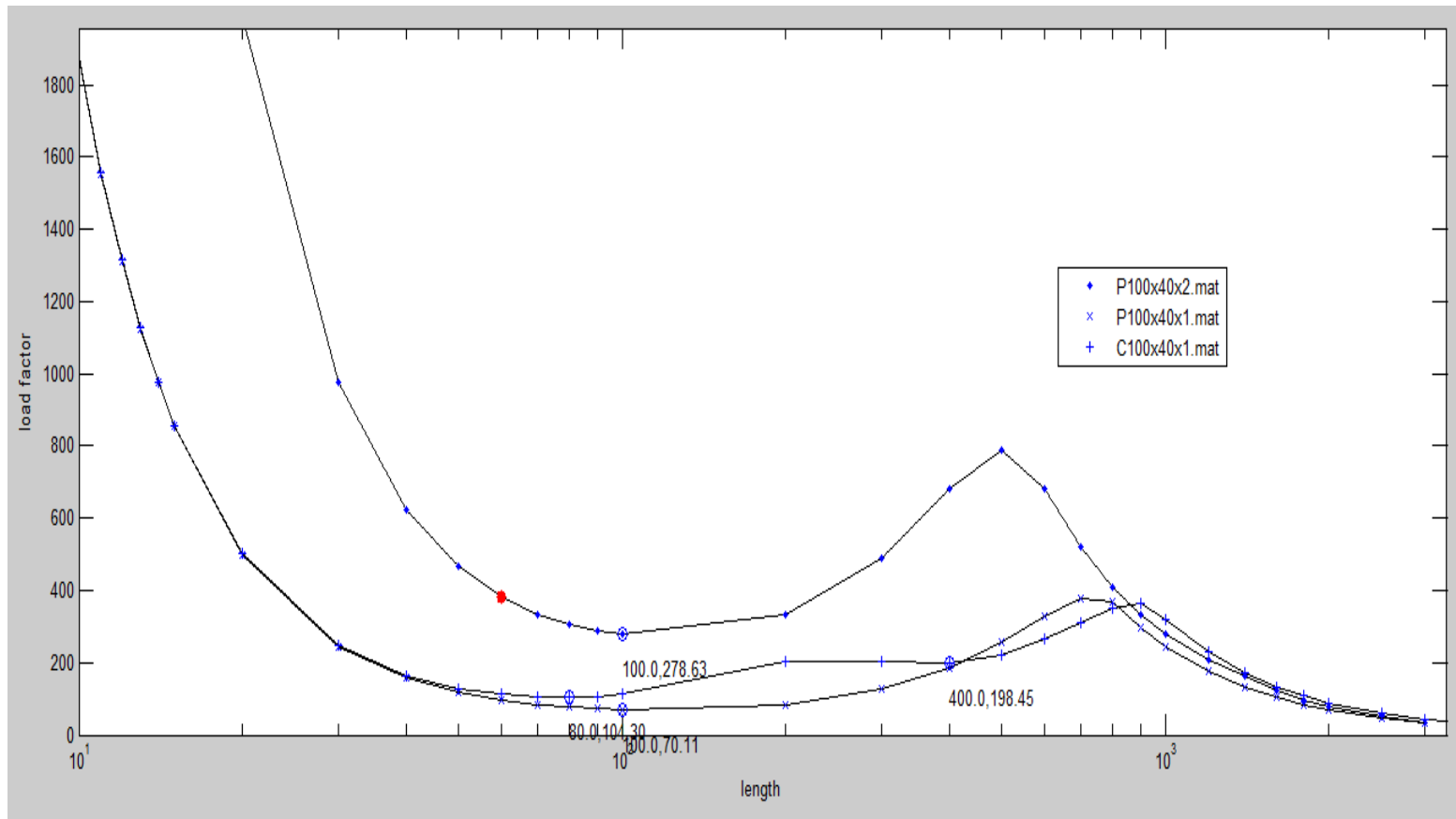


# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

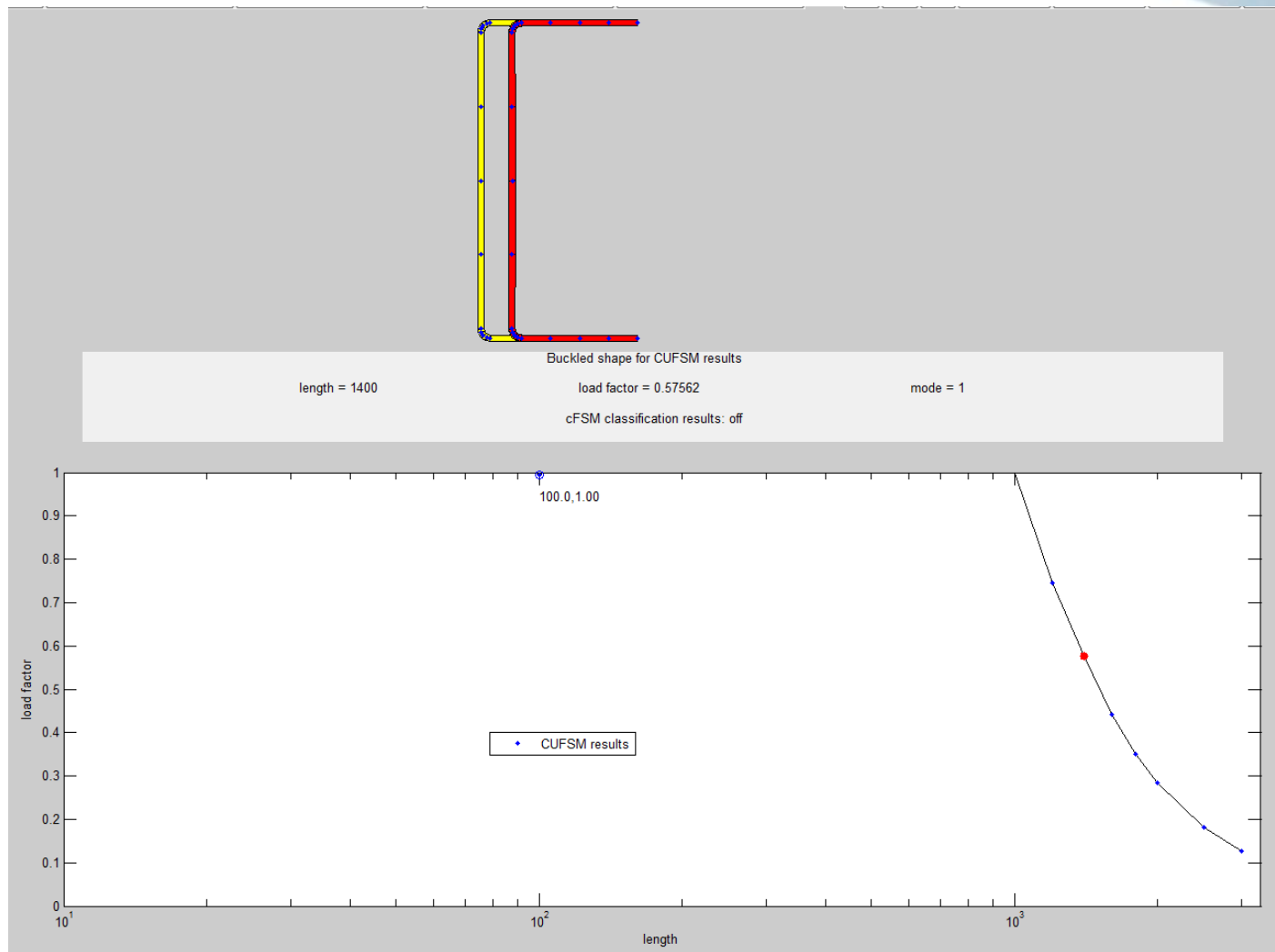
С-образный профиль (C100x40x1) работающий на сжатие:



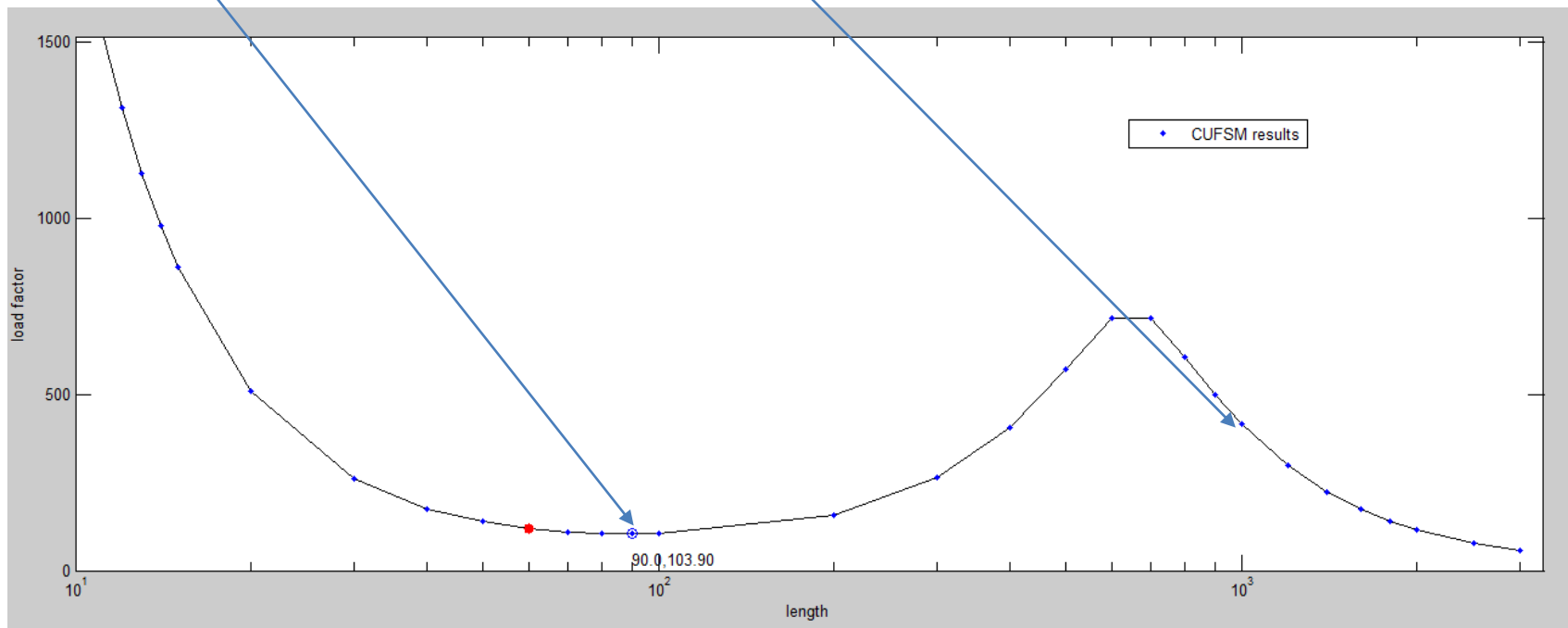
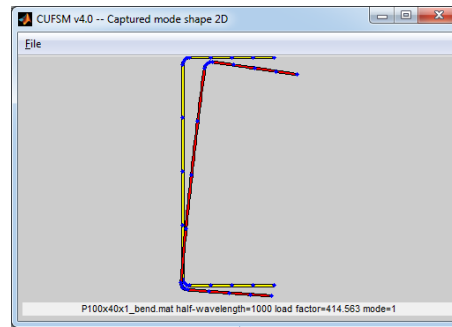
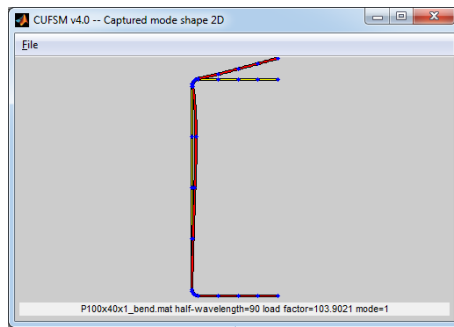
# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой



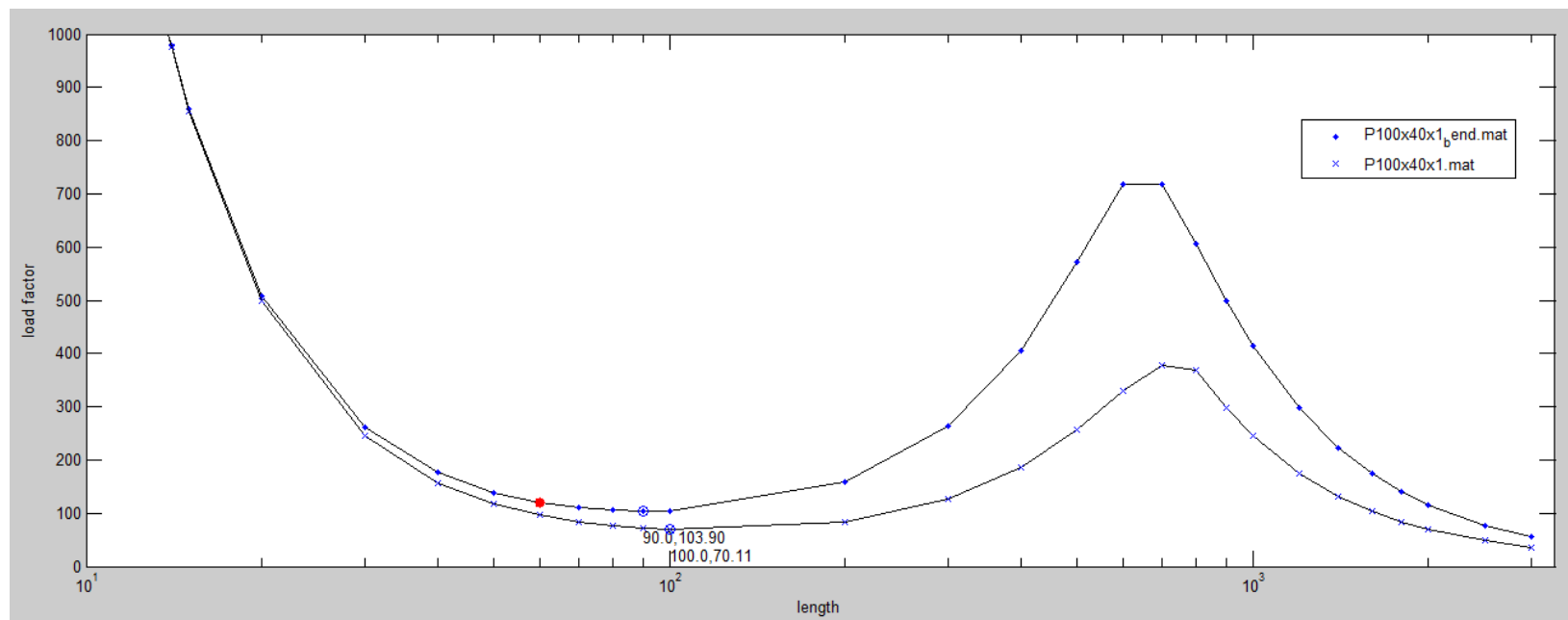
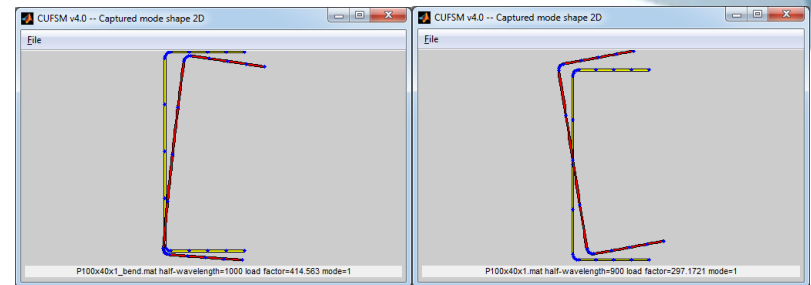
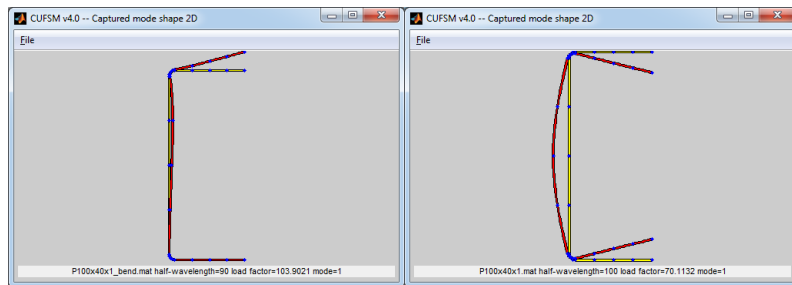
# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой



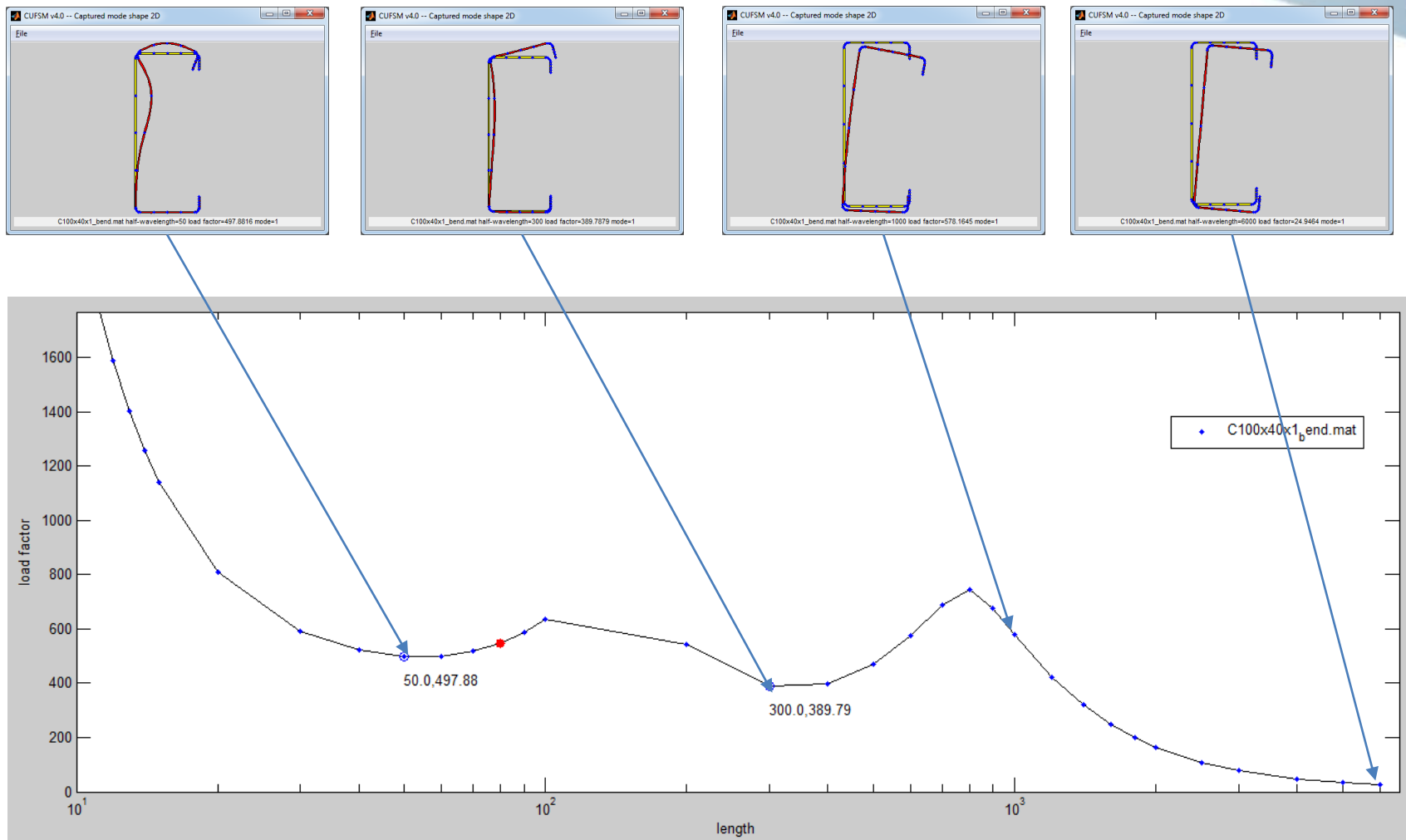
# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой



# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

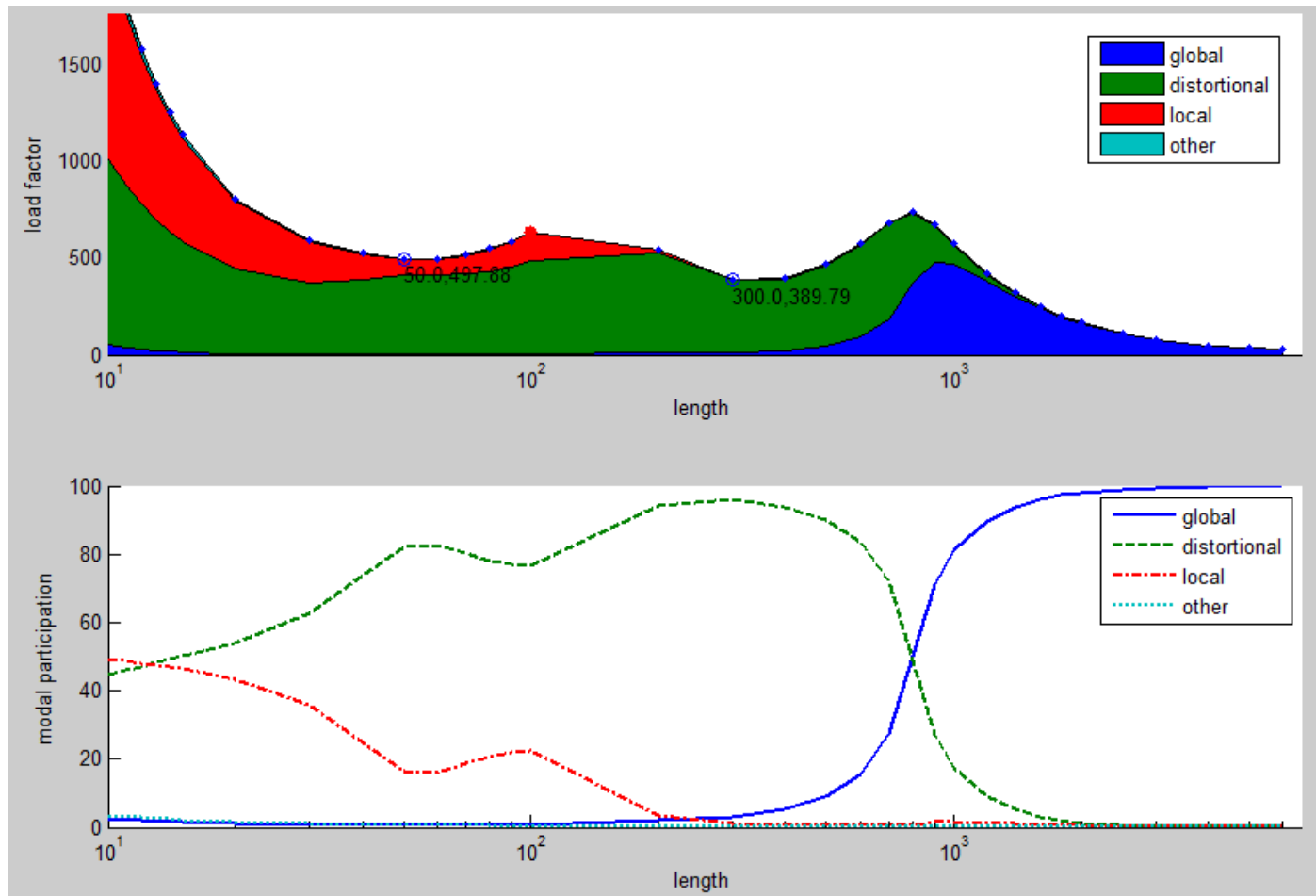


# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

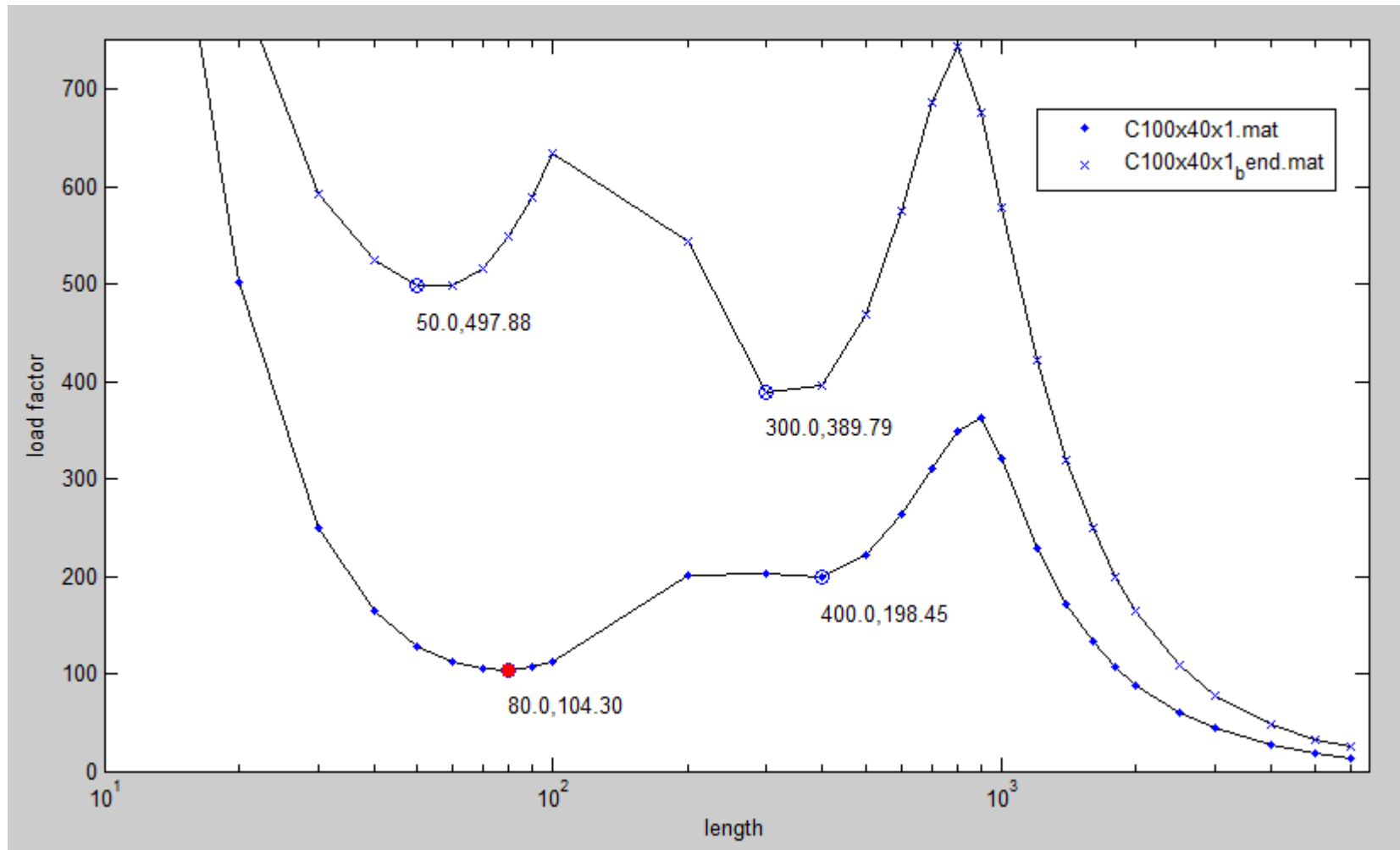




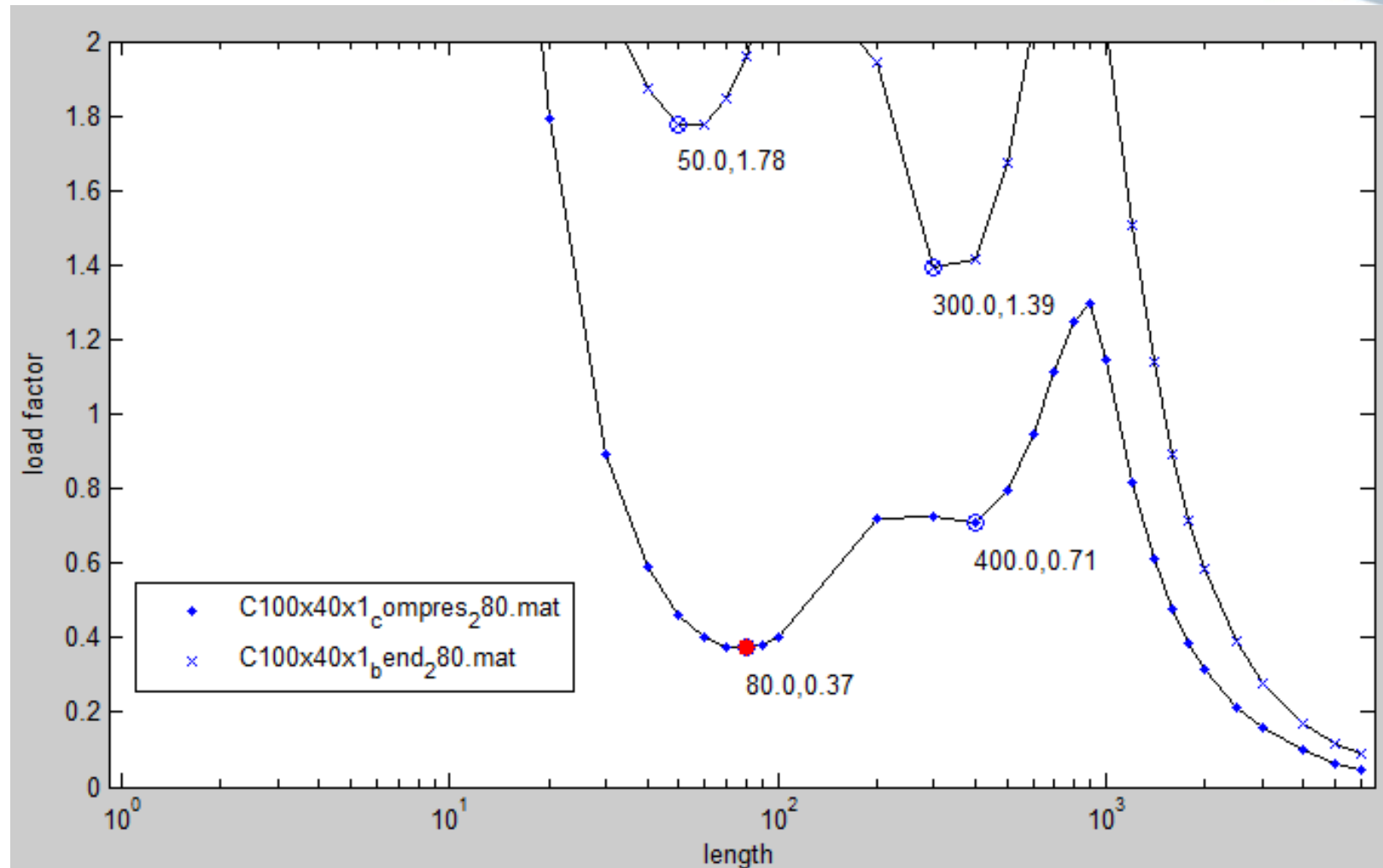
# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой



# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой



# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой



# Особенности работы холодноформованных профилей под нагрузкой

---

Принято считать, что следующие виды потери устойчивости:

1. Местная;
2. Потеря устойчивости формы сечения,

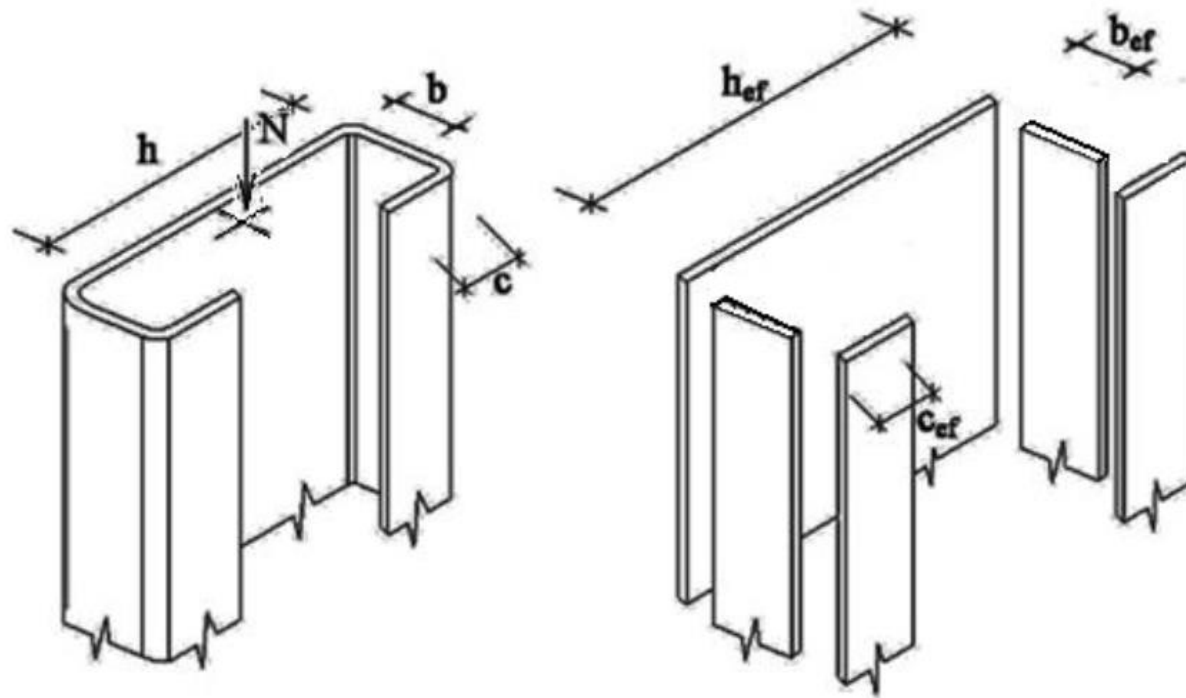
необходимо рассматривать, как влияющие на сечение.

Эти формы потери устойчивости могут совмещаться с общей формой потери устойчивости:

- изгибной и изгибно-крутильной (для сжатых элементов);
- продольно-изгибной с кручением (для изгибаемых элементов).

# Местная потеря устойчивости

Для учета влияния потери местной устойчивости элементами профиля принято рассматривать сечение как состоящее из нескольких пластин:



# Местная потеря устойчивости

---

Считается, что пластина теряет устойчивость при достижении напряжений равных критическим напряжениям:

$$f_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)(w/t)^2}, \quad (3.6)$$

где

$E$  модуль упругости стали;

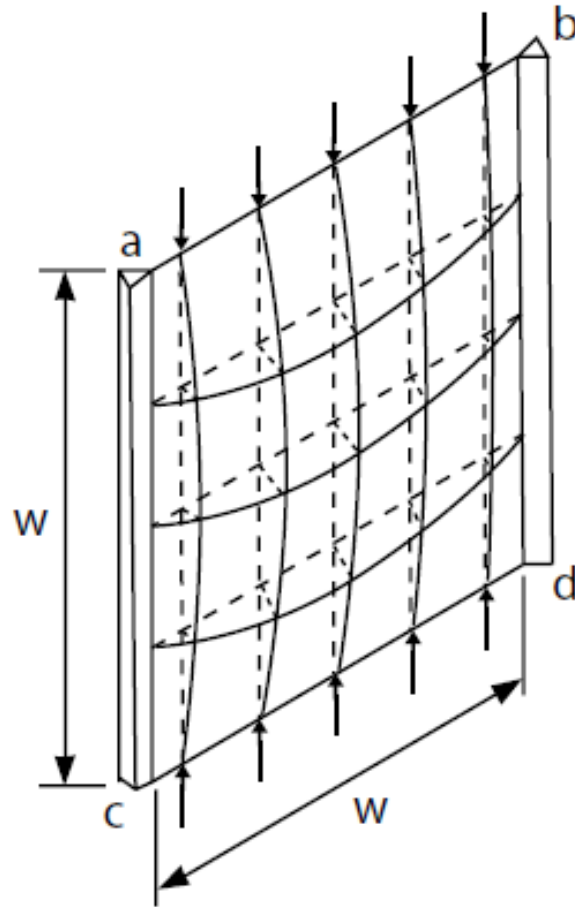
$\nu$  коэффициент Пуассона;

$k$  коэффициент местной устойчивости пластин, который зависит от условий закрепления пластины;

$w$  ширина пластины;

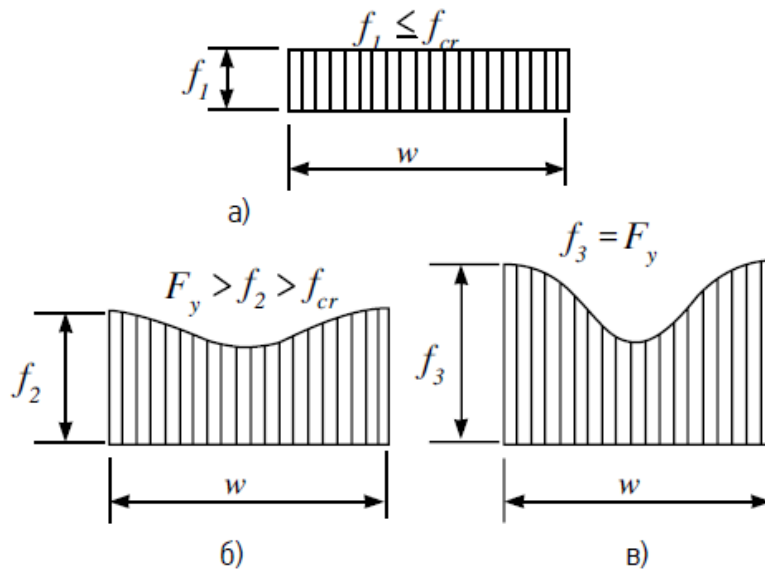
$t$  толщина пластины.

# Местная потеря устойчивости



Исследователями, еще в начале XX века было отмечено, что тонкие пластины не прекращают работу после достижения критических напряжений, полученных по формуле (3.6). С превышением критической нагрузки в пластинах начинают развиваться деформации (прогиб, выпучивание) намного превосходящие толщину самой пластины.

# Местная потеря устойчивости



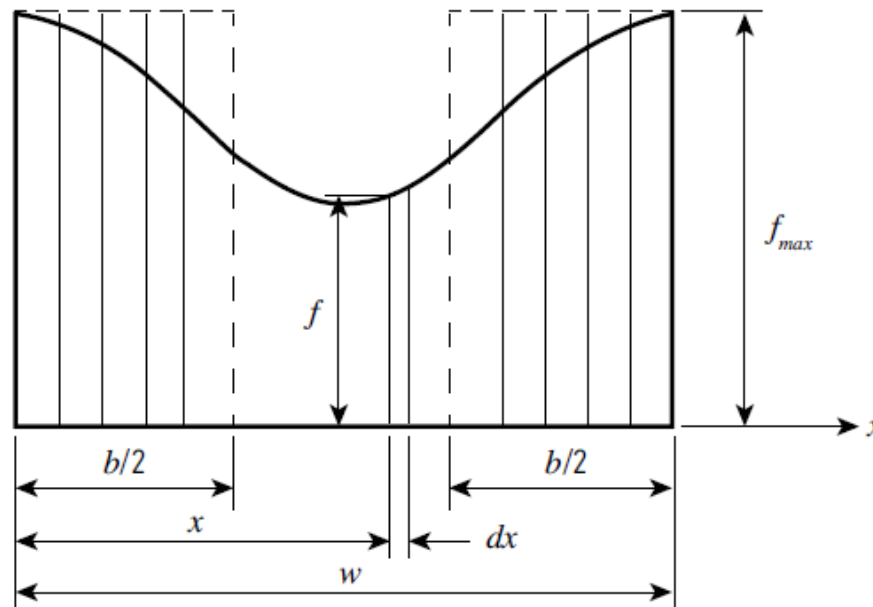
- напряжения не превышающие критических напряжений распределяются равномерно (а).
- при превышении критической нагрузки эпюра напряжений принимает нелинейный вид, при этом максимальные напряжения наблюдаются в местах подкрепления, т.е. на краях пластины, в тот момент когда напряжения в центре пластины остаются значительно меньшими (б).
- возрастание напряжений на краях пластины наблюдается до тех пор, пока они не достигнут предела текучести стали (в).



# Местная потеря устойчивости

В 1932 году американский ученый Т. von Karman предложил экспериментально-теоретический метод расчета пластин в закритической стадии. Эта методика основана на том то, что в расчет включаются лишь те участки пластины, которые способны воспринимать нагрузку, неэффективные участки – не учитываются.

Предложенная Т. von Karman формула имеет следующий вид (для подкрепленной с двух сторон пластины при  $k = 4$ )



# Местная потеря устойчивости

$$f_{cr} = F_y = \frac{\pi^2 E}{3(1 - \nu^2)(b/t)^2},$$

$$b = Ct \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.9t \sqrt{\frac{E}{F_y}},$$

где

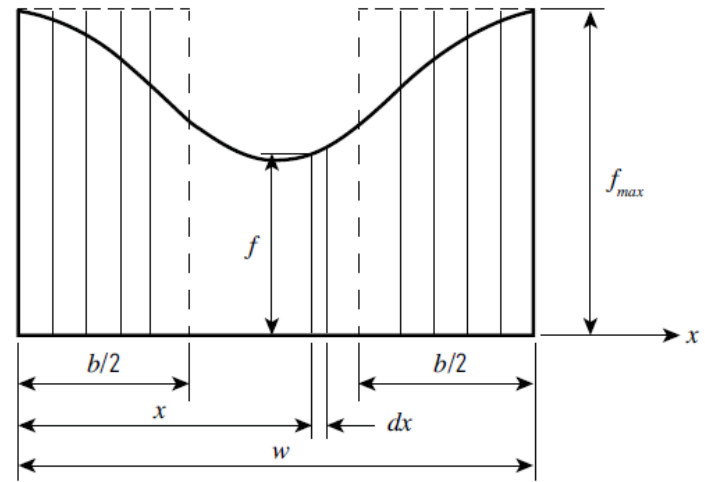
$$C = \frac{\pi}{\sqrt{3(1 - \nu^2)}} = 1.9, \quad \nu = 0.3.$$

При  $w > b$ ,

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{3(1 - \nu^2)(w/t)^2},$$

$$w = Ct \sqrt{\frac{E}{f_{cr}}}.$$

$$\frac{b}{w} = \sqrt{\frac{f_{cr}}{F_y}}.$$



## Местная потеря устойчивости

В последствии, в рамках подготовки первой редакции американских норм по расчету холодноформованных тонкостенных элементов, профессор George Winter на основе масштабных экспериментальных исследований внес свою правку в формулу T. von Karman, после чего она приобрела вид:

$$\frac{b}{w} = \sqrt{\frac{f_{cr}}{f_{max}}} \left( 1 - 0.25 \sqrt{\frac{f_{cr}}{f_{max}}} \right).$$

В таком виде формула (3.13) просуществовала до 1968 года, и в последующей редакции норм приняла тот вид, который сейчас имеет в рассматриваемом нами документе

$$\frac{b}{w} = \sqrt{\frac{f_{cr}}{f_{max}}} \left( 1 - 0.22 \sqrt{\frac{f_{cr}}{f_{max}}} \right).$$

# Местная потеря устойчивости

Эффективная ширина пластины может быть определена по формуле

$$b = \rho w, \quad (3.15)$$

где

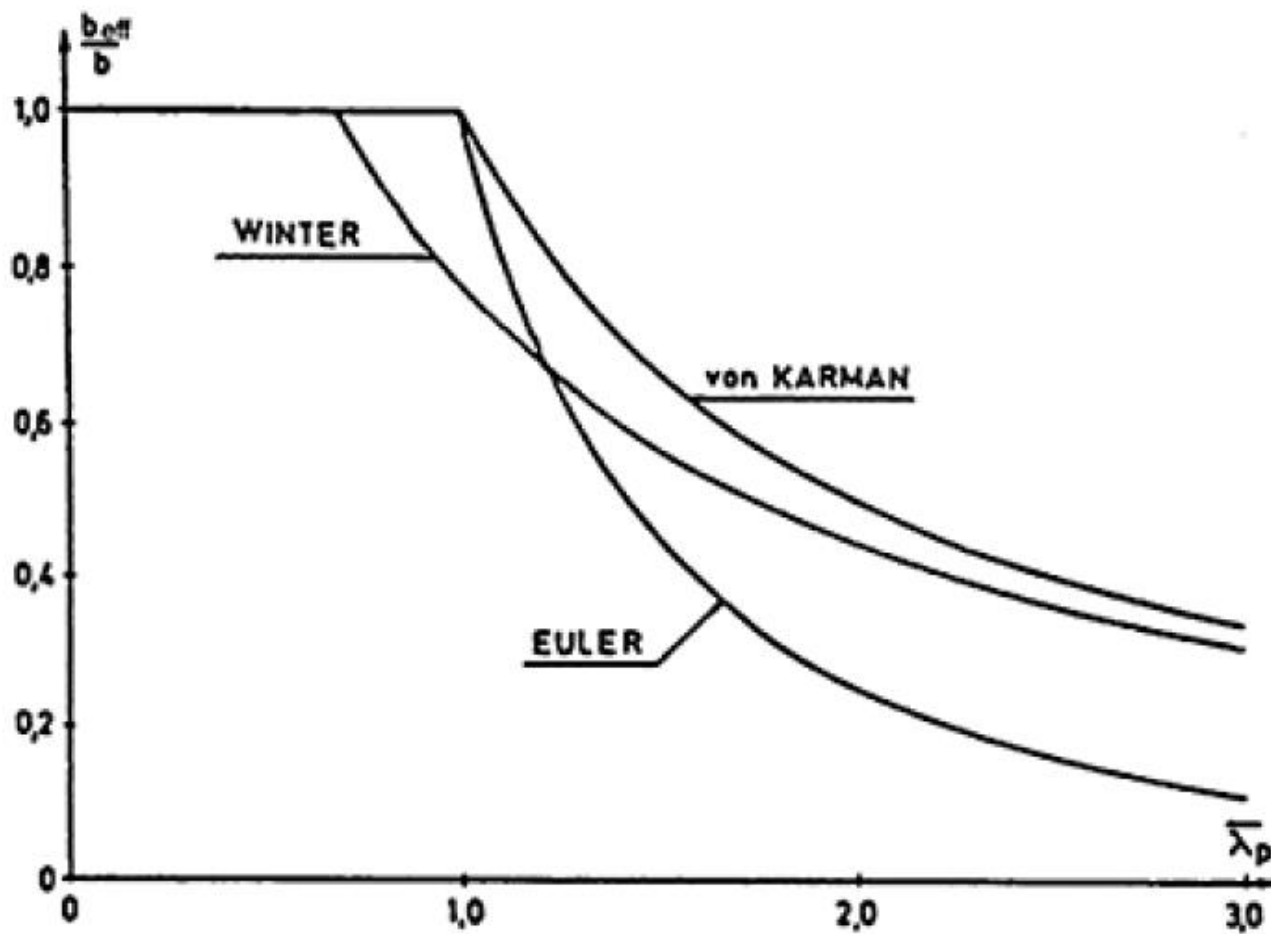
$$\rho = \frac{1 - 0.22/\sqrt{f_{max}/f_{cr}}}{\sqrt{f_{max}/f_{cr}}} = \frac{1 - 0.22/\lambda}{\lambda} \leq 1. \quad (3.16)$$

В формуле (3.16)  $\lambda$  – условная гибкость, которая определяется как

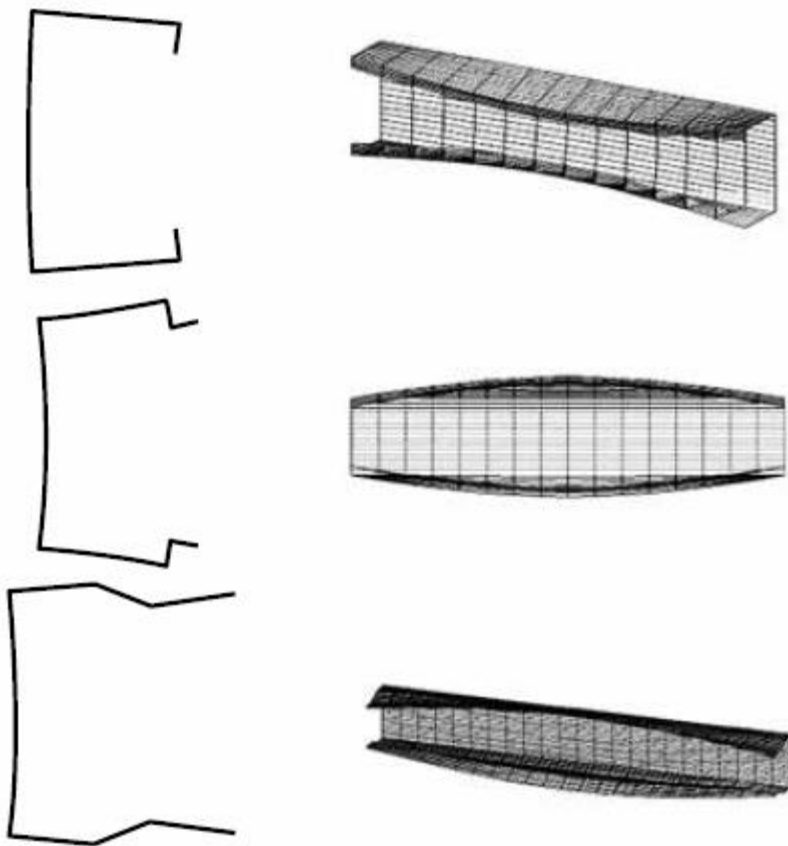
$$\lambda = \sqrt{\frac{f_{max}}{f_{cr}}} = \sqrt{\frac{f_{max}[12(1 - \nu^2)(w/t)^2]}{k\pi^2 E}} = \left(\frac{1.052}{\sqrt{k}}\right) \left(\frac{w}{t}\right) \sqrt{\frac{f_{max}}{E}}. \quad (3.17)$$

Из формулы (3.17) следует, что при условной гибкости  $\lambda \leq 0,673$  коэффициент  $\rho = 1.0$ .

# Местная потеря устойчивости



# Потеря устойчивости формы сечения



Аналогично потери местной устойчивости для холодноформованных конструкций допускается и потеря устойчивости формы сечения. Данная форма потери устойчивости характеризуется значительными поворотами плоских участков сечения относительно точек их пересечения (угловгиба).

Влияние потери устойчивости формы сечения должно учитываться в расчетах на прочность и устойчивость. Учет потери устойчивости формы сечения выполняется путем уменьшения толщины краевых отгибов и элементов.

# СПАСИБО!

[www.uscc.com.ua](http://www.uscc.com.ua) | +38-044-590-01-56

