Новые возможности ЛИРА-САПР 2018 для расчета ЛСТК с учетом депланации

Тищенко Алексей Владимирович

инженер-конструктор, сопровождение ПК ЛИРА-САПР

www.liraland.ru | www.rflira.ru | (495) 106-16-06

Москва, 2018

МКЭ-процессор Стр. 3

Расчет стержневых систем с учетом эффекта депланации Стр. 4

Верификационные тесты Стр. 16

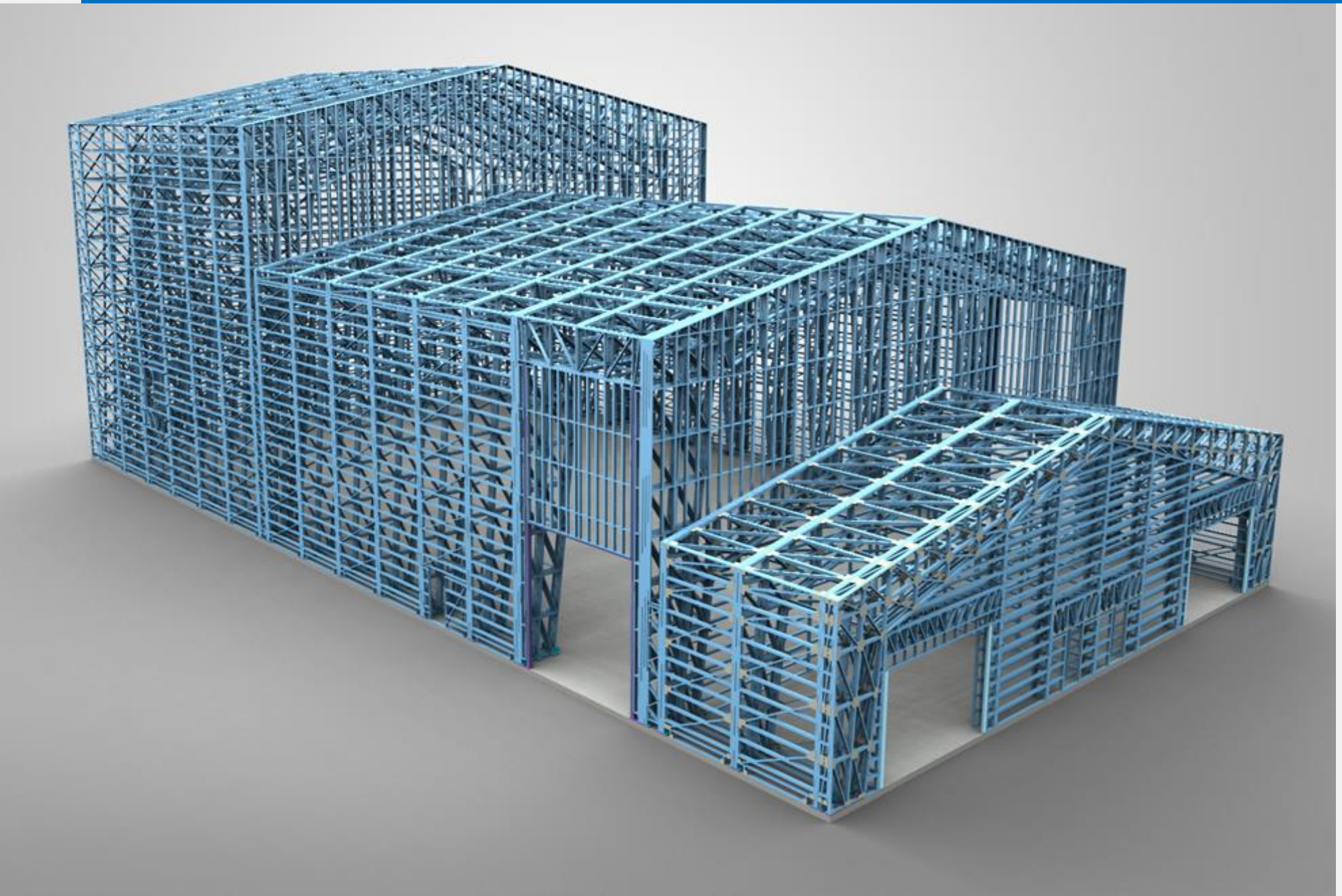
Расчет металлических конструкций Стр. 29

База сортаментов ЛИРА-САПР Стр. 34

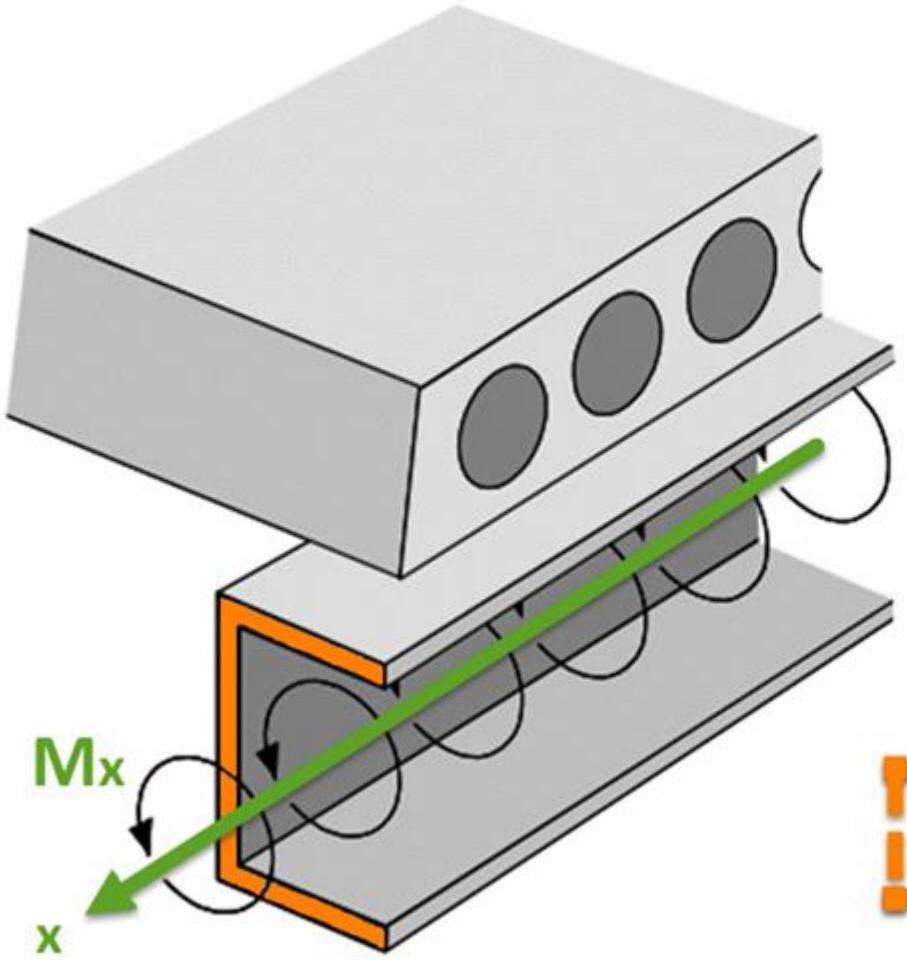
Москва, 2018

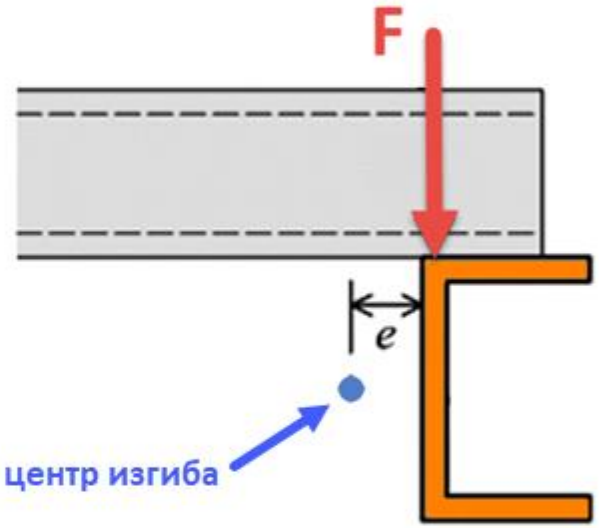
МКЭ-процессор

Москва, 2018



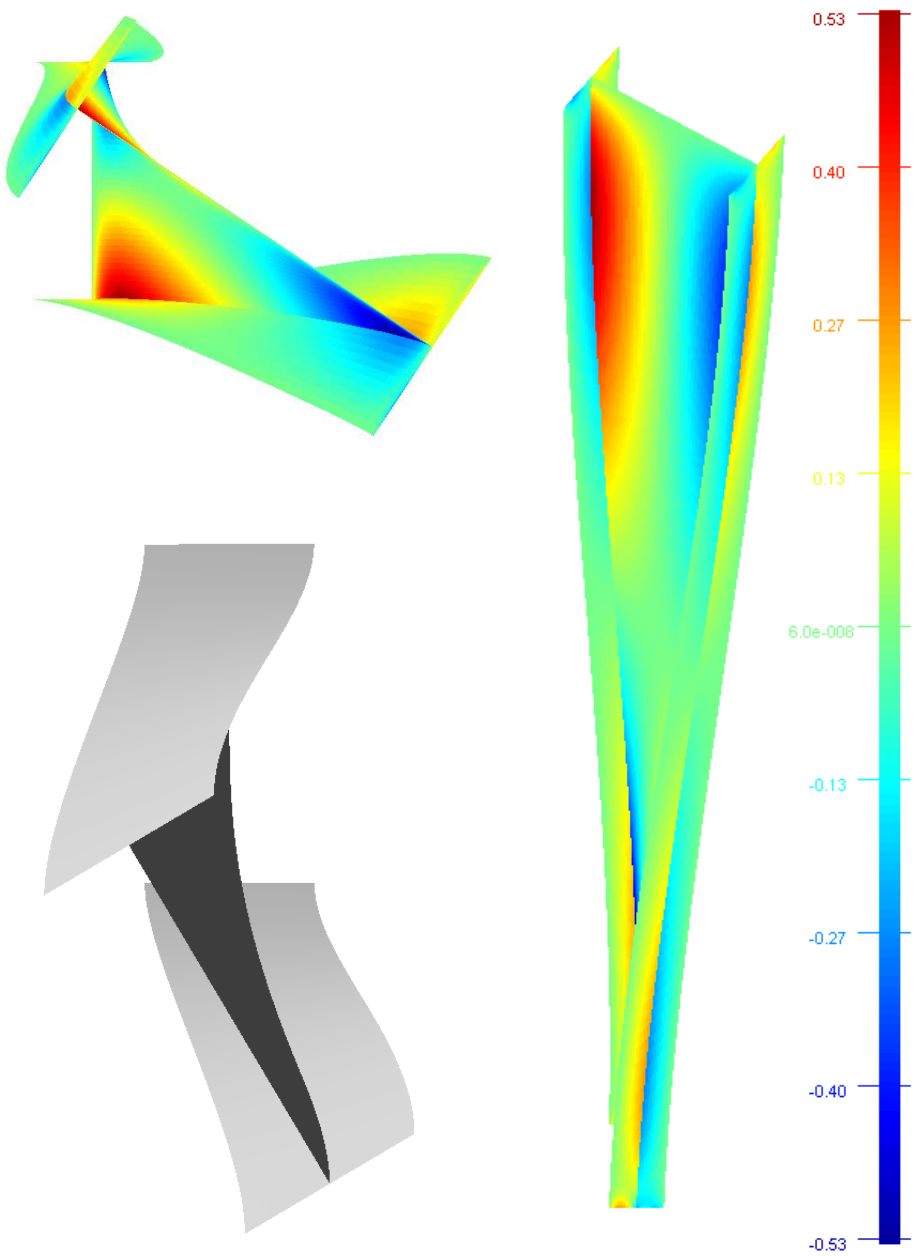
Лёгкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) – современная технология быстрого возведения зданий и сооружений, которые изготавливаются из стальных строительных элементов толщиной до 3…4 мм. В Европе данная технология называется Light Gauge Steel Framing (LGSF).



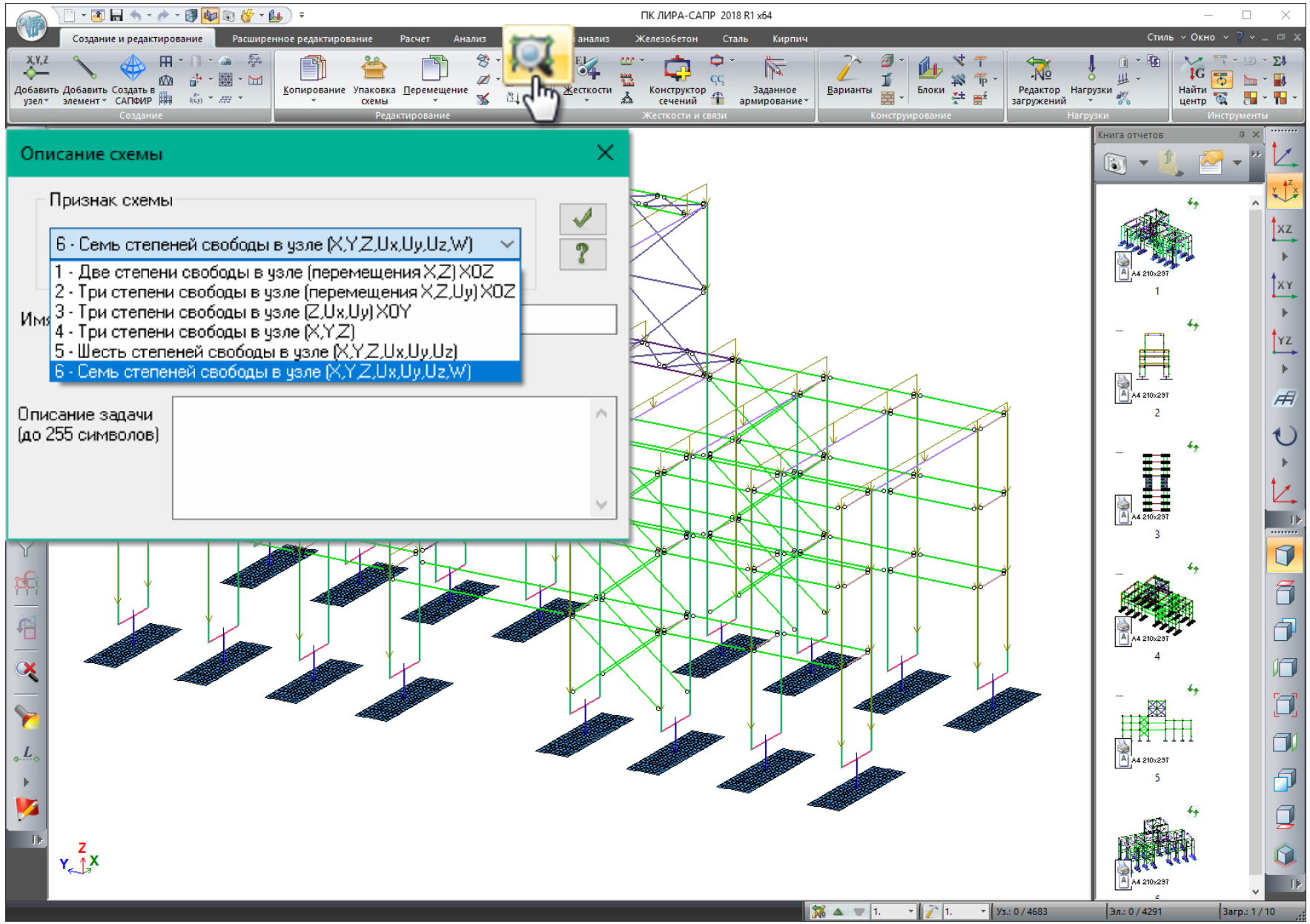


$$M_x = -F \cdot e$$

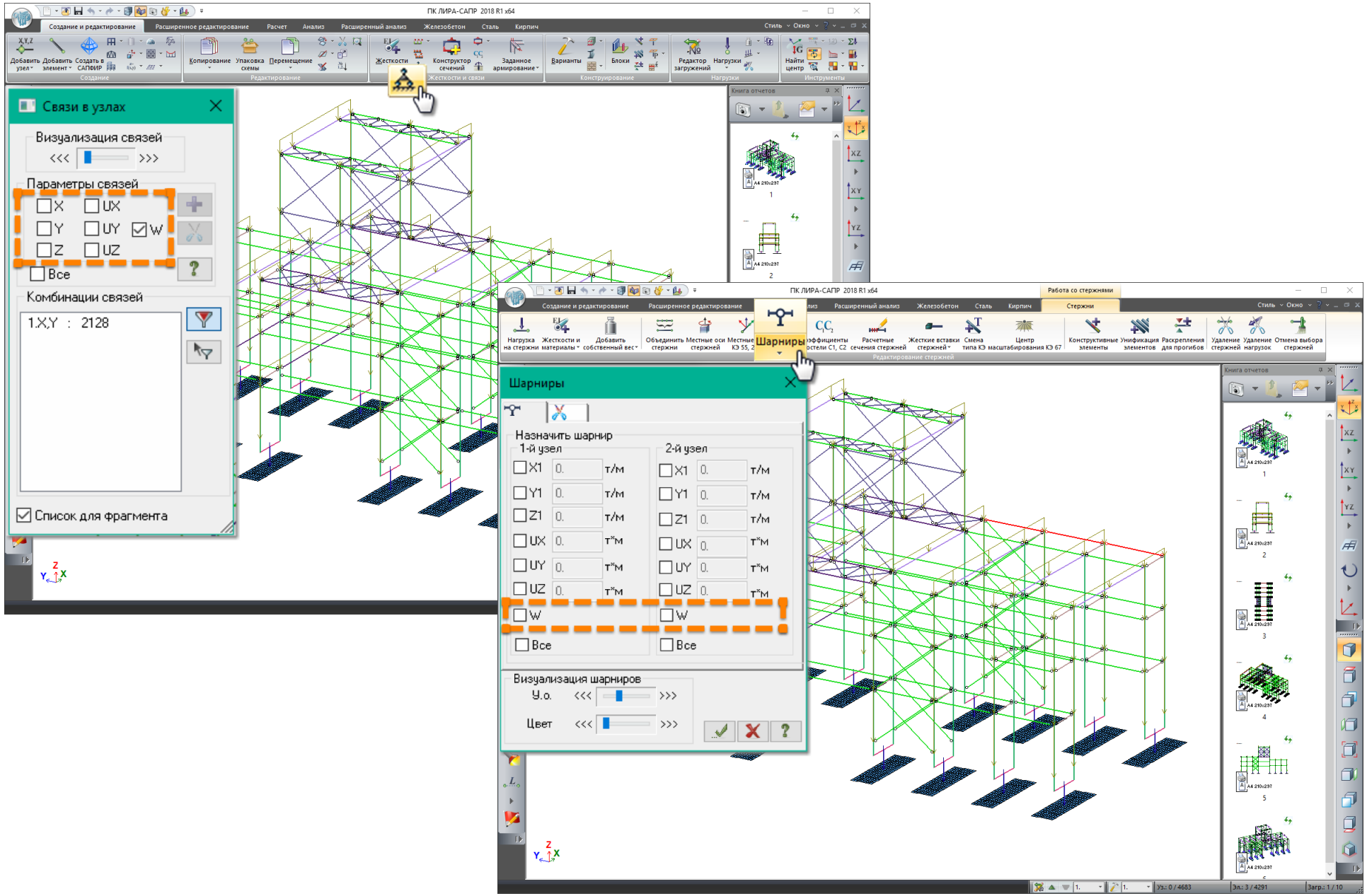
Если поперечная нагрузка не проходит через центр изгиба, то брус кроме деформаций изгиба будет испытывать также и деформации кручения. Наиболее актуально это для балок, имеющих несимметричный профиль, либо имеющих одну ось симметрии, не совпадающую с осью приложения нагрузки.



Депланация - перемещение точек поперечного сечения некоторого сечения, преобразующее его в кривую поверхность или совокупность плоскостей.



Новый признак системы 6 (X,Y,Z,UX,UY,UZ,W). Узлы расчетной схемы в этом случае имеют 7 степеней свободы: 3 перемещения (X,Y,Z), 3 поворота (UX,UY,UZ) и новая степень свободы - **депланация (W).**



Изменения в меню **«Связи»** – добавилась новая степень свободы

Изменения в меню **«Шарниры»** – добавилась новая степень свободы

КЭ 7 (библиотека КЭ)

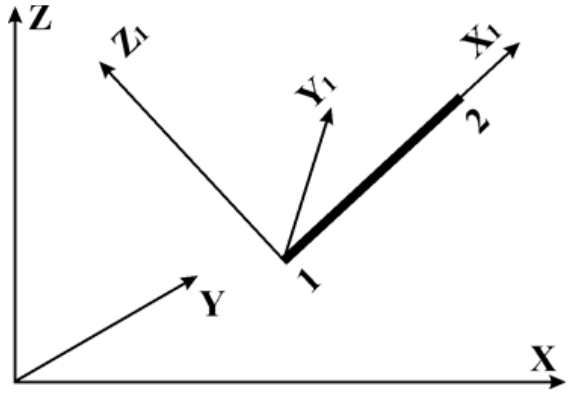
Пространственный стержневой тонкостенный КЭ с учетом депланации сечения

Аналог КЭ 10 с седьмой степенью свободы.

Признак схемы: 1,2,3,4,5,6.
Плоскость расположения: произвольно.
Степени свободы узлов:
X (u) – линейное перемещение, положительное направление которого совпадает с направлением X1;
Y (v) – линейное перемещение, положительное направление которого совпадает с направлением Y1;
Z (w) – линейное перемещение, положительное направление которого совпадает с направлением Z1;
Ux (α) – угол поворота относительно оси X1, положительное направление которого противоположно направлению вращения часовой стрелки, если смотреть с конца оси X1;
Uy (β=dv/dx) – угол поворота относительно оси Y1, положительное направление которого противоположно направлению вращения часовой стрелки, если смотреть с конца оси Y1;
Uz (γ=–dw/dx) – угол поворота относительно оси Z1, положительное направление которого противоположно направлению вращения часовой стрелки, если смотреть с конца оси Z1;
W (x,y,z) – депланация поперечного сечения при кручении.

Примечание. Тип КЭ 7 имеет степени свободы узлов соответствующие признакам схем, в которых он расположен.

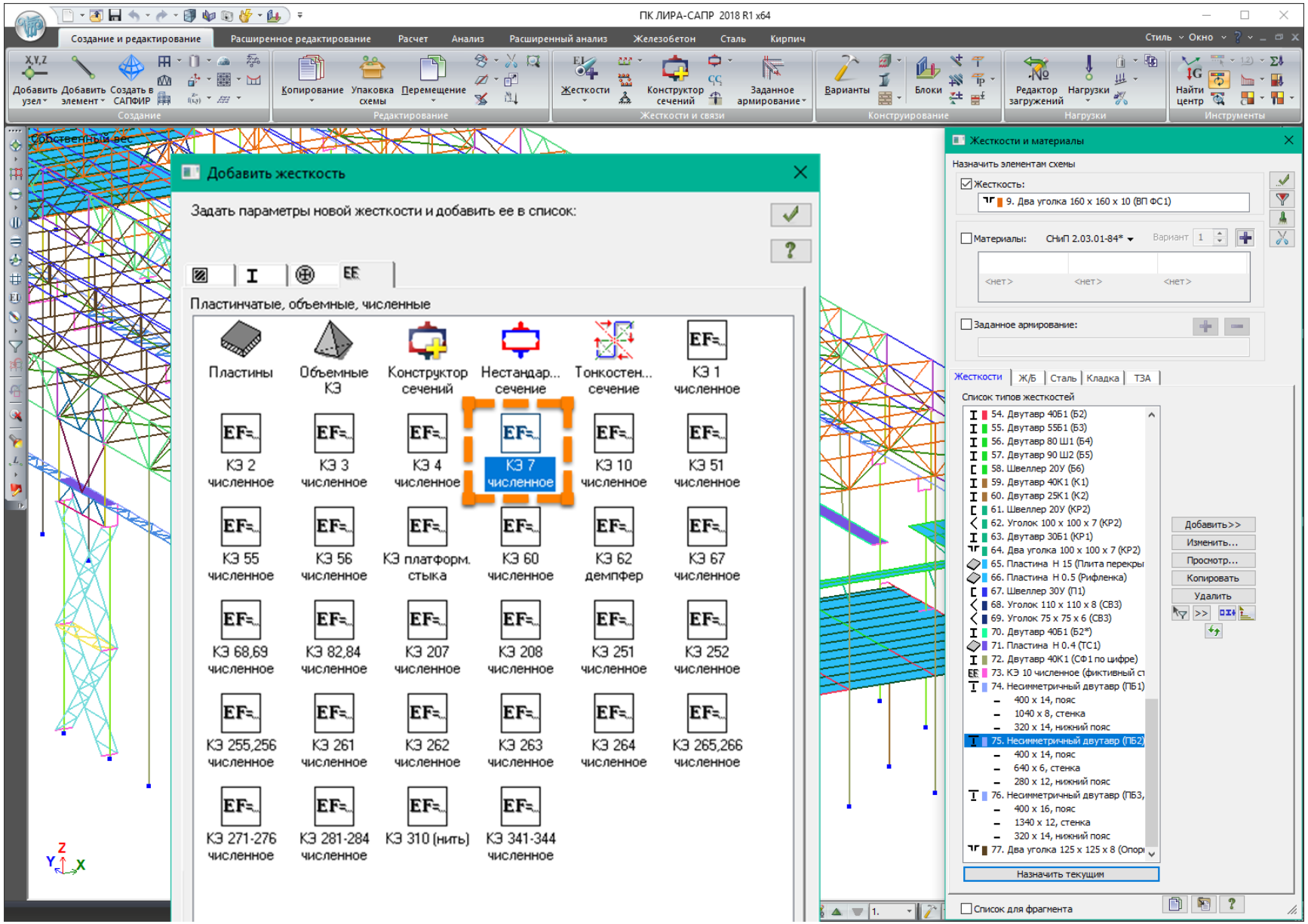
На рисунке представлены схематическое изображение КЭ и последовательность нумерации его узлов.

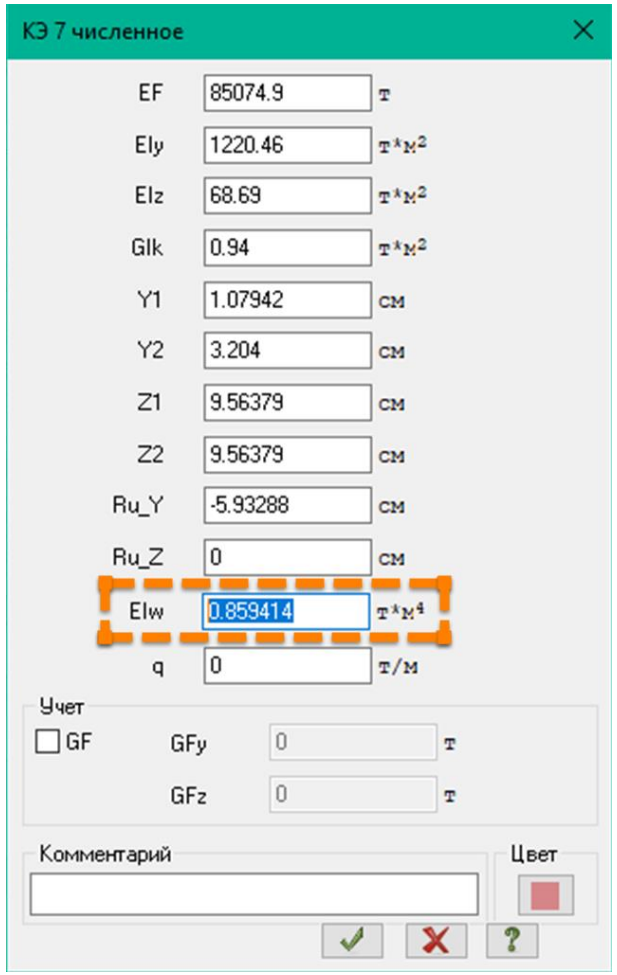


Допускается наличие упругого основания.

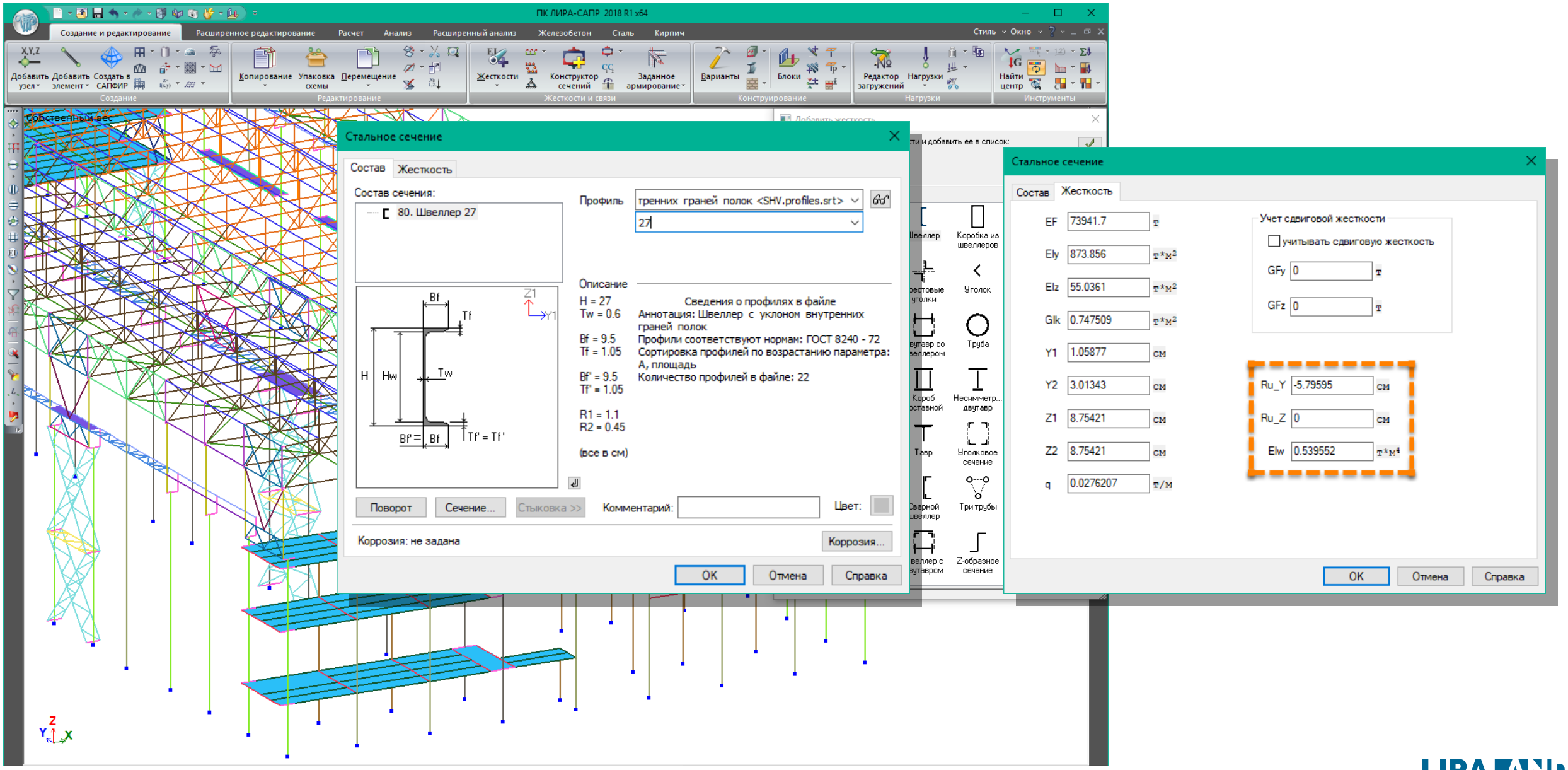
Тип КЭ 7 в схемах с признаком 6 назначается для стержней по умолчанию.

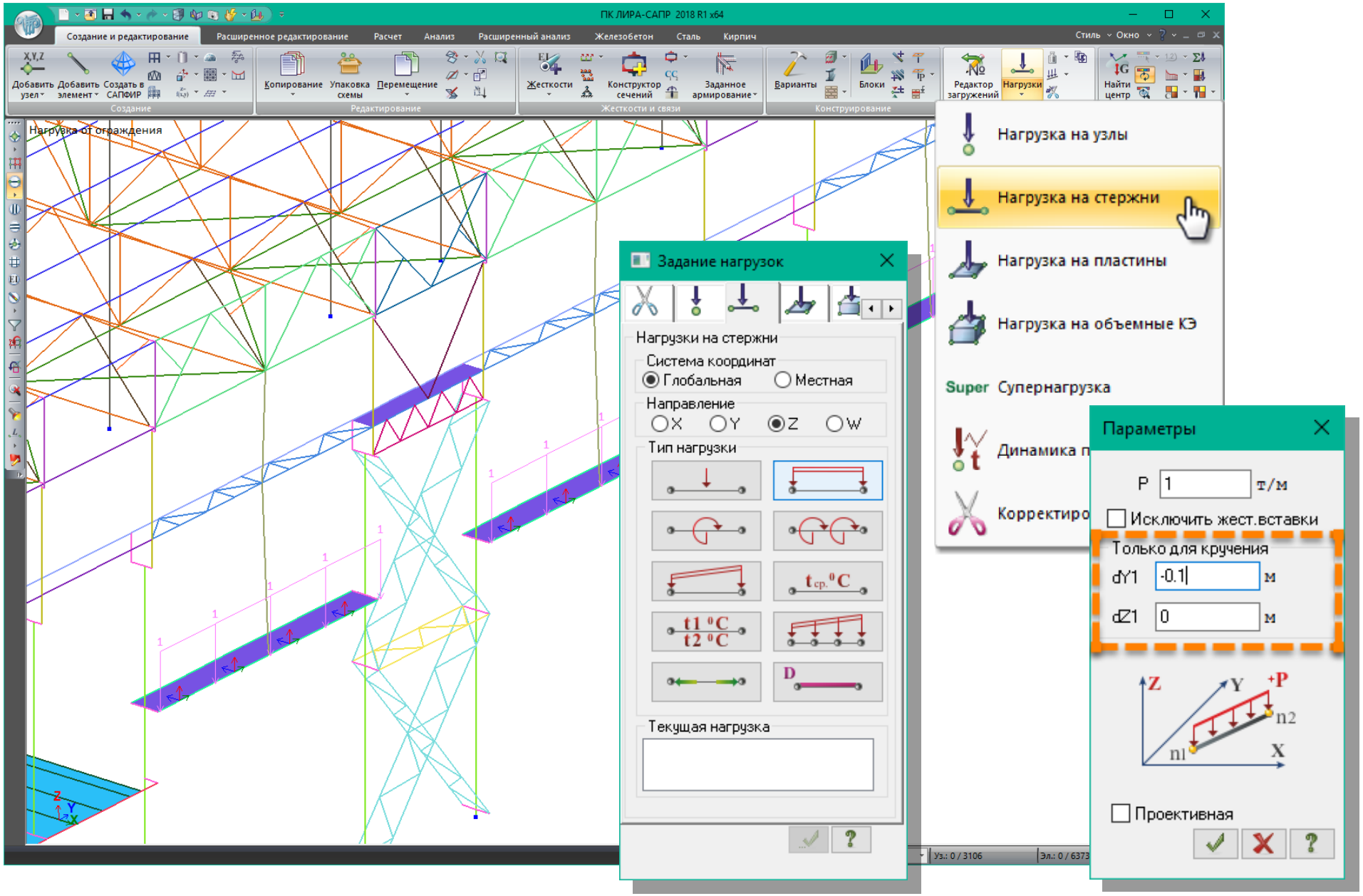
Расчет стержневых систем с учетом эффекта депланации





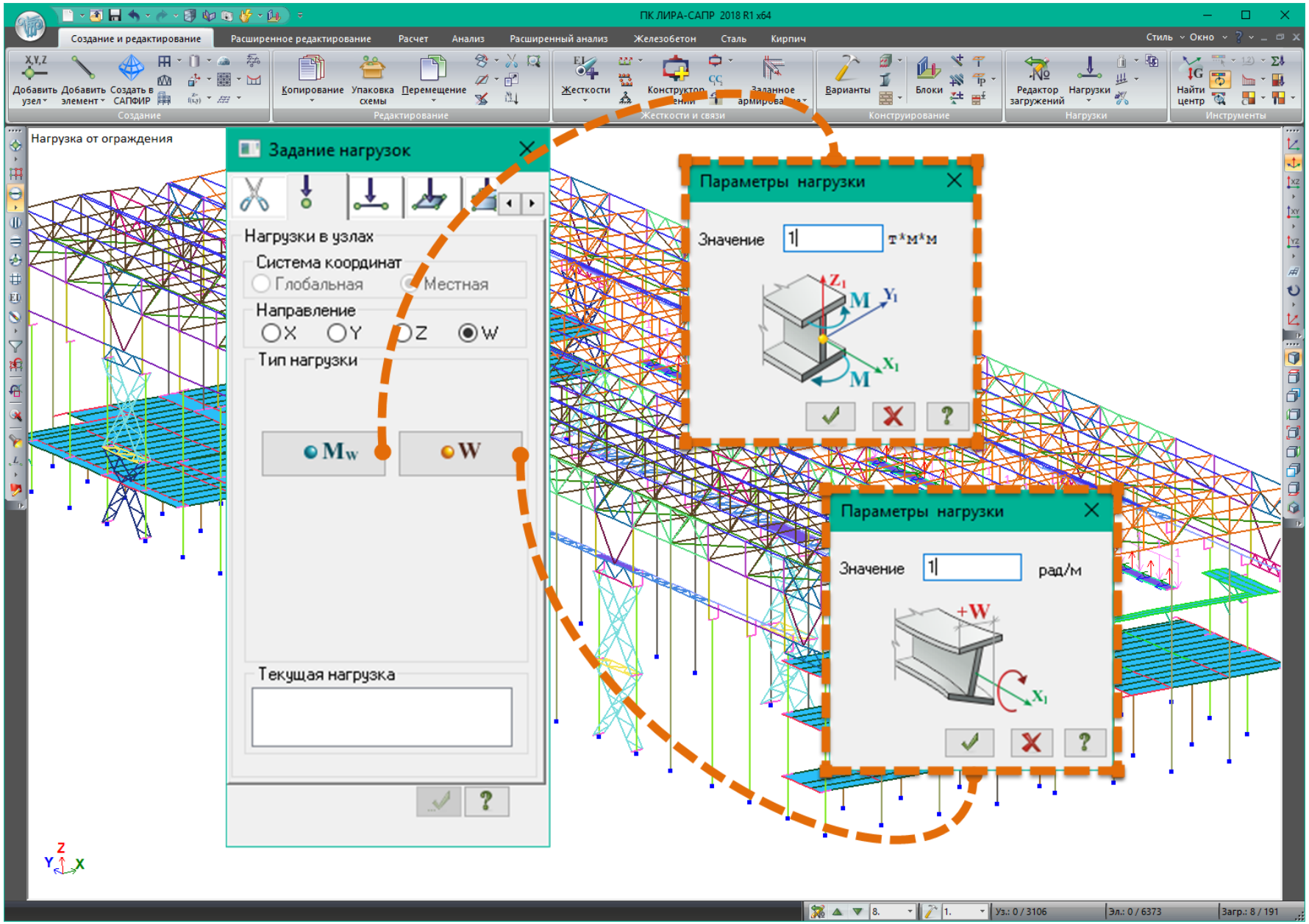
Расчет стержневых систем с учетом эффекта депланации



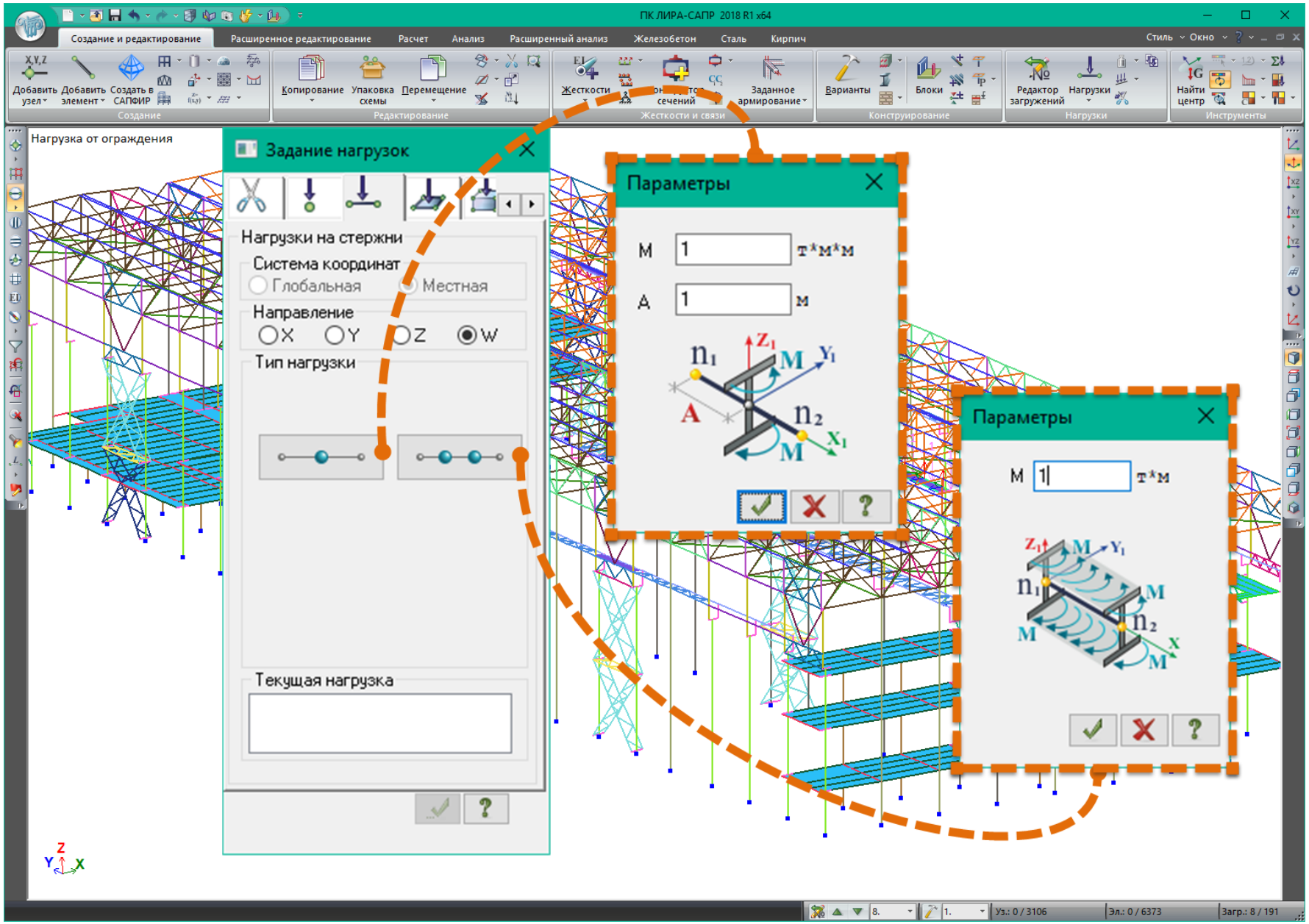


Для сосредоточенной, равномерно распределенной и трапециевидно распределенной нагрузки теперь можно задать эксцентриситет относительно центра тяжести элемента.

LIRA LAND GROUP

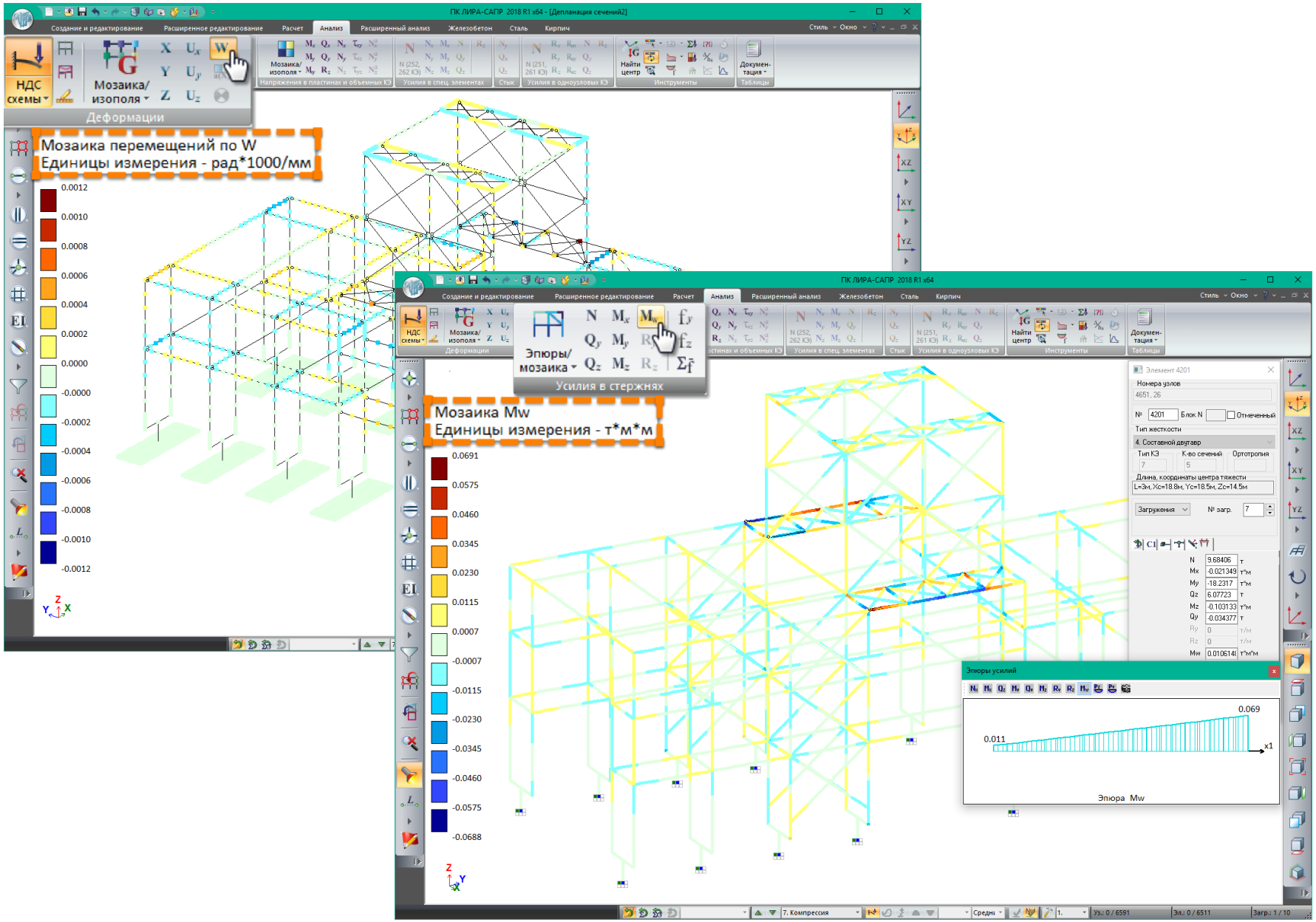


Добавлены новые виды нагрузок: бимомент на узел; заданная депланация в узле; сосредоточенный бимомент по длине стержня; равномерно распределенный бимомент на стержне.



Добавлены новые виды нагрузок: бимомент на узел; заданная депланация в узле; сосредоточенный бимомент по длине стержня; равномерно распределенный бимомент на стержне.

Расчет стержневых систем с учетом эффекта депланации

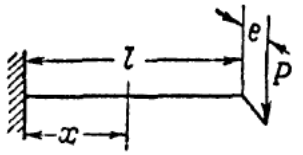
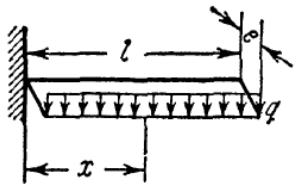
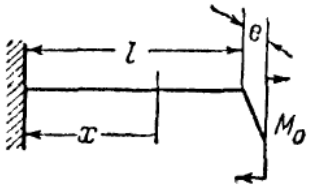
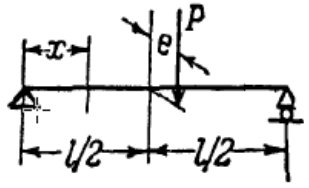
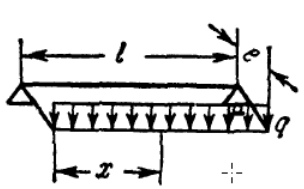
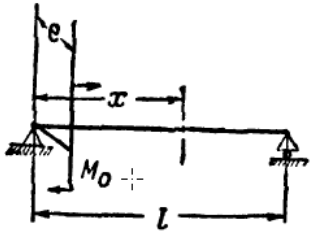
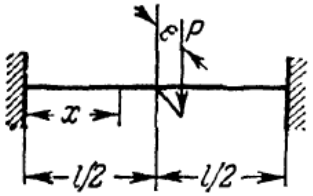
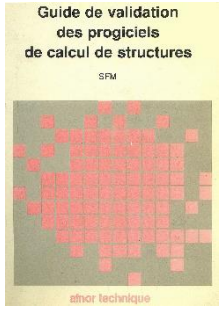
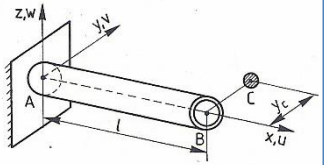
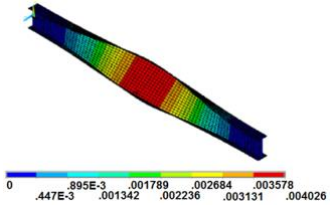


По 7-й степени свободы в результатах можно получить перемещения, формы колебаний, формы потери устойчивости, реакции (нагрузка на фрагмент), массы и инерционные силы.

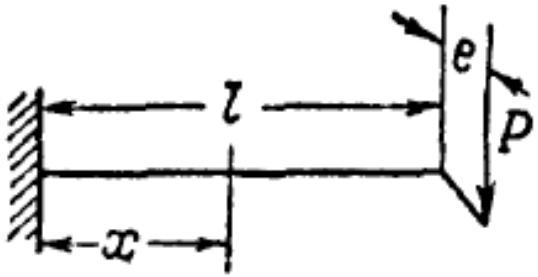
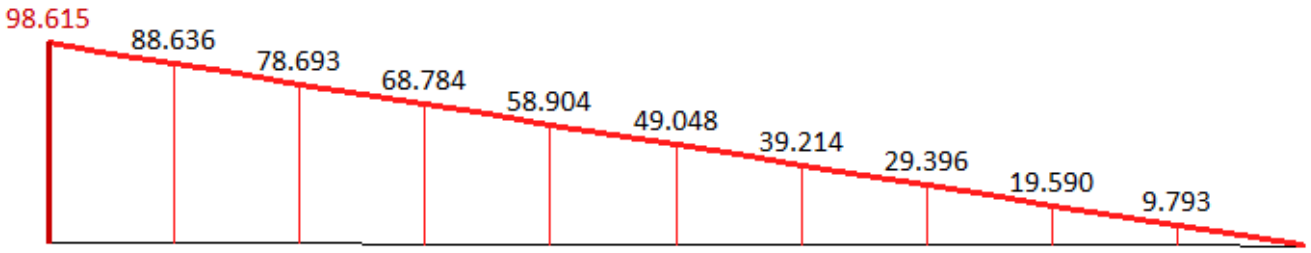
Таблица – **Жесткостные характеристики сечения**

E, т/см^2	G, т/см^2	F, см^2	I_k, см^4	I_ω, см^6	α
2100	800	15.452	39.681	3914452.095	0.001965

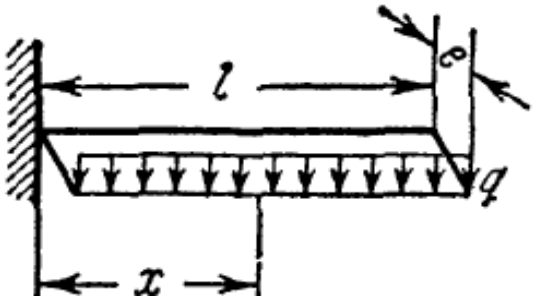
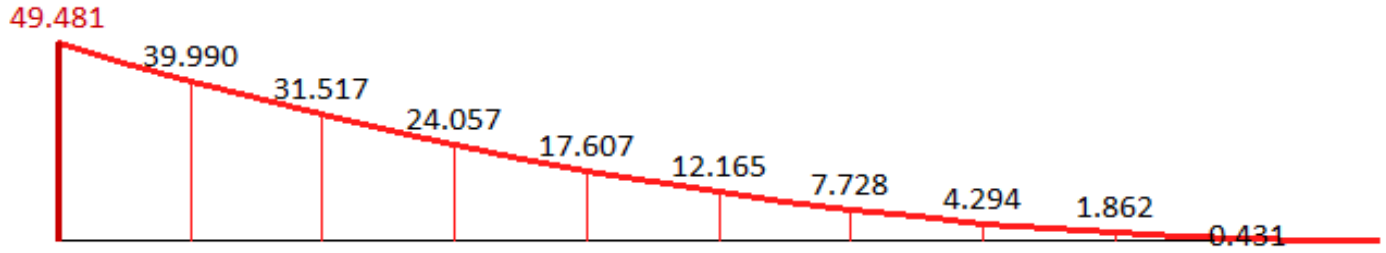
Таблица – **Верификационные тесты**

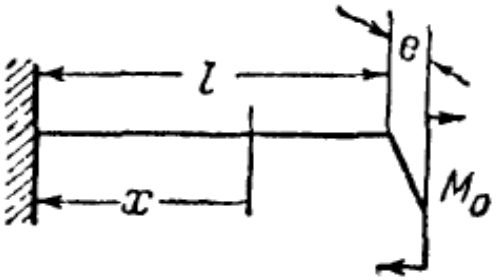
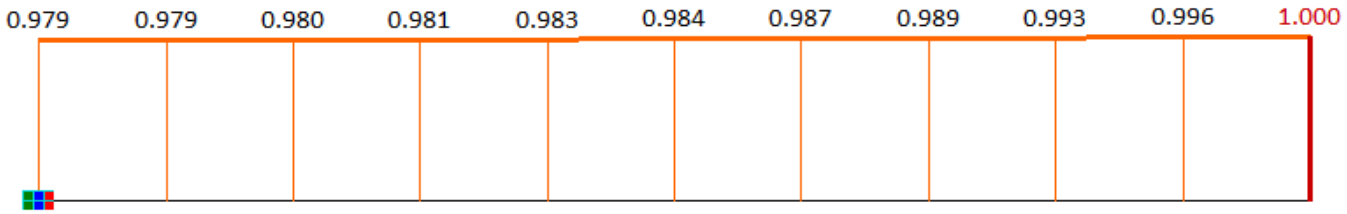
Н.М. Беляев Сопротивление материалов. – М.: «Наука», 1965 г., 856 стр. с илл.

Схема балки и нагрузки	P, т/см	e, см	l, см	x, см
	1	1	100	0
Аналитическое решение	**Bmax, т·см·см**		**ЛИРА-САПР**	
$-\dfrac{Pe \cdot \operatorname{sh} \alpha (l - x)}{\alpha \operatorname{ch} \alpha l}$ max B при $x = 0$	98.732		98.615	
Эпюра бимоментов, т·см·см				**%**
				0.118

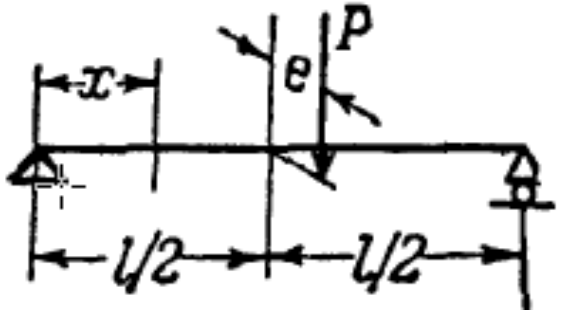
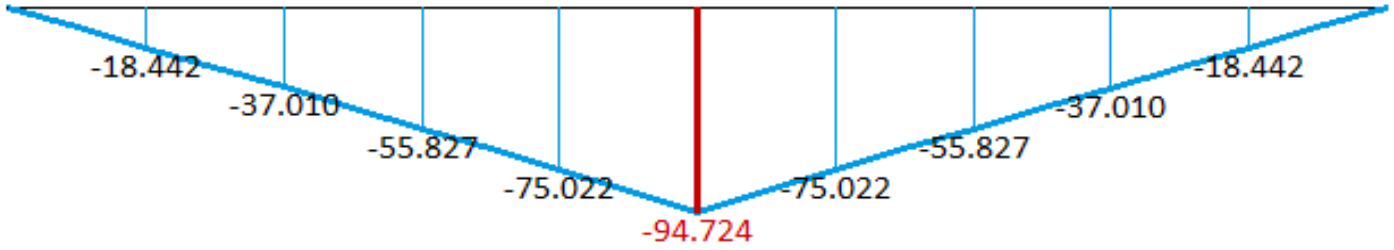
Н.М. Беляев Сопротивление материалов. – М.: «Наука», 1965 г., 856 стр. с илл.

Схема балки и нагрузки	P, т/см	e, см	l, см	x, см
	0.01	1	100	0
Аналитическое решение	**Bmax, т·см·см**		**ЛИРА-САПР**	
$-\frac{qe}{\alpha^2 \operatorname{ch} \alpha l}[\alpha l \operatorname{sh} \alpha (l-x) - \operatorname{ch} \alpha l + \operatorname{ch} \alpha x]$ max B при $x=0$	49.524		49.481	
Эпюра бимоментов, т·см·см				**%**
				0.087

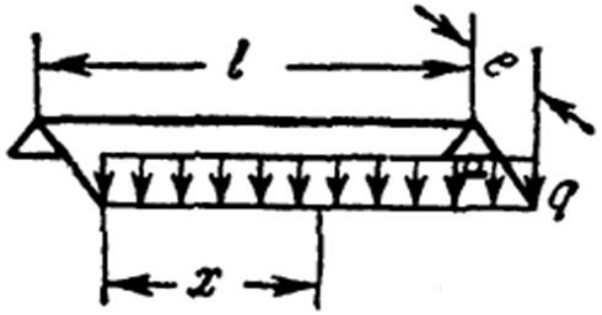
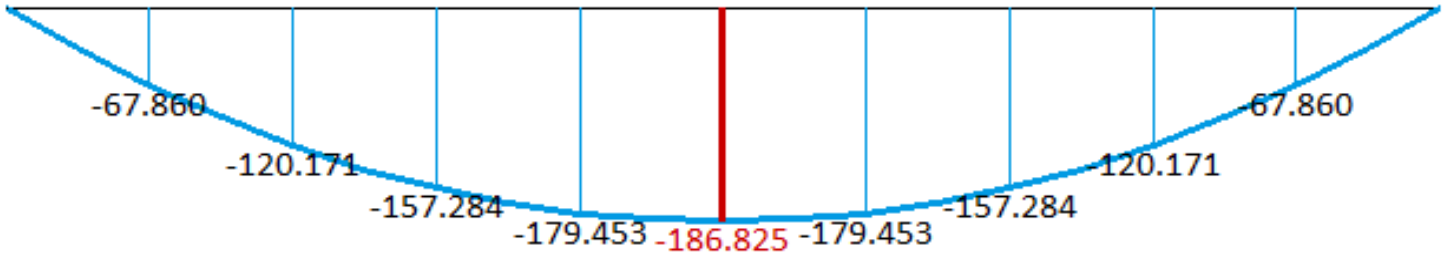
Н.М. Беляев Сопротивление материалов. – М.: «Наука», 1965 г., 856 стр. с илл.

Схема балки и нагрузки	P, т/см	e, см	l, см	x, см
	0.01	0	100	0
Аналитическое решение	**Bmax, т·см·см**		**ЛИРА-САПР**	
$\frac{-B_0 \operatorname{ch} \alpha x}{\operatorname{ch} \alpha l}$ max B при $x = l$	1		1	
Эпюра бимоментов, т·см·см				**%**
				0

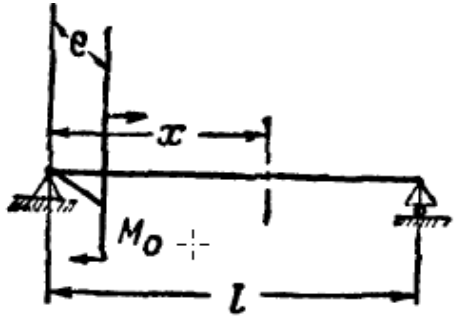
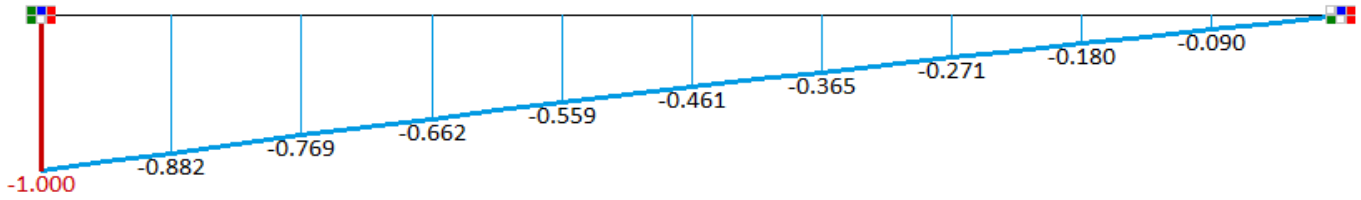
Н.М. Беляев Сопротивление материалов. – М.: «Наука», 1965 г., 856 стр. с илл.

Схема балки и нагрузки	P, т/см	e, см	l, см	x, см
	1	1	400	200
Аналитическое решение	**Bmax, т·см·см**		**ЛИРА-САПР**	
$\frac{Pe \operatorname{sh} \alpha x}{2\alpha \operatorname{ch} \frac{\alpha l}{2}}$ max B при $x = \frac{l}{2}$	95.151		94.724	
Эпюра бимоментов, т·см·см				**%**
				0.449

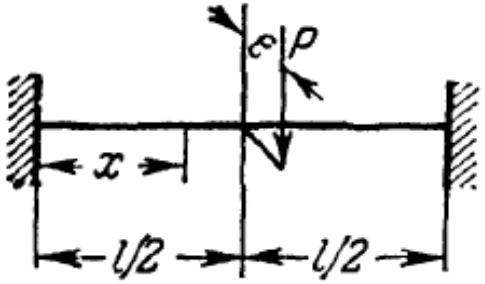
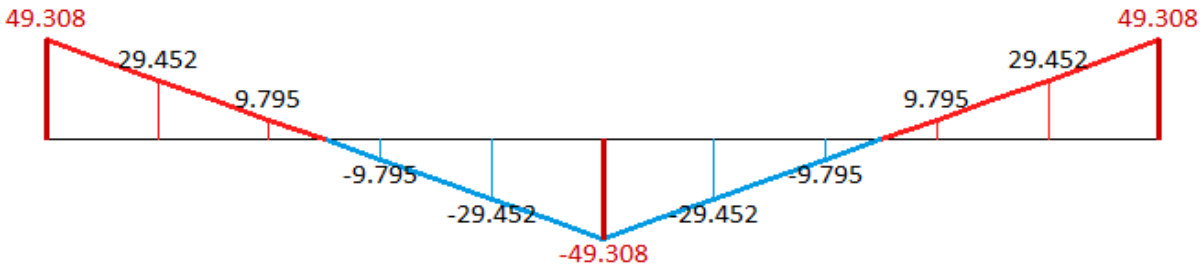
Н.М. Беляев Сопротивление материалов. – М.: «Наука», 1965 г., 856 стр. с илл.

Схема балки и нагрузки	P, т/см	e, см	l, см	x, см
	0.01	1	400	200
Аналитическое решение	**Bmax, т·см·см**		**ЛИРА-САПР**	
$\frac{qe}{\alpha^2}\left[1-\frac{\operatorname{ch}\alpha\left(\frac{l}{2}-x\right)}{\operatorname{ch}\frac{\alpha l}{2}}\right]$ max B при $x=\frac{l}{2}$	187.889		186.825	
Эпюра бимоментов, т·см·см				**%**
				0.566

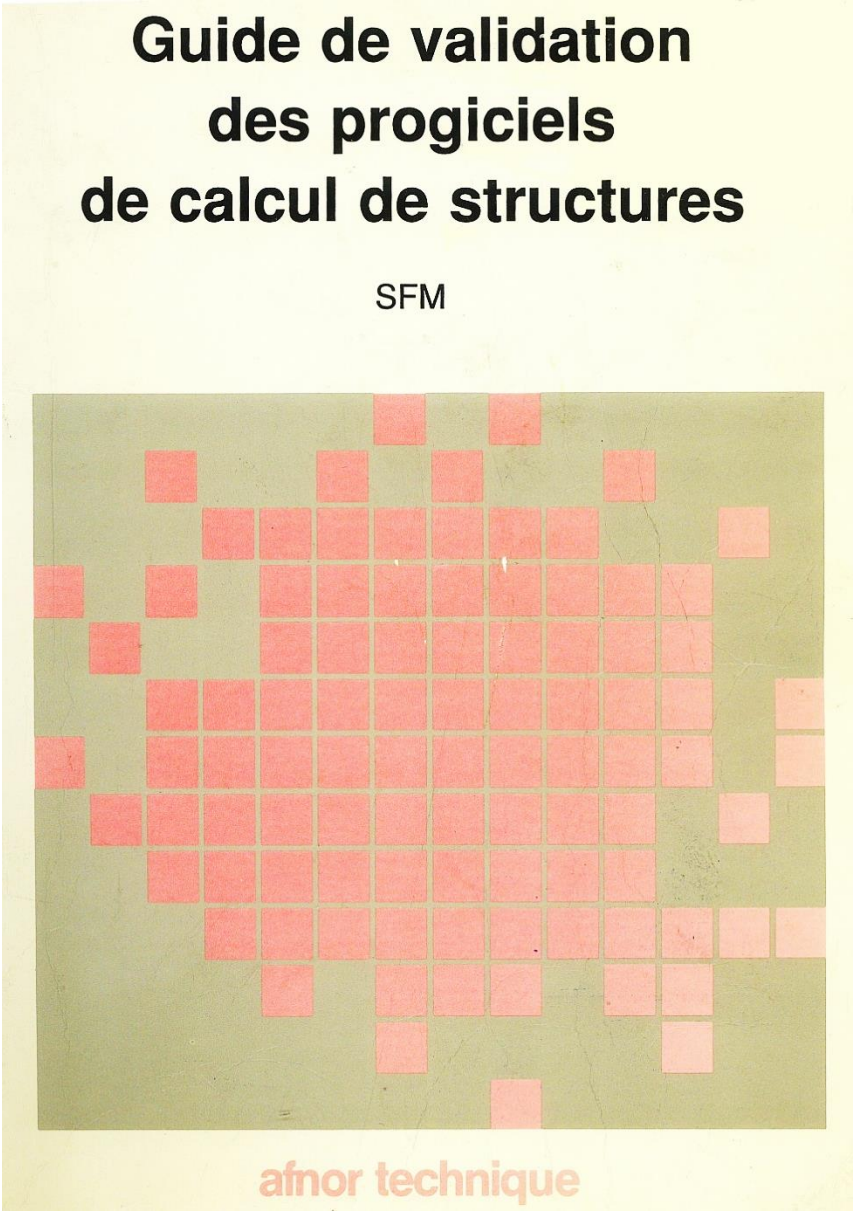
Н.М. Беляев Сопротивление материалов. – М.: «Наука», 1965 г., 856 стр. с илл.

Схема балки и нагрузки	P, т/см	e, см	l, см	x, см
	0.01	0	400	200
Аналитическое решение	**Bmax, т·см·см**		**ЛИРА-САПР**	
$\frac{B_0 \cdot \operatorname{sh} \alpha (l - x)}{\operatorname{sh} \alpha l}$ max B при $x = 0$	1		1	
Эпюра бимоментов, т·см·см				**%**
				0

Н.М. Беляев Сопротивление материалов. – М.: «Наука», 1965 г., 856 стр. с илл.

Схема балки и нагрузки	P, т/см	e, см	l, см	x, см
	1	1	400	200
Аналитическое решение	**Bmax, т·см·см**		**ЛИРА-САПР**	
$\frac{Pe\left[\operatorname{ch}\alpha x - \operatorname{ch}\alpha\left(\frac{l}{2} - x\right)\right]}{2\alpha \cdot \operatorname{sh}\frac{\alpha l}{2}}$ max B при $x = 0$ и $x = \frac{l}{2}$	49.366		49.308	
Эпюра бимоментов, т·см·см				**%**
				0.118

Н.М. Беляев Сопротивление материалов. – М.: «Наука», 1965 г., 856 стр. с илл.



SDLL 15/89 **POUTRE ÉLANCÉE ENCASTRÉE–LIBRE AVEC MASSE OU INERTIE EXCENTRÉE**

DONNÉES DE TEST

Type d'analyse : Analyse modale (problème tridimensionnel).

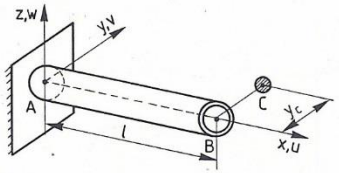
Type du test : Élémentaire.

Référence(s) : Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de structures, Groupe de travail Dynamique, Paris, 1989.

Fonctions testées : Fréquences propres – Poutre droite élancée – Couplage flexion-torsion – Flexion dans le plan – Flexion transverse – Masse ponctuelle.

DONNÉES DU PROBLÈME

Géométrie



Longueur de la poutre : $AB = l = 10$ m
Masse ponctuelle : $m_C = 1000$ kg

Section tubulaire :

Diamètre extérieur : $d_e = 0.350$ m
Diamètre intérieur : $d_i = 0.320$ m
Aire : $A = 1.57865 \times 10^{-2}$ m^2
Inertie : $I_y = I_z = 2.21899 \times 10^{-4}$ m^4
Inertie polaire : $I_p = 4.43798 \times 10^{-4}$ m^4

Coordonnées des points (en mètre) :

	A	B	C
x	0	10	10
y	0	0	y_C
z	0	0	0

y_C peut avoir deux valeurs :
- soit $y_C = 0.$ m (cas 1);
- soit $y_C = 1.$ m (cas 2).

Propriétés des matériaux

$$E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa} \qquad \rho = 7800 \text{ kg/m}^3$$

Conditions aux limites

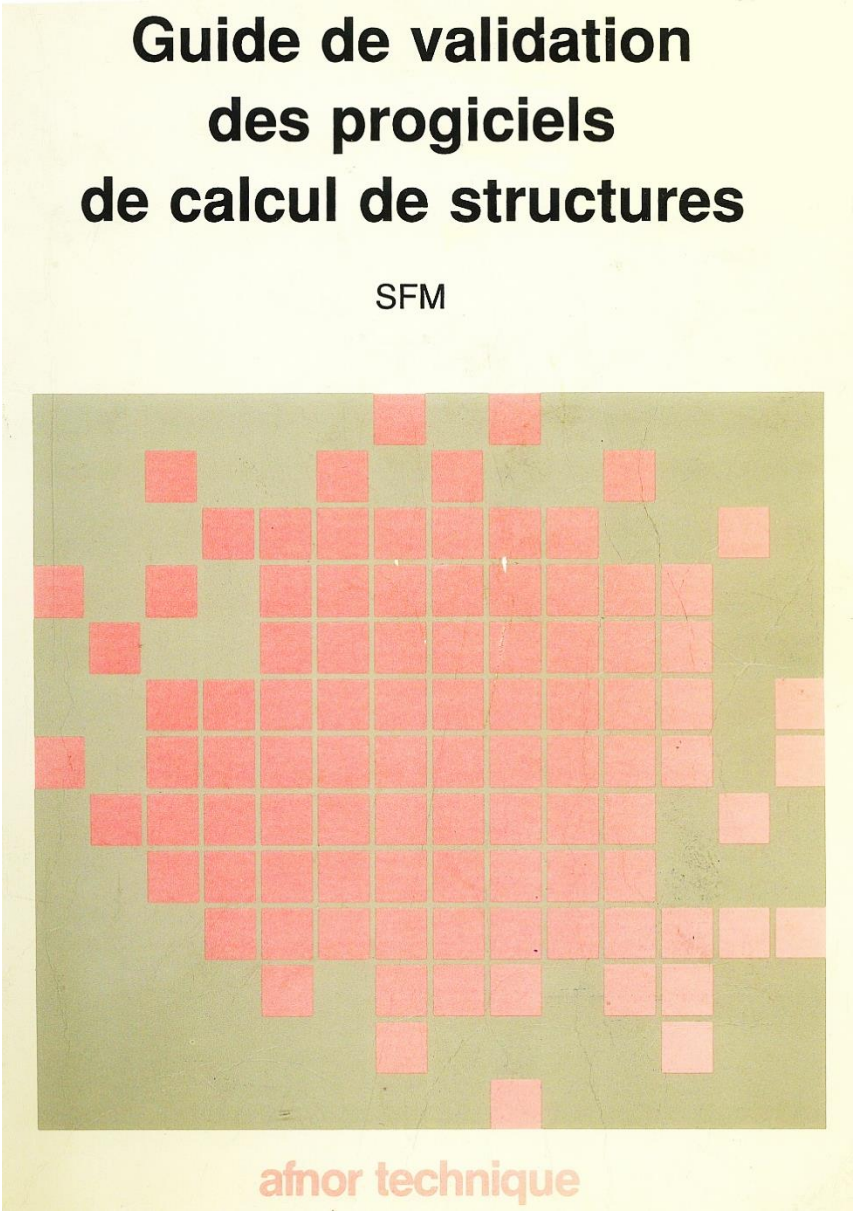
Point A : encastré ($u = v = w = 0$; $\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$)

Chargement

Aucun pour l'analyse modale.

– 212 –

Association Française de Normalisation (**AFNOR**, en: French Standardization Association) is the French national organization for standardization and its International Organization for Standardization member body.



RÉSULTATS DE RÉFÉRENCE

Méthode de calcul utilisée pour obtenir la solution de référence

Le problème avec masse non excentrée conduit à des modes découplés :
– traction-compression (effet de la masse seule),
– torsion (effet de l'inertie autour de la fibre neutre),
– flexions dans les plans x, y et x, z (effet de la masse). Pour le premier mode, la méthode de Rayleigh donne la formule approchée :

$$f_1 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{3EI_z}{l^3(m_C + 0.24M)}}$$

avec M, masse totale de la poutre.

Lorsque la masse est excentrée, les modes de flexion (x, z) et de torsion sont couplés, ainsi que les modes de flexion (x, y) et de traction.

Les différentes fréquences propres sont déterminées avec un modèle par éléments finis de poutre d'Euler (poutre élancée).

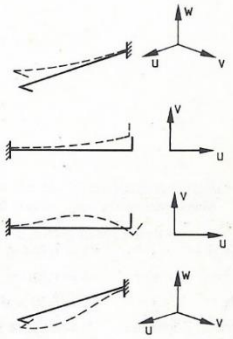
Incertitude sur la solution de référence :

- Problème 1 : f_1 solution analytique, autres modes ±1%.
- Problème 2 : ±1%.

Valeurs de référence

Excentricité	Ordre du mode propre	Fréquence (Hz)	Mode déplacement relatif
$y_C = 0$ (cas 1)	Flexion 1,2	1.65	
	Flexion 3,4	16.07	
	Flexion 5,6	50.02	
	Traction 1	76.47	
	Torsion 1	80.47	
	Flexion 7,8	103.20	
$y_C = 1.$ (cas 2)	$f_z + t_0$ 1	1.636	$\frac{w_C}{w_B} = 1.030$
	$f_y + t_r$ 2	1.642	$\frac{u_C}{u_B} = -0.148$
	$f_y + t_r$ 3	13.46	$\frac{u_C}{u_B} = -2.882$
	$f_z + t_0$ 4	13.59	$\frac{w_C}{w_B} = -0.922$
	$f_z + t_0$ 5	28.90	
	$f_y + t_r$ 6	31.96	
	$f_z + t_0$ 7	61.61	
	$f_y + t_r$ 8	63.93	

$f_z + t_0$ = flexion x, z + torsion.
$f_y + t_r$ = flexion x, y + traction



COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS

Dans la modélisation d'un problème réel, il importe d'inclure l'effet de l'inertie de rotation de la masse autour des 3 axes au point C (centre de gravité), notamment pour les modes élevés.

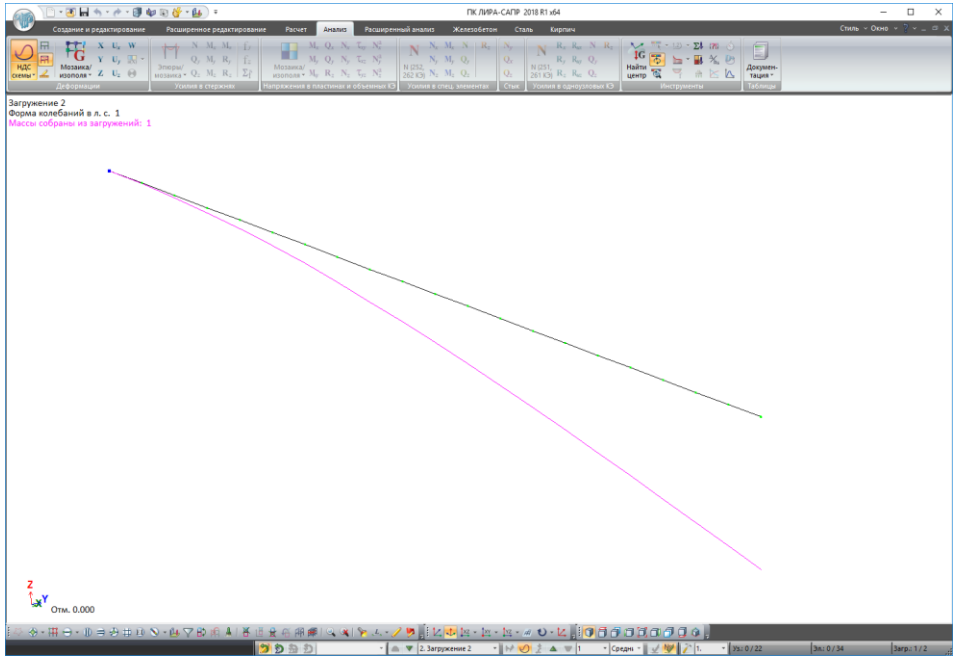
La modélisation de la masse excentrée peut se faire soit en représentant un élément indéformable entre les points B et C, soit en condensant la masse excentrée au point B, ce qui conduit à la matrice élémentaire :

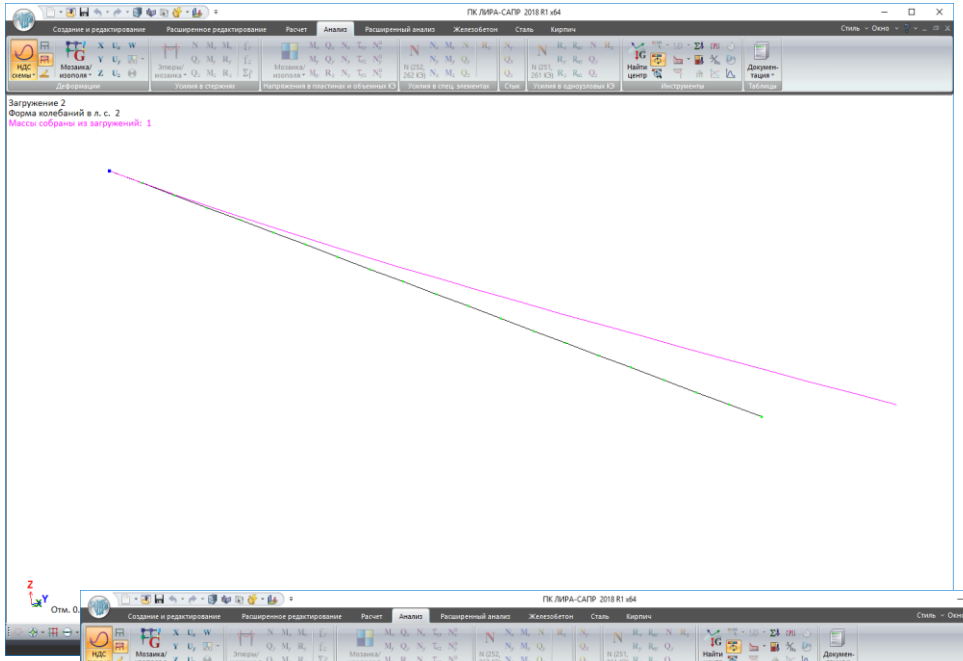
$$\left[\begin{array}{ccc|c} m & & & \\ & m & & \mathrm{T} \\ & & m & \\ \hline & \mathrm{T}^T & & \mathrm{T}_B \end{array}\right] \text{ avec } \mathrm{T} = m\begin{bmatrix} 0 & -z_G & y_G \\ z_G & 0 & -x_G \\ -y_G & x_G & 0 \end{bmatrix}, \text{ opérateur de translation en petit déplacement}$$

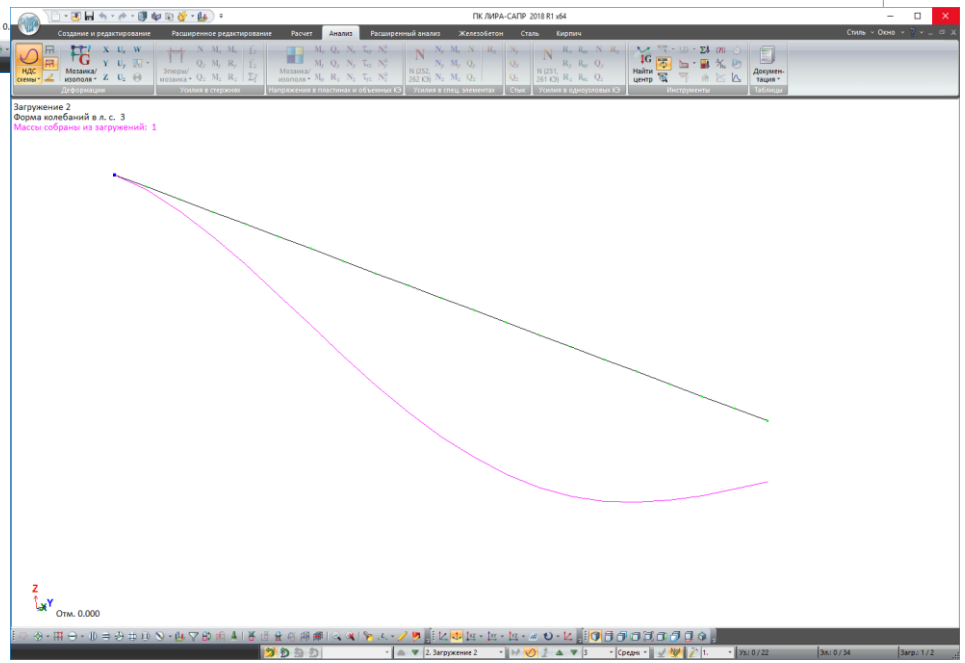
T_B = tenseur d'inertie en C + tenseur d'Huyghens calculé sur le vecteur $\overrightarrow{BC}$ et x_G, y_G, z_G, les composantes du vecteur $\overrightarrow{BC}$.

– 213 –

Association Française de Normalisation (**AFNOR**, en: French Standardization Association) is the French national organization for standardization and its International Organization for Standardization member body.







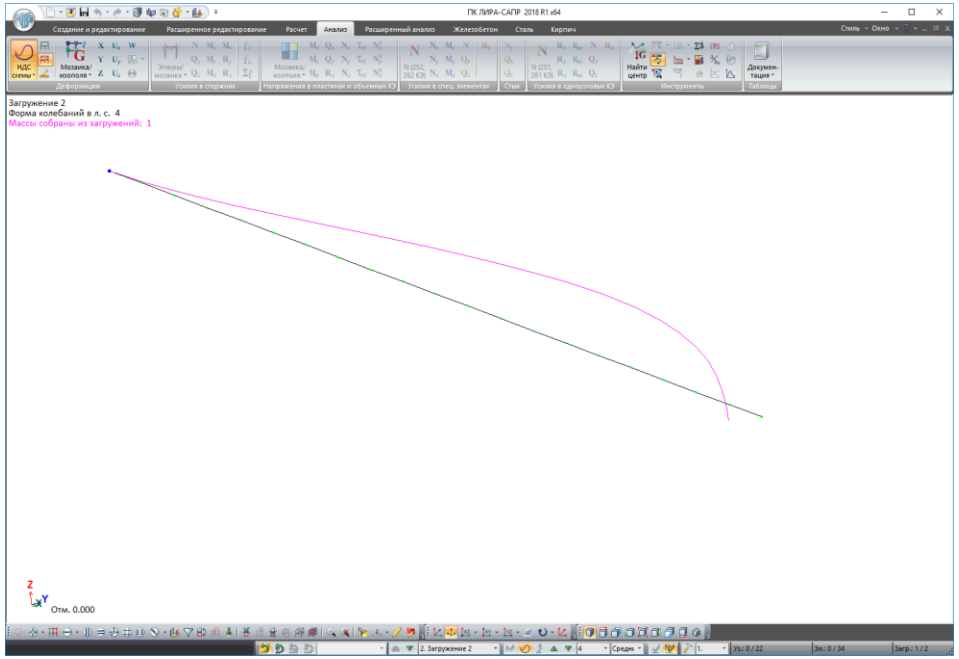
Периоды колебаний (01)

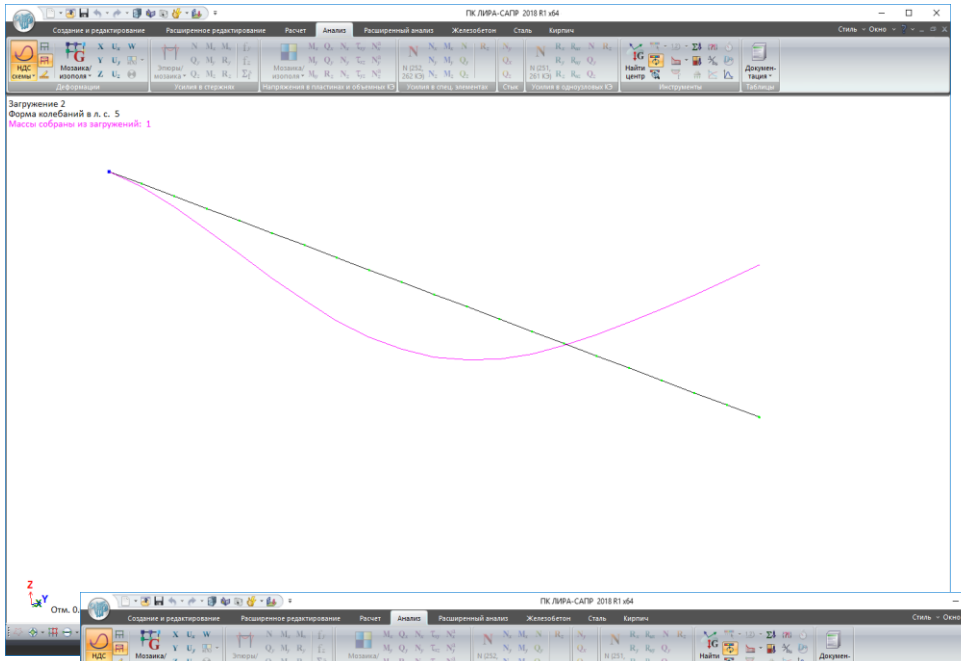
Передать | Сохранить | Сверстать | Предыдущий | Следующий | Копировать | Фильтр | На схему | Обновить

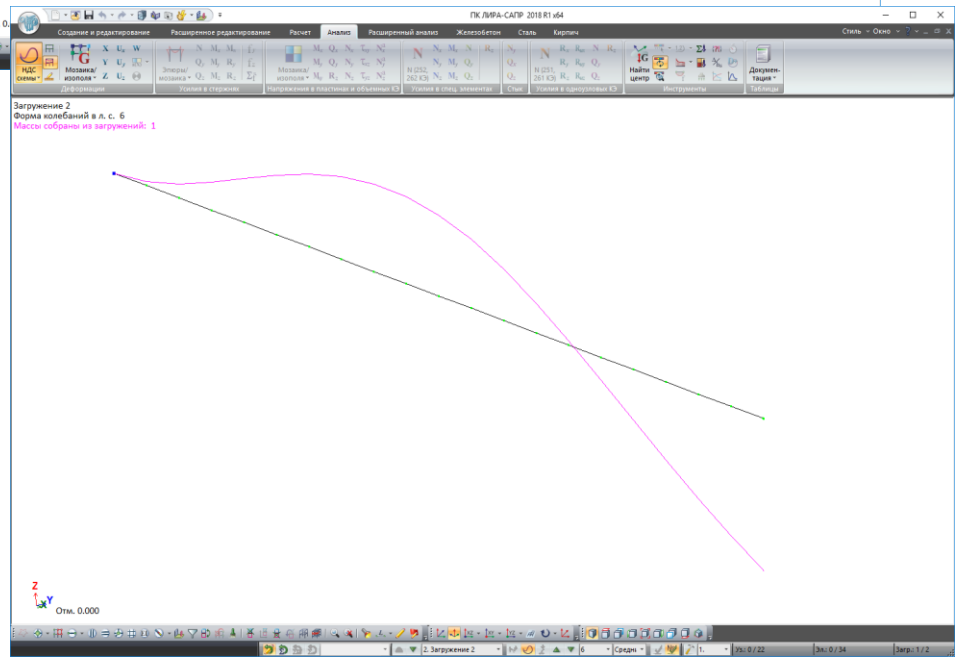
З...	N п/п	Собств. з...	Рад/с.	Гц.	Периоды	Коэф. ра...	Масса	Сумма м...
2 - (мод. 100)								
2	1	0.097223	10.285585	1.637832	0.610563	-1.104136	21.558253	21.558253
2	2	0.096101	10.405684	1.656956	0.603516	1.133327	21.680181	43.238434
2	3	0.011838	84.476236	13.451630	0.074340	-0.559283	3.045825	46.284260
2	4	0.009927	100.735090	16.040619	0.062342	0.715630	3.859666	50.143926
2	5	0.006067	164.833954	26.247445	0.038099	-1.206565	0.454232	50.598158
2	6	0.005755	173.754684	27.667943	0.036143	1.518887	0.883748	51.481906
2	7	0.003210	311.529000	49.606529	0.020159	0.410490	1.235532	52.717438
2	8	0.002703	369.955764	58.910154	0.016975	-0.431072	0.973097	53.690535
2	9	0.002081	480.579301	76.525366	0.013068	1.136270	24.667808	78.358343
2	10	0.001572	635.942520	101.264732	0.009875	0.305307	0.596757	78.955100
2	11	0.001421	703.631888	112.043294	0.008925	0.377085	0.524038	79.479138

Модальный анализ

Association Française de Normalisation (**AFNOR**, en: French Standardization Association) is the French national organization for standardization and its International Organization for Standardization member body.







Периоды колебаний (01)

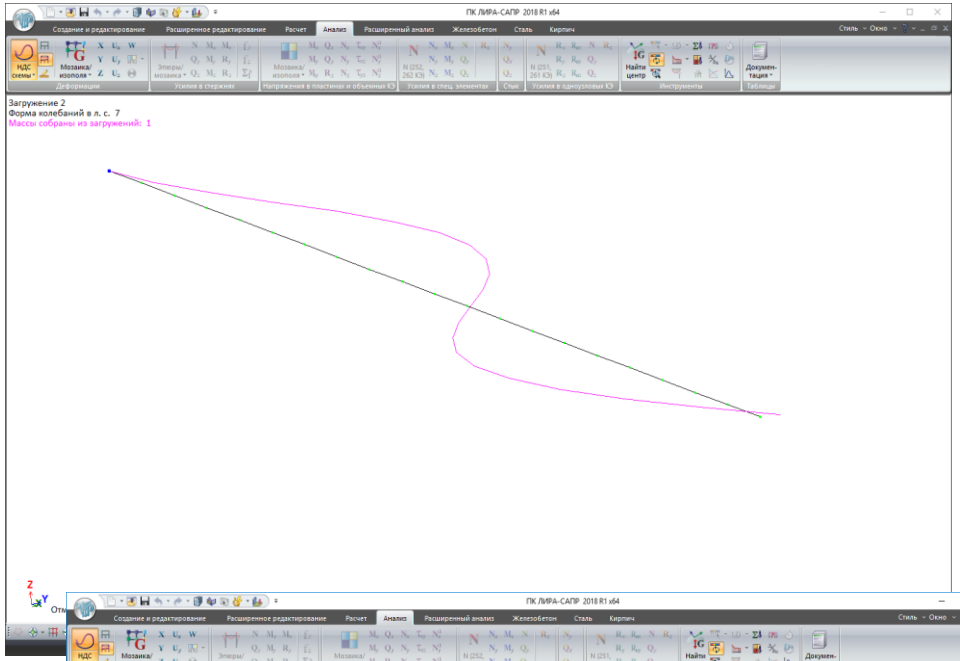
Передать | Сохранить | Сверстать | Предыдущий | Следующий | Копировать | Фильтр | На схему | Обновить

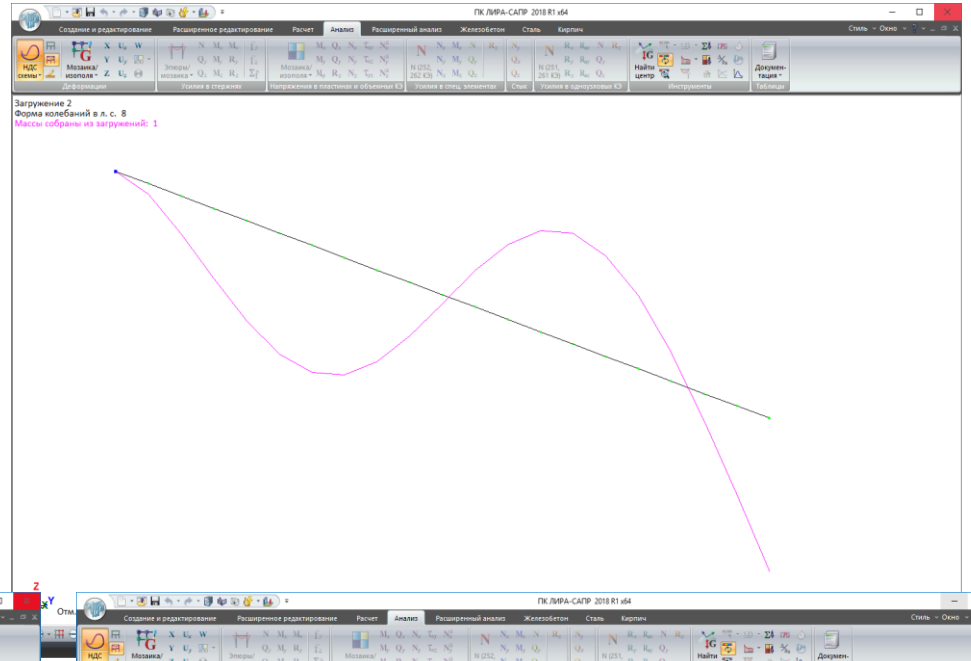
З...	N п/п	Собств. з...	Рад/с.	Гц.	Периоды	Коэф. ра...	Масса	Сумма м...
2 - (мод. 100)								
2	1	0.097223	10.285585	1.637832	0.610563	-1.104136	21.558253	21.558253
2	2	0.096101	10.405684	1.656956	0.603516	1.133327	21.680181	43.238434
2	3	0.011838	84.476236	13.451630	0.074340	-0.559283	3.045825	46.284260
2	4	0.009927	100.735090	16.040619	0.062342	0.715630	3.859666	50.143926
2	5	0.006067	164.833954	26.247445	0.038099	-1.206565	0.454232	50.598158
2	6	0.005755	173.754684	27.667943	0.036143	1.518887	0.883748	51.481906
2	7	0.003210	311.529000	49.606529	0.020159	0.410490	1.235532	52.717438
2	8	0.002703	369.955764	58.910154	0.016975	-0.431072	0.973097	53.690535
2	9	0.002081	480.579301	76.525366	0.013068	1.136270	24.667808	78.358343
2	10	0.001572	635.942520	101.264732	0.009875	0.305307	0.596757	78.955100
2	11	0.001421	703.631888	112.043294	0.008925	0.377085	0.524038	79.479138

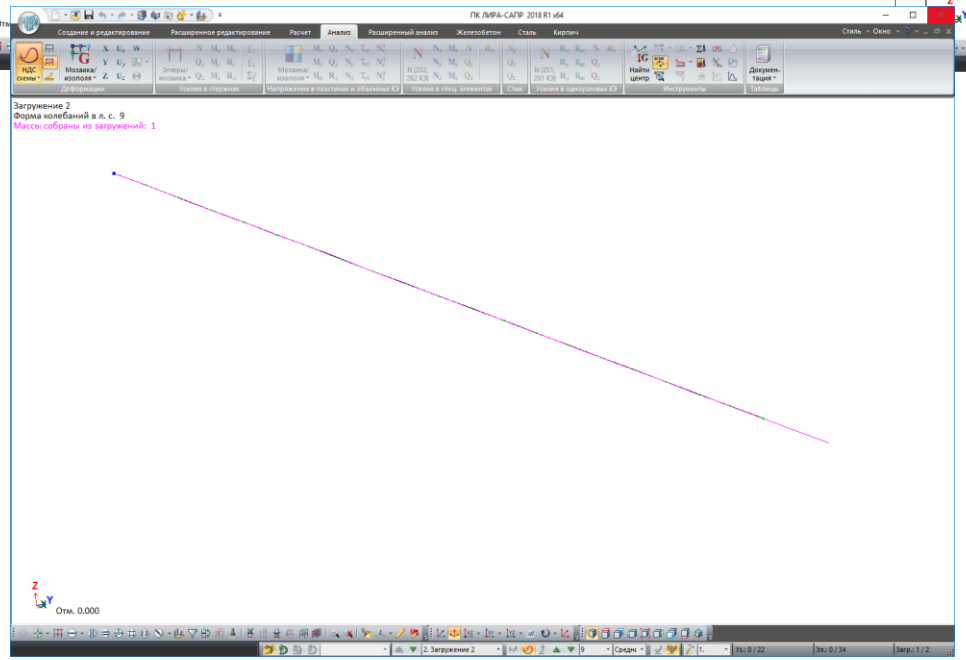
Модальный анализ

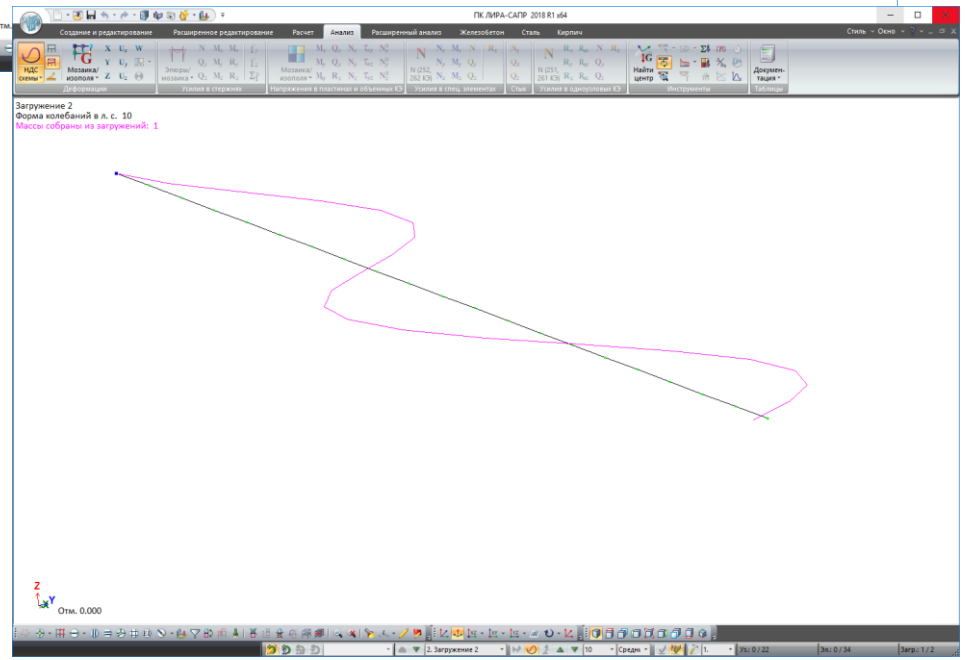
Association Française de Normalisation (**AFNOR**, en: French Standardization Association) is the French national organization for standardization and its International Organization for Standardization member body.

Верификационные тесты









Association Française de Normalisation (**AFNOR**, en: French Standardization Association) is the French national organization for standardization and its International Organization for Standardization member body.

Расчет металлических конструкций

Москва, 2018

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ СП 16.13330.2017

СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Актуализированная редакция

СНиП II-23-81*

Издание официальное

РОССТАНДАРТ
ФГУП
«СТАНДАРТИНФОРМ»
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ФОНД СТАНДАРТОВ

Дата регистрации
30 мая 2017 г.

Москва 2017

МИНИСТЕРСТВО
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО
ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(МИНСТРОЙ РОССИИ)

ПРИКАЗ

от "27" февраля 2017 г. № 126/пр

Москва

Об утверждении СП 16.13330.2017
«СНиП II-23-81* Стальные конструкции»

В соответствии с Правилами разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 1 июля 2016 г. № 624, подпунктом 5.2.9 пункта 5 Положения о Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2013 г. № 1038, пунктом 113 Плана разработки и утверждения сводов правил и актуализации ранее утвержденных строительных норм и правил, сводов правил на 2016 г. и плановый период до 2017 г., утвержденного приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 марта 2016 г. № 128/пр, **п р и к а з ы в а ю:**

1. Утвердить и ввести в действие через 6 месяцев со дня издания настоящего приказа прилагаемый СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции».
2. С момента введения в действие СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции» признать не подлежащим применению СП 16.13330.2011 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции», утвержденный приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 791, за исключением пунктов СП 16.13330.2011 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции», включенных в Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», утвержденный постановлением Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2014 г. № 1521 (далее - Перечень), до внесения соответствующих изменений в Перечень.
3. Департаменту градостроительной деятельности и архитектуры в течение 15 дней со дня издания приказа направить утвержденный СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции» на регистрацию в национальный орган Российской Федерации по стандартизации.
4. Департаменту градостроительной деятельности и архитектуры обеспечить опубликование на официальном сайте Минстроя России в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» текста утвержденного СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции» в электронно-цифровой форме в течение 10 дней со дня регистрации свода правил национальным органом Российской Федерации по стандартизации.
5. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на заместителя Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Х.Д. Мавлиярова.

И.о. Министра Л.О. Ставицкий

8.2 Расчет на прочность изгибаемых элементов сплошного сечения

8.2.1 Расчёт на прочность балок 1-го класса следует выполнять по формулам:

при действии момента в одной из главных плоскостей

$$\frac{M}{W_{n,min}R_y\gamma_c} \leq 1; \qquad (41)$$

при действии в сечении поперечной силы

$$\frac{QS}{It_wR_s\gamma_c} \leq 1; \qquad (42)$$

при действии моментов в двух главных плоскостях (и наличии бимомента)

$$\frac{M_x}{I_{xn}R_y\gamma_c}y \pm \frac{M_y}{I_{yn}R_y\gamma_c}x \pm \frac{B\cdot\omega}{I_{\omega n}R_y\gamma_c} \leq 1, \qquad (43)$$

где x и y – расстояния от главных осей до рассматриваемой точки сечения, а

ω – секториальная координата этой точки;

при одновременном действии в стенке балки момента и поперечной силы

$$\frac{0{,}87}{R_y\gamma_c}\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1, \quad \tau_{xy} / R_s\gamma_c \leq 1, \qquad (44)$$

где $\sigma_x = M_x y / I_{xn}$ – нормальное напряжение в срединной плоскости стенки, параллельное продольной оси балки;

σ_y – то же, перпендикулярное к продольной оси балки, в том числе σ_{loc}, определяемое по формуле (47);

$\tau_{xy} = QS / (It_w)$ – касательное напряжение в стенке.

Напряжения σ_x и σ_y, принимаемые в формуле (44) со своими знаками, а также τ_{xy} следует определять в одной и той же точке стенки балки.

При проверке прочности на действие поперечной силы на опоре для разрезных балок формулу (42) следует использовать без учета работы поясов.

В балках, рассчитываемых по формуле (43), значения напряжений в стенке балки должны быть проверены по формуле (44) в двух главных плоскостях изгиба.

При ослаблении стенки отверстиями для болтов левую часть формулы (42), а

8.4 Расчет на общую устойчивость изгибаемых элементов сплошного сечения

8.4.1 Расчёт на устойчивость двутавровых балок 1-го класса, а также бистальных балок 2-го класса, удовлетворяющих требованиям 8.2.1 и 8.2.8, следует выполнять по формулам:

при изгибе в плоскости стенки, совпадающей с плоскостью симметрии сечения

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_{cx} R_y \gamma_c} \leq 1; \qquad (69)$$

при изгибе в двух главных плоскостях (и наличии бимоментов)

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_{cx} R_y \gamma_c} \pm \frac{M_y}{W_{cy} R_y \gamma_c} \pm \frac{B}{W_{c\omega} R_y \gamma_c} \leq 1. \qquad (70)$$

В формулах (69) и (70):

φ_b – коэффициент устойчивости при изгибе, определяемый по приложению Ж для балок с опорными сечениями, закрепленными от боковых смещений и поворота;

W_{cx} – момент сопротивления сечения относительно оси x - x, вычисленный для сжатого пояса;

W_{cy} – момент сопротивления сечения относительно оси y–y, совпадающей с плоскостью изгиба, вычисленный для наиболее сжатой точки сжатого пояса;

$W_{c\omega}$ – секториальный момент сопротивления сечения, вычисленный для наиболее сжатой точки сжатого пояса.

Знак «+» у второго и третьего членов в формуле (70) принимается, если в рассматриваемой точке соответствующее усилие вызывает сжатие.

Для бистальных балок в формулах (69) и (70), а также при определении φ_b, R_y следует заменять на R_{yf}.

В НАБОР

LIRA LAND GROUP

СП 16.13330.2017

9 Расчет элементов стальных конструкций при действии продольной силы с изгибом

9.1 Расчёт на прочность элементов сплошного сечения

9.1.1 Расчёт на прочность внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) и внецентренно растянутых (растянуто-изгибаемых) элементов из стали с нормативным сопротивлением $R_{yn} \leq 440$ Н/мм^2, не подвергающихся непосредственному воздействию динамических нагрузок, при напряжениях $\tau < 0{,}5R_s$ и $\sigma = N / A_n > 0{,}1R_y$ следует выполнять по формуле

$$\left(\frac{N}{A_n R_y \gamma_c}\right)^n + \frac{M_x}{c_x W_{xn,min} R_y \gamma_c} + \frac{M_y}{c_y W_{yn,min} R_y \gamma_c} + \frac{B}{W_{\omega n,min} R_y \gamma_c} \leq 1, \qquad (105)$$

где N, M_x и M_y, B – абсолютные значения соответственно продольной силы, изгибающих моментов и бимомента при наиболее неблагоприятном их сочетании;

n, c_x, c_y – коэффициенты, принимаемые согласно таблице Е.1 (приложение Е).

Если $\sigma = N / A_n \leq 0{,}1R_y$, формулу (105) следует применять при выполнении требований 8.5.8 и таблицы Е.1 (приложение Е).

Расчёт на прочность элементов в случаях, не предусмотренных расчётом по формуле (105), следует выполнять по формуле

$$(N / A_n \pm M_x\, y / I_{xn} \pm M_y\, x / I_{yn} \pm B\, \omega / I_{\omega n}) / (R_y\, \gamma_c) \leq 1, \qquad (106)$$

где x, y – расстояния от главных осей до рассматриваемой точки сечения.

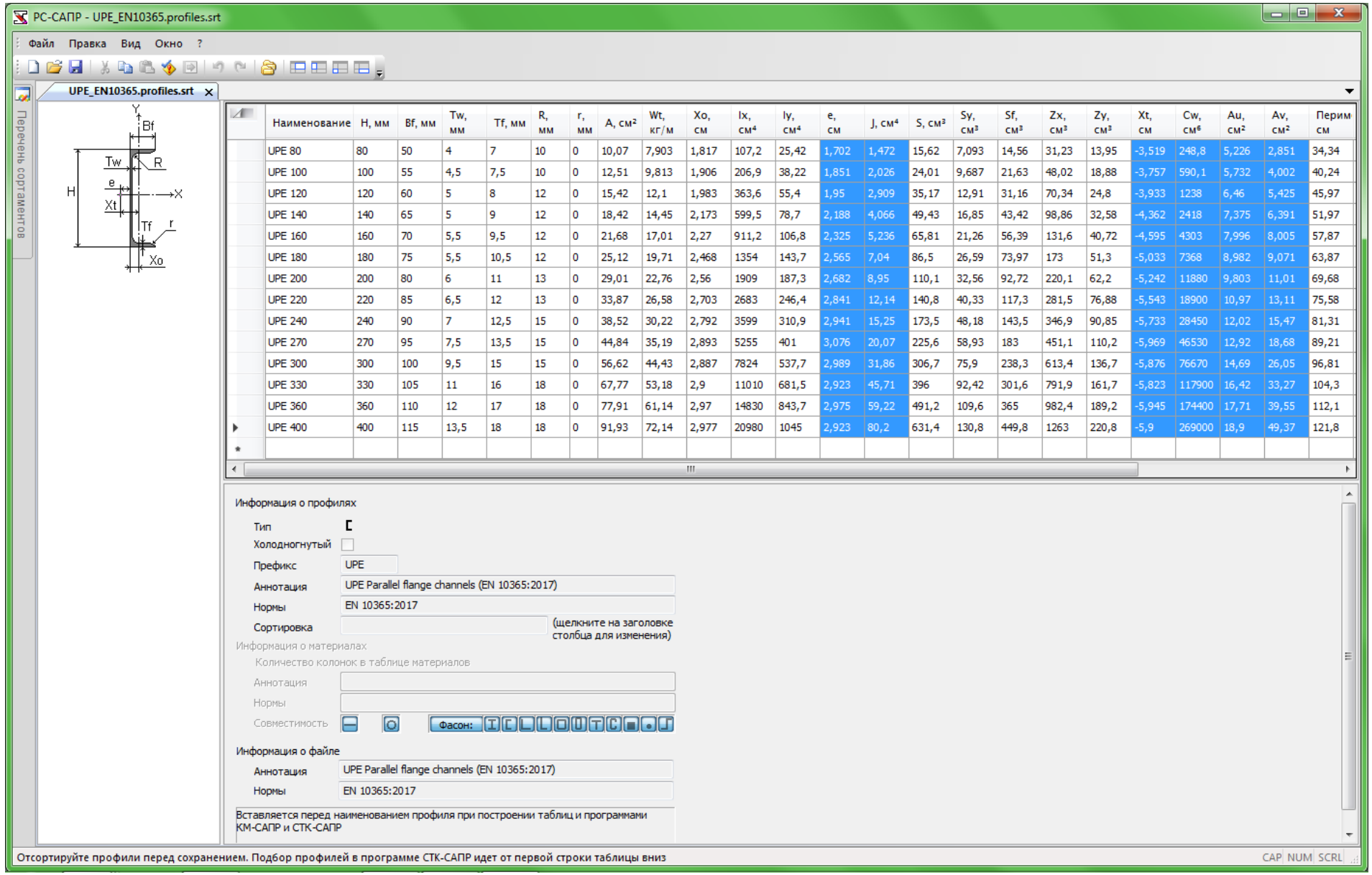
9.1.2 Расчёт на прочность внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) элементов по формуле (105) выполнять не требуется при значении приведенного относительного эксцентриситета $m_{ef} \leq 20$ (9.2.2), отсутствии ослабления сечения и одинаковых значениях изгибающих моментов, принимаемых в расчётах на прочность и устойчивость.

9.1.3 Внецентренно сжатые (сжато-изгибаемые) элементы из стали с нормативным сопротивлением $R_{yn} > 440$ Н/мм^2, с несимметричными сечениями относительно оси, перпендикулярной к плоскости изгиба (например, сечения типов 10, 11 по таблице Д.2),

База сортаментов ЛИРА-САПР

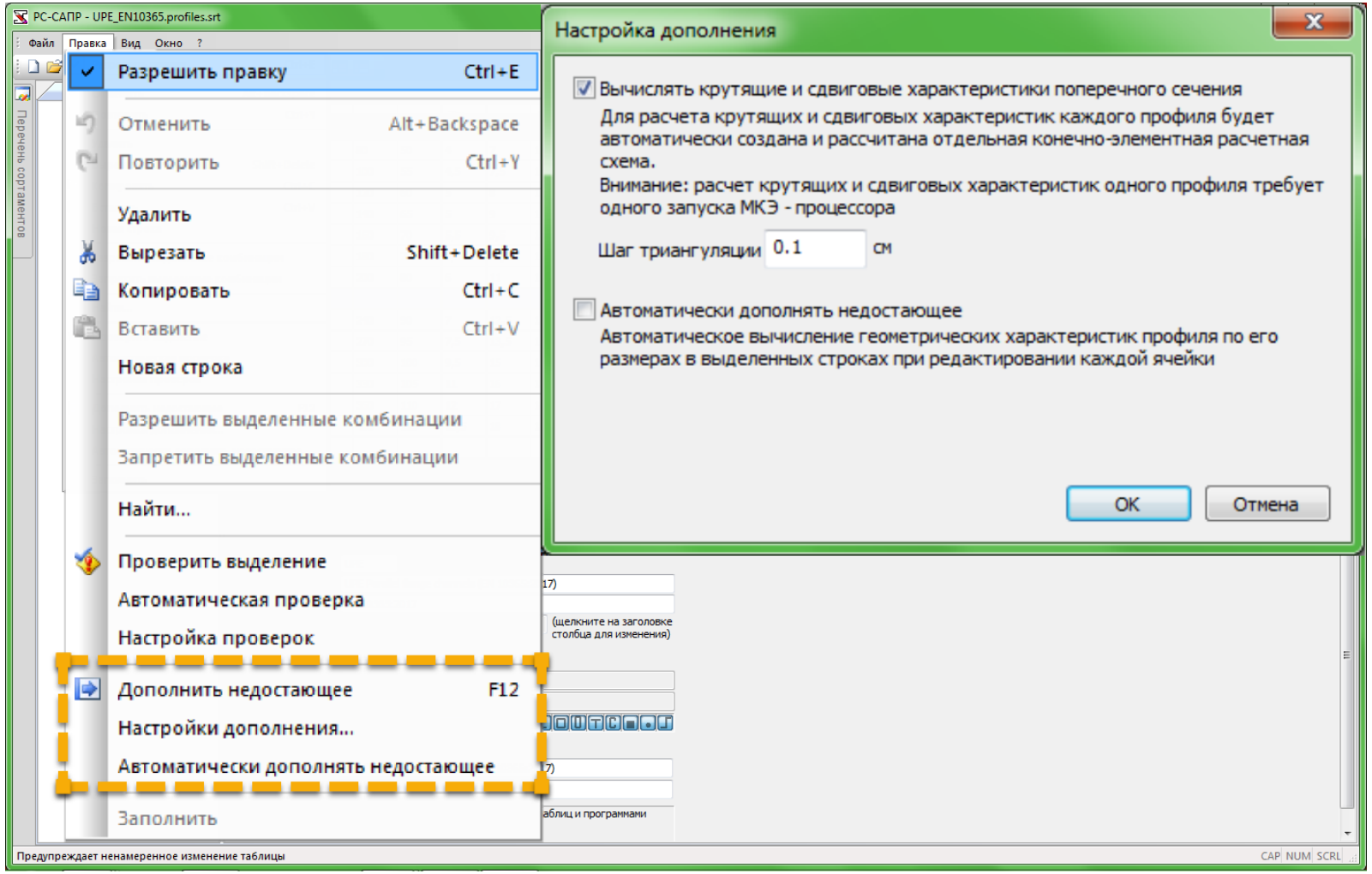
Москва, 2018

Новые характеристики профилей



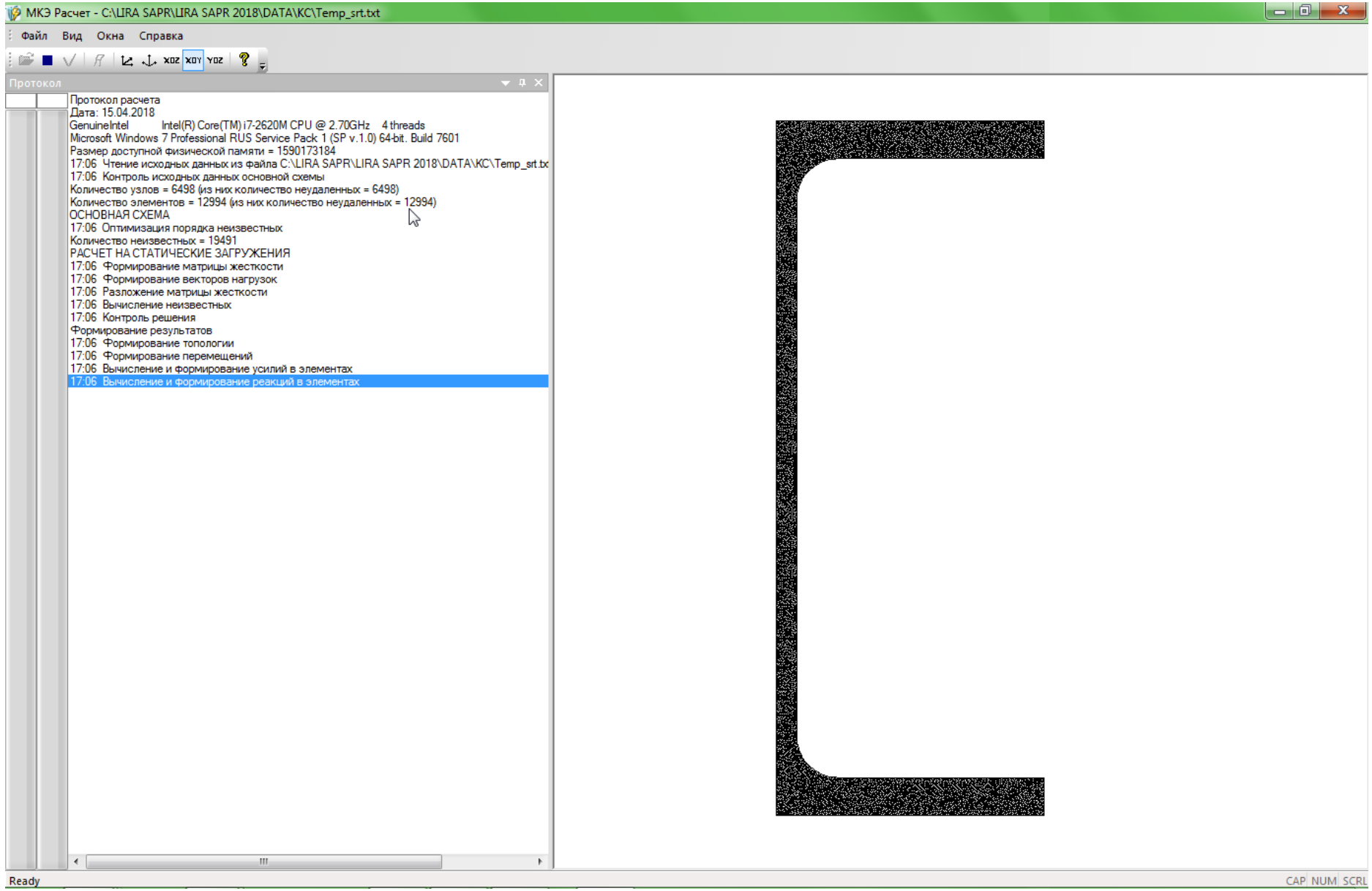
Наименование	H, мм	Bf, мм	Tw, мм	Tf, мм	R, мм	r, мм	A, см²	Wt, кг/м	Xo, см	Ix, см⁴	Iy, см⁴	e, см	J, см⁴	S, см³	Sy, см³	Sf, см³	Zx, см³	Zy, см³	Xt, см	Cw, см⁶	Au, см²	Av, см²	Перим см
UPE 80	80	50	4	7	10	0	10,07	7,903	1,817	107,2	25,42	1,702	1,472	15,62	7,093	14,56	31,23	13,95	-3,519	248,8	5,226	2,851	34,34
UPE 100	100	55	4,5	7,5	10	0	12,51	9,813	1,906	206,9	38,22	1,851	2,026	24,01	9,687	21,63	48,02	18,88	-3,757	590,1	5,732	4,002	40,24
UPE 120	120	60	5	8	12	0	15,42	12,1	1,983	363,6	55,4	1,95	2,909	35,17	12,91	31,16	70,34	24,8	-3,933	1238	6,46	5,425	45,97
UPE 140	140	65	5	9	12	0	18,42	14,45	2,173	599,5	78,7	2,188	4,066	49,43	16,85	43,42	98,86	32,58	-4,362	2418	7,375	6,391	51,97
UPE 160	160	70	5,5	9,5	12	0	21,68	17,01	2,27	911,2	106,8	2,325	5,236	65,81	21,26	56,39	131,6	40,72	-4,595	4303	7,996	8,005	57,87
UPE 180	180	75	5,5	10,5	12	0	25,12	19,71	2,468	1354	143,7	2,565	7,04	86,5	26,59	73,97	173	51,3	-5,033	7368	8,982	9,071	63,87
UPE 200	200	80	6	11	13	0	29,01	22,76	2,56	1909	187,3	2,682	8,95	110,1	32,56	92,72	220,1	62,2	-5,242	11880	9,803	11,01	69,68
UPE 220	220	85	6,5	12	13	0	33,87	26,58	2,703	2683	246,4	2,841	12,14	140,8	40,33	117,3	281,5	76,88	-5,543	18900	10,97	13,11	75,58
UPE 240	240	90	7	12,5	15	0	38,52	30,22	2,792	3599	310,9	2,941	15,25	173,5	48,18	143,5	346,9	90,85	-5,733	28450	12,02	15,47	81,31
UPE 270	270	95	7,5	13,5	15	0	44,84	35,19	2,893	5255	401	3,076	20,07	225,6	58,93	183	451,1	110,2	-5,969	46530	12,92	18,68	89,21
UPE 300	300	100	9,5	15	15	0	56,62	44,43	2,887	7824	537,7	2,989	31,86	306,7	75,9	238,3	613,4	136,7	-5,876	76670	14,69	26,05	96,81
UPE 330	330	105	11	16	18	0	67,77	53,18	2,9	11010	681,5	2,923	45,71	396	92,42	301,6	791,9	161,7	-5,823	117900	16,42	33,27	104,3
UPE 360	360	110	12	17	18	0	77,91	61,14	2,97	14830	843,7	2,975	59,22	491,2	109,6	365	982,4	189,2	-5,945	174400	17,71	39,55	112,1
UPE 400	400	115	13,5	18	18	0	91,93	72,14	2,977	20980	1045	2,923	80,2	631,4	130,8	449,8	1263	220,8	-5,9	269000	18,9	49,37	121,8

Жесткостные характеристики стальных профилей расширены новыми параметрами.



Использование PC-САПР для вычисления недостающих характеристик сечения.

Новые характеристики профилей



Вычисление недостающих характеристик сечения с помощью МКЭ-процессора. Производятся автоматически для расчета недостающих характеристик заданных новых сечений в сортаметне.

Сортаменты сталей и стальных профилей

Реализованы сортаменты сталей согласно следующим стандартам: **EN 1993-1-1**, **EN 10025**, **EN 10113**, **EN 10137**, **EN 10147**, **EN 10210-1**, **EN 10219-1**, **EN 10225**, **EN 10326**, **EN 10340**.

Созданы **сортаменты прокатных профилей** согласно следующим стандартам: тавры по **EN 10055**, уголки по **EN 10056-1**, листовой прокат по **EN 10058**, квадратный прокат по **EN 10059**, круглый прокат по **EN 10060**, швеллеры PFC, UPE, UPN, двутавры HD, HE, HL, HLZ, HP, IPE, IPN, UB, UBP, UC, J по **EN 10365**, горячекатанные трубы, квадратные и прямоугольные профили по **EN 10210**, холодногнутые трубы, квадратные и прямоугольные профили по **EN 10219**, уголки, швеллеры, двутавры и тавры по **ASTM A 6/A 6M**, дополнительные профили по **ASTM A 6/A 6M** согласно каталогам **ArcelorMittal**.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

докладчик:

Тищенко Алексей Владимирович

инженер-конструктор, сопровождение ПК ЛИРА-САПР

Москва, 2018