

АРСС | Ассоциация развития
стального строительства

ТС
ТЕХСОФТ

Расчетные длины и предельные гибкости элементов стальных конструкций

steel-development.ru

mbAEC
Software





1 Расчетные длины элементов плоских ферм и связей

Расчетные длины элементов плоских ферм и связей, за исключением элементов перекрестной решетки ферм

Направление продольного изгиба	Расчетная длина l_{ef}		
	поясов	опорных раскосов и опорных стоек	прочих элементов решетки
1. В плоскости фермы:			
а) для ферм, кроме указанных в поз. 1, б	l	l	$0,8l$
б) для ферм из одиночных уголков и ферм с прикреплением элементов решетки к поясам впритык	l	l	$0,9l$
2. В направлении, перпендикулярном плоскости фермы (из плоскости фермы):			
а) для ферм, кроме указанных в поз. 2, б	l_1	l_1	l_1
б) для ферм с поясами из замкнутых профилей с прикреплением элементов решетки к поясам впритык	l_1	l_1	$0,9l_1$

l – геометрическая длина элемента (расстояние между центрами узлов) в плоскости фермы (рис. 1);

l_1 – расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы (поясами ферм, специальными связями, жесткими плитами покрытий, прикрепленными к поясу сварными швами или болтами)

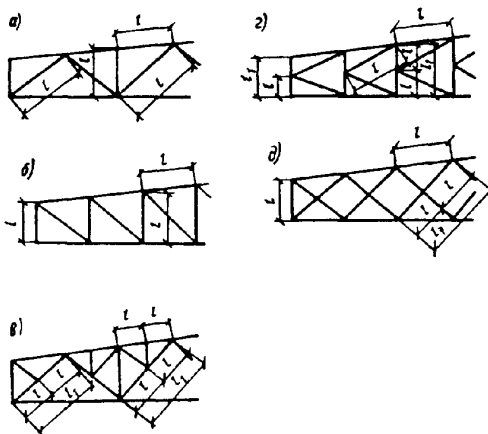


Рис. 1. Схемы решеток ферм для определения расчетных длин элементов

а - треугольная со стойками; б - раскосная;
в - треугольная со шпренгелем; г - полураскосная треугольная; д - перекрестная

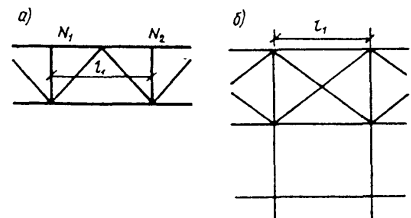


Рис. 2. Схемы для определения расчетной длины пояса фермы из плоскости

а - схема фермы;
б - схема связей между фермами (вид сверху)

Расчетная длина элемента, по длине которого действуют сжимающие силы N_1 и N_2 ($N_1 > N_2$), из плоскости фермы (рис. 1, в, г; рис. 2)

$$l_{ef} = l_1 * (0,75 + 0,25 * N_2 / N_1)$$

Расчет на устойчивость в этом случае следует выполнять на силу N_1 .

Радиусы инерции i сечений элементов из одиночных уголков:

при расчетной длине элемента, равной l или $0,9l$ (где l - расстояние между ближайшими узлами)

минимальный ($i = i_{min}$)

в остальных случаях

относительно оси уголка, перпендикулярной или параллельной плоскости фермы ($i = i_x$ или $i = i_y$ в зависимости от направления продольного изгиба)

Расчетные длины элементов перекрестной решетки, скрепленных между собой			
в плоскости фермы – расстояние от центра узла фермы до точки их пересечения	$l_{ef} = l$	из плоскости фермы для растянутых элементов – полная геометрическая длина элемента	$l_{ef} = l_1$
из плоскости фермы для сжатых элементов – см. табл. ниже			
Конструкция узла пересечения элементов решетки	Расчетная длина l_{ef} при поддерживающем элементе		
	растянутом	неработающем	сжатом
Оба элемента не прерываются	l	$0,7l_1$	l_1
Поддерживающий элемент прерывается и перекрывается фасонкой:			
рассматриваемый элемент не прерывается	$0,7l_1$	l_1	$1,4l_1$
рассматриваемый элемент прерывается и перекрывается фасонкой	$0,7l_1$	-	
l – расстояние от центра узла фермы до пересечения элементов (рис. 1, д);			
l_1 – полная геометрическая длина элемента (рис. 1, д).			

2 Расчетные длины элементов пространственных решетчатых конструкций

Расчетные длины l_{ef} и радиусы инерции i сжатых и ненагруженных элементов из одиночных уголков при определении гибкости

Элементы	l_{ef}	i	
Пояса:			
по рис. а, б, в	l_m	i_{min}	
по рис. г, д, е	$1,14l_m$	i_x или i_y	
Раскосы:			
по рис. б, в, г	$\mu_d l_d$	i_{min}	
по рис. а, д	$\mu_d l_{dc}$	i_{min}	
по рис. е	l_d	i_{min}	
Распорки:			
по рис. б	$0,8l_c$	i_{min}	
по рис. в	$0,65l_c$	i_{min}	

Схемы пространственных решетчатых конструкций а, б, в – с совмещенными в смежных гранях узлами; г, д, е – с несовмещенными в смежных гранях узлами

l_{dc} – условная длина раскоса, см. табл. ниже

μ_d – коэффициент расчетной длины раскоса, см. табл. ниже

П р и м е ч а н и я : 1. Раскосы по рис. а, д, е в точках пересечения должны быть скреплены между собой.

2. Для раскосов по рис. е необходима дополнительная проверка их из плоскости грани с учетом расчета по деформированной схеме

3. Значение l_{ef} для распорок по рис. в дано для равнополочных уголков.

Расчетные длины l_{ef} и радиусы инерции i растянутых элементов из одиночных уголков при определении гибкости

Элементы	l_{ef} и i
Пояса	см. предыдущую таблицу

Расчетные длины l_{ef} и радиусы инерции i растянутых элементов из одиночных уголков при определении гибкости (продолжение табл.)

Элементы	l_{ef} и i
Перекрестные раскосы по рис. а, д, е:	
в плоскости грани	длина l_d и радиус инерции i_{min}
из плоскости грани	полная геометрическая длина раскоса L_d , равная расстоянию между узлами прикрепления к поясам, и радиус инерции i_x относительно оси, параллельной плоскости грани
Раскосы по рис. б, в, з	длина l_d и радиус инерции i_{min}

Расчетные длины l_{ef} и радиус инерции i элементов из труб или парных уголков

согласно требованиям раздела «Расчетные длины элементов плоских ферм и связей».

Условная длина раскоса l_{dc}

Конструкция узла пересечения элементов решетки	Условная длина раскоса l_{dc} при поддерживающем элементе		
	растянутом	неработающем	сжатом
Оба элемента не прерываются	l_d	$1,3l_d$	$0,8L_d$
Поддерживающий элемент прерывается и перекрывается фасонкой; рассматриваемый элемент не прерывается:			
в конструкциях по рис. а	$1,3l_d$	$1,6l_d$	L_d
в конструкциях по рис. д:			
при $1 < n \leq 3$	$(1,75-0,15n) l_d$	$(1,9 - 0,1n) l_d$	L_d
при $n > 3$	$1,3l_d$	$1,6l_d$	L_d
Узел пересечения элементов закреплен от смещения из плоскости грани (диафрагмой и т.п.)	l_d	l_d	l_d
L_d - длина раскоса по рис. а, д;			
$n = J_{m,min} * l_d / J_{d,min} * l_m$, где $J_{m,min}$ и $J_{d,min}$ - наименьшие моменты инерции сечения соответственно пояса и раскоса.			

Коэффициент расчетной длины раскоса μ_d

Прикрепление элемента к поясам	n	Значение μ_d при l / i_{min} , равном		
		до 60	св. 60 до 160	св. 160
Сварными швами, болтами (не менее двух), расположенными вдоль элемента, без фасонки	До 2	1,14	$0,54 + 36 * i_{min} / l$	0,765
	Св. 6	1,04	$0,56 + 28,8 * i_{min} / l$	0,74
Одним болтом без фасонки	Независимо от n	1,12	$0,64 + 28,8 * i_{min} / l$	0,82

n - см. предыдущую таблицу.

l - длина, принимаемая: l_d - по рис. б, в, з; l_{dc} - по предыдущей таблице (для элементов - по рис. а, д).

Рисунки находятся в начале раздела «Расчетные длины элементов пространственных решетчатых конструкций»

П р и м е ч а н и я . 1. Значения μ_d при значениях n от 2 до 6 следует определять линейной интерполяцией.

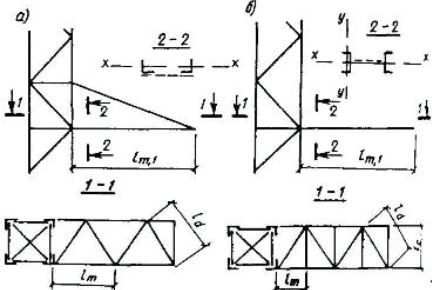
2. При прикреплении одного конца раскоса к поясу фасонки сваркой или болтами, а второго конца через фасонку, коэффициент расчетной длины раскоса следует принимать равным $0,5(1 + \mu_d)$; при прикреплении обоих концов раскоса через фасонки - $\mu_d = 1,0$.

3. Концы раскосов по рис. в следует крепить, как правило, без фасонки. В этом случае при их прикреплении к распорке и поясу сварными швами или болтами (не менее двух), расположенными вдоль раскоса, значение коэффициента μ_d следует принимать по строке при значении n «До 2». В случае прикрепления их концов одним болтом значение коэффициента μ_d следует принимать по строке «Одним болтом без фасонки», при вычислении значения l_{ef} по табл. «Расчетные длины элементов пространственных решетчатых конструкций» вместо μ_d следует принимать $0,5(1 + \mu_d)$.

Расчетные длины l_{ef} и радиусы инерции сечений i при определении гибкости элементов плоских траверс

Конструкция траверсы	Расчетная длина l_{ef} и радиус инерции сечения i			
	пооясов		пооясов	
	l_{ef}	l_{ef}	l_{ef}	l_{ef}
С поясами и решеткой из одиноч-х уголков (рис.а)	l_m l_{m1}	i_{min} i_x	l_d, l_c -	i_{min} -
С поясами из швеллеров и решеткой из одиноч-х уголков (рис. б)	l_m $1,12l_{m1}$	i_y i_x	l_d, l_c -	i_{min} -

i_x - радиус инерции сечения относительно оси, параллельной плоскости решетки траверсы.



Схемы траверс
а - с треугольной решеткой; б - то же, со стойками

3 Расчетные длины элементов структурных конструкций

Элементы структурных конструкций	Расчетная длина l_{ef}
1. Кроме указанных в поз. 2 и 3	l
2. Неразрезные (не прерывающиеся в узлах) пояса и прикрепляемые в узлах сваркой впритык к шаровым или цилиндрическим узловым элементам	$0,85l$
3. Из одиночных уголков, прикрепляемых в узлах одной полкой:	
а) сварными швами или болтами (не менее двух), расположенными вдоль элемента, при l / i_{min} :	
до 90	l
св. 90 до 120	$0,9l$
« 120 « 150 (только для элементов решетки)	$0,75l$
св. 150 до 200 (только для элементов решетки)	$0,7l$
б) одним болтом при l / i_{min} :	
до 90	l
св. 90 до 120	$0,95l$
« 120 « 150 (только для элементов решетки)	$0,85l$
св. 150 до 200 (только для элементов решетки)	$0,8l$

l - геометрическая длина элемента (расстояние между узлами структурной конструкции).

Радиусы инерции сечений i элементов структурных конструкций при определении гибкости следует принимать:	для сжато-изгибаемых элементов относительно оси, перпендикулярной или параллельной плоскости изгиба ($i = i_x$ или $i = i_y$)
	в остальных случаях - минимальные ($i = i_{min}$)

4 Расчетные длины колонн (стоек)

Расчетные длины l_{ef} колонн (стоек) постоянного сечения или отдельных участков ступенчатых колонн

$l_{ef} = \mu l$	l - длина колонны, отдельного участка ее или высота этажа
	μ - коэффициент расчетной длины

(продолжение табл. см. на обороте)

Коэффициенты расчетной длины μ колонн и стоек постоянного сечения

Коэффициенты расчетной длины μ колонн и стоек постоянного сечения следует принимать в зависимости от условий закрепления их концов и вида нагрузки.

Для некоторых случаев закрепления и вида нагрузки значения μ приведены в следующей таблице

Схема закрепления и вид нагрузки									
μ	1,0	0,7	0,5	2,0	1,0	2,0	0,725	1,12	

Коэффициенты расчетной длины колонн постоянного сечения в плоскости рамы при жестком креплении ригелей к колоннам

а) для свободных рам при одинаковом нагружении верхних узлов по формулам следующей таблицы

Расчетные схемы свободных рам	Формулы для определения коэффициента μ	Коэффициенты n и p в формулах (1), (2) и (3 а, б) для рам	
		Однопролетных	Многопролетных ($k \geq 2$)
	$2\sqrt{1 + \frac{0,38}{n}} \quad (1)$	$n = \frac{J_s l_c}{J_c l}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
	$\sqrt{\frac{n + 0,56}{n + 0,14}} \quad (2)$		
	<p>при $n \leq 0,2$</p> $\frac{(p + 0,68)\sqrt{n + 0,22}}{\sqrt{0,68p(p + 0,9)(n + 0,08) + 0,1n}} \quad (3, a)$ <p>при $n > 0,2$</p> $\frac{(p + 0,63)\sqrt{n + 0,28}}{\sqrt{pn(p + 0,9) + 0,1n}} \quad (3, б)$	Верхний этаж	
		$p = \frac{J_s l_c}{2J_c}$	$n = \frac{2k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
		$n = \frac{J_s l_c}{J_c}$	$p = \frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$
		Средний этаж	
$n = \frac{J_s l_c}{2J_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$		
$p = \frac{J_s l_c}{2J_c}$	$p = \frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$		
Нижний этаж			
$p = \frac{J_s l_c}{J_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$		
$n = \frac{J_s l_c}{2J_c}$	$p = \frac{2k(p_1 + p_2)}{k + 1}$		

Коэффициенты расчетной длины колонн постоянного сечения в плоскости рамы при жестком креплении ригелей к колоннам (окончание табл.)

$$n_1 = \frac{J_{s1}l_c}{l_1J_c}; \quad n_2 = \frac{J_{s2}l_c}{l_2J_c}; \quad p_1 = \frac{J_{i1}l_c}{l_1J_c}; \quad p_2 = \frac{J_{i2}l_c}{l_2J_c}$$

k - число пролетов;

J_c и l_c - соответственно момент инерции сечения и длина проверяемой колонны;

l_1, l_2 - пролеты рамы;

J_s, J_{s1}, J_{s2} и J_i, J_{i1}, J_{i2} - моменты инерции сечения ригелей, примыкающих соответственно к верхнему и нижнему концу проверяемой колонны.

П р и м е ч а н и е. Для крайней колонны свободной многопролетной рамы коэффициент μ следует определять как для колонн однопролетной рамы.

б) для несвободных рам по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{1 + 0,46(p+n) + 0,18pn}{1 + 0,93(p+n) + 0,71pn}} \quad (3, в)$$

в одноэтажной раме: $p = \frac{J_{i1}l_c}{l_1J_c}; \quad n = \frac{J_{s1}l_c}{l_1J_c};$

в многоэтажной раме:

для верхнего этажа $p = 0,5(p_1 + p_2); n = n_1 + n_2;$

« среднего « $p = 0,5(p_1 + p_2); n = 0,5(n_1 + n_2);$

« нижнего « $p = p_1 + p_2; n = 0,5(n_1 + n_2),$

где $p_1; p_2; n_1; n_2$ см. выше

Для одноэтажных рам в формуле (1) и многоэтажных в формулах (3, а, б, в) при шарнирном креплении нижних или верхних ригелей к колоннам принимаются $p = 0$ или $n = 0$ ($J_i = 0$ или $J_s = 0$), при жестком креплении $p = 50$ или $n = 50$ ($J_i = \infty$ или $J_s = \infty$).

При отношении $H/B > 6$ (где H - полная высота многоэтажной рамы, B - ширина рамы) должна быть проверена общая устойчивость рамы в целом как составного стержня, защемленного в основании.

П р и м е ч а н и е. Рама считается свободной (несвободной), если узел крепления ригеля к колонне имеет (не имеет) свободу перемещения в направлении, перпендикулярном оси колонны в плоскости рамы.

Коэффициент расчетной длины μ наиболее нагруженной колонны в плоскости одноэтажной свободной рамы здания при неравномерном нагружении верхних узлов и наличии жесткого диска покрытия или продольных связей по верху всех колонн следует определять по формуле

$$\mu_{ef} = \mu \sqrt{J_c \sum N_i / (N_c \sum J_i)} \quad 0,7 \leq$$

μ - коэффициент расчетной длины проверяемой колонны (см. табл. выше);

J_c и N_c - соответственно момент инерции сечения и усилие в наиболее нагруженной колонне рассм. рамы;

$\sum N_i$ и $\sum J_i$ - соответственно сумма расчетных усилий и моментов инерции сечений всех колонн рассматриваемой рамы и четырех соседних рам (по две с каждой стороны); все усилия N_i следует находить при той же комбинации нагрузок, которая вызывает усилие в проверяемой колонне.

Коэффициенты расчетной длины μ для одноступенчатых колонн рам одноэтажных производственных зданий при соблюдении условий $l_2/l_1 \leq 0,6$ и $N_1/N_2 \geq 3$

Условия закрепления верхнего конца колонны	Коэффициенты μ для участка колонны		
	нижнего при J_2/J_1 , равном		верхнего
	св. 0,1 до 0,3	св. 0,05 до 0,1	
Свободный конец	2,5	3,0	3,0
Конец, закрепленный только от поворота	2,0	2,0	3,0
Неподвижный, шарнирно опертый конец	1,6	2,0	2,5
Неподвижный, закрепленный от поворота конец	1,2	1,5	2,0

$l_1; J_1; N_1$ - соответственно длина нижнего участка колонны, момент инерции сечения и действующая на этом участке продольная сила;

5 Предельные гибкости сжатых элементов

Элементы конструкций	Предельная гибкость сжатых элементов
1. Пояса, опорные раскосы и стойки, передающие опорные реакции:	
а) плоских ферм, структурных конструкций и пространственных конструкций из труб и парных уголков высотой до 50 м	180-60α
б) пространственных конструкций из одиночных уголков, пространственных конструкций из труб и парных уголков высотой св. 50 м	120
2. Элементы, кроме указанных в поз. 1 и 7:	
а) плоских ферм, сварных пространственных и структурных конструкций из одиночных уголков, пространственных и структурных конструкций из труб и парных уголков	210-60α
б) пространственных и структурных конструкций из одиночных уголков с болтовыми соединениями	220-40α
3. Верхние пояса ферм, незакрепленные в процессе монтажа (предельную гибкость после завершения монтажа следует принимать по поз. 1)	220
4. Основные колонны	180-60α
5. Второстепенные колонны (стойки фахверка, фонарей и т.п.), элементы решетки колонн, элементы вертикальных связей между колоннами (ниже подкрановых балок)	210-60α
6. Элементы связей, кроме указанных в поз. 5, а также стержни, служащие для уменьшения расчетной длины сжатых стержней, и другие ненагруженные элементы, кроме указанных в поз. 7	200
7. Сжатые и ненагруженные элементы пространственных конструкций таврового и крестового сечений, подверженные воздействию ветровых нагрузок, при проверке гибкости в вертикальной плоскости	150
$\alpha = \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c}$ - коэффициент, принимаемый не менее 0,5 (в необходимых случаях вместо φ следует применять φ _с).	

6 Предельные гибкости растянутых элементов

Элементы конструкции	Предельная гибкость растянутых элементов при воздействии на конструкцию нагрузок		
	динамических, приложенных непосредственно к конструкции	статических	от кранов (см. прим. 4) и железнодорожных составов
1. Пояса и опорные раскосы плоских ферм (включая тормозные фермы) и структурных конструкций	250	400	250
2. Элементы ферм и структурных конструкций, кроме указанных в поз. 1	350	400	300
3. Нижние пояса подкрановых балок и ферм	-	-	150
4. Элементы вертикальных связей между колоннами (ниже подкрановых балок)	300	300	200
5. Прочие элементы связей	400	400	300
6. Пояса, опорные раскосы стоек и траверс, тяги траверс опор линий электропередачи, открытых распределительных устройств и линий контактных сетей транспорта	250	-	-
7. Элементы опор линий электропередачи, кроме указанных в поз. 6 и 8	350	-	-
8. Элементы пространственных конструкций таврового и крестового сечений (а в тягах траверс опор линий электропередачи и из одиночных уголков), подверженных воздействию ветровых нагрузок, при проверке гибкости в вертикальной плоскости	150	-	-

6 Предельные гибкости растянутых элементов (окончание раздела)

Примечания: 1. В конструкциях, не подвергающихся динамическим воздействиям, гибкость растянутых элементов следует проверять только в вертикальных плоскостях.

2. Гибкость растянутых элементов, подвергнутых предварительному напряжению, не ограничивается.

3. Для растянутых элементов, в которых при неблагоприятном расположении нагрузки может изменяться знак усилия, предельную гибкость следует принимать как для сжатых элементов, при этом соединительные прокладки в составных элементах необходимо устанавливать не реже чем через $40l$.

4. Значения предельных гибкостей следует принимать при кранах групп режимов работы 7К (в цехах металлургических производств) и 8К по ГОСТ 25546-82.

5. К динамическим нагрузкам, приложенным непосредственно к конструкциям, относятся нагрузки, принимаемые в расчетах на выносливость или в расчетах с учетом коэффициентов динамичности.

Курсы повышения квалификации специалистов по программе: «ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ»

Программа предназначена для инженеров-конструкторов, проектировщиков, экспертов, специалистов по анализу природных и технических рисков, научных сотрудников.

Преподавание осуществляется сотрудниками МЭИ (ТУ) и ООО «ТЕХСОФТ».

Занятия проводятся по адресу: Москва, ул. Красноказарменная, д. 17, корпус Б, аудитория Б112, Б113.

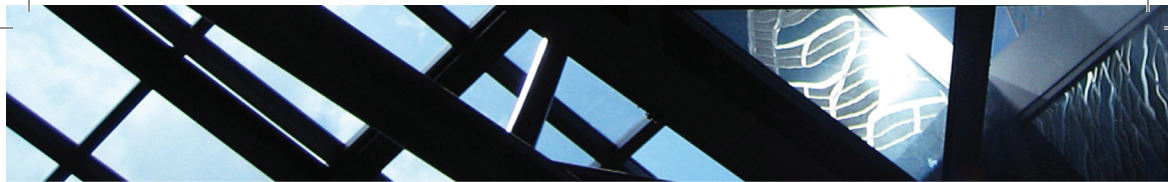
Факс: (495) 362 77 00

E-mail: tech-safety@mpei.ru

Справки по телефону: (495) 362 77 00 Чаплыгина Юлия Михайловна, Широких Татьяна Анатольевна.

Почтовый адрес: 111250 Москва, Красноказарменная ул., д. 14, МЭИ (ТУ), Кафедра динамики и прочности машин, ЦПП «Надежность конструкций».





Ing+ — современный комплекс программ для проектирования строительных конструкций, сочетающий удобство использования с точностью получаемых результатов, соответствием требованиям нормативных документов стран СНГ и Европы, разнообразием решаемых задач. Данная система является уникальным предложением на российском рынке.

MicroFe — подсистема конечноэлементных расчетов строительных конструкций на прочность, устойчивость, колебания.

Статика — пакет программ для расчетов и конструирования железобетонных, стальных элементов строительных конструкций, фундаментов и подпорных стен.

COSTRUC (Сталебетон) — пакет программ для расчета и конструирования композитных (сталежелезобетонных) элементов.

ViCADo — подсистема архитектурного и инженерного проектирования строительных объектов с широкими возможностями визуализации.



Ассоциация Развития Стального Строительства

121353, Россия, Москва, ул. Беловежская, д. 4, +7 (495) 933 58 86 (доб. 1055)
info@steel-development.ru www.steel-development.ru

ООО «ТЕХСОФТ»

117393, Россия, Москва, а/я 300, ул. Архитектора Власова, 49, офис 510
+7 (495) 960 22 83, +7 (499) 120 11 33, +7 (499) 128 96 60, +7 (495) 960 22 84
support@tech-soft.ru, microfe@mail.ru www.tech-soft.ru