

Министерство газовой промышленности
(Мингазпром)
НИИИ "Типроморнефтегаз"

БЕСФАСОНОЧНЫЕ УЗЛЫ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТРУБ
МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ СООРУЖЕНИЙ.
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ

ВСН 51.4-85

Издание официальное

Москва 1985

Ведомственные строительные нормы "Бесфасоночные узлы конструкций из труб морских нефтегазопромысловых сооружений. Методика расчета прочности" (ВСН 51.4-85) разработаны институтом электросварки им. Е.О.Патона АН УССР, Государственным научно-исследовательским и проектным институтом по освоению месторождений нефти и газа "Гипроморнефтегаз" Мингазпрома, Центральным научно-исследовательским институтом строительных конструкций им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР и Центральным научно-исследовательским и проектным институтом строительных металлоконструкций им. Н.П.Мельникова Госстроя СССР.

ИСПОЛНИТЕЛИ:

НИИП "Гипроморнефтегаз" - Джараров А.М.,
к.т.н.; Самедов Ф.С., к.т.н.; Тайрли З.М.,
инж.; Гаджиев Р.А., к.т.н.

ИЭС им. Е.О.Патона АН УССР - Новиков В.И.
к.т.н.; Гарф Э.Ф., к.т.н.; Юрко Л.Я., инж.;
Литвиненко А.Е., инж.

ЦНИИСК им. Кучеренко - Решетников Б.Н., к.т.н.;
Цетлин Б.С., к.т.н.

ЦНИИпроектстальконструкция им. Мельникова-
Бемельянова Б.Н., инж.

Внесены Государственным научно-исследовательским
и проектным институтом по освоению месторождений нефти и газа "Гипроморнефтегаз"

Директор А.М. Джараров

Согласованы Госстроем СССР
письмом от "23" мая 1985 г.
б. Д-2309-01

Утверждены Министерством газовой промышленности
Первый заместитель Министра
В.И. Тимонин

Введены в действие Распоряжением Министерства газовой промышленности от "3" июня 1985 г. № ВТ- 45

Министерство газовой промышленности (Мингазпром)	Ведомственные строительные нормы	ВСН 51.4-85
	Бесфасоночные узлы конструкций из труб морских нефтегазопромысловых сооружений. Методика расчета прочности	Впервые

Настоящие ведомственные строительные нормы дополняют ВСН 51.3-85 "Проектирование морских стационарных платформ" и должны соблюдаться при проектировании вновь возводимых и реконструируемых (расширяемых) стальных конструкций морских нефтегазопромысловых сооружений.

Внесены Государственным научно-исследовательским и проектным институтом по освоению месторождений нефти и газа "Типроморнефтегаз"	Утверждены распоряжением Мингазпрома от <u>3 июня</u> 1985г. № ВТ-845	Срок введения в действие 01 октября 1985г.
--	---	---

1. Методика расчета распространяется на бесфасоночные узлы конструкций из стальных труб с пределом текучести не более 600 МПа, состоящие из одного не прерывающегося в узле элемента (пояса) и одного или нескольких примыкающих элементов (стоеч, раскосов). Каждый из примыкающих элементов может быть соединен либо только с поясом, либо с поясом и одним или двумя другими примыкающими элементами (черт. I). Для элементов узла должны выполняться следующие условия:

$$\frac{D}{T} \leq 60; \quad 0.2 < \frac{d}{D} \leq 1.0, \quad (1)$$

где D и T - соответственно наружный диаметр и толщина стенки пояса;
 d - наружный диаметр примыкающего элемента.

Примечание. Методика не распространяется на узлы с деформированными (сплющенными) концами трубчатых элементов.

2. Расчет пространственных узлов допускается выполнять путем последовательного расчленения их на плоские. В случае, если в сечение, поперечное к оси пояса пространственного или I-образного (см.черт. I, к) узла, попадают примыкающие элементы с усилиями разных знаков, расчет такого узла следует выполнять дважды: как плоского - по пунктам 4,5,6 и как пространственного - по пункту 10 настоящих норм.

3. Расчет узлов на прочность следует выполнять последовательной проверкой на возможные расчетные сочетания усилий (продольная сила, изгибающий момент в плоскости узла, изгибающий момент из плоскости узла) в каждом из примыкающих элементов, определяемые статическим расчетом конструкции в целом.

4. Прочность узла проверяется по формуле

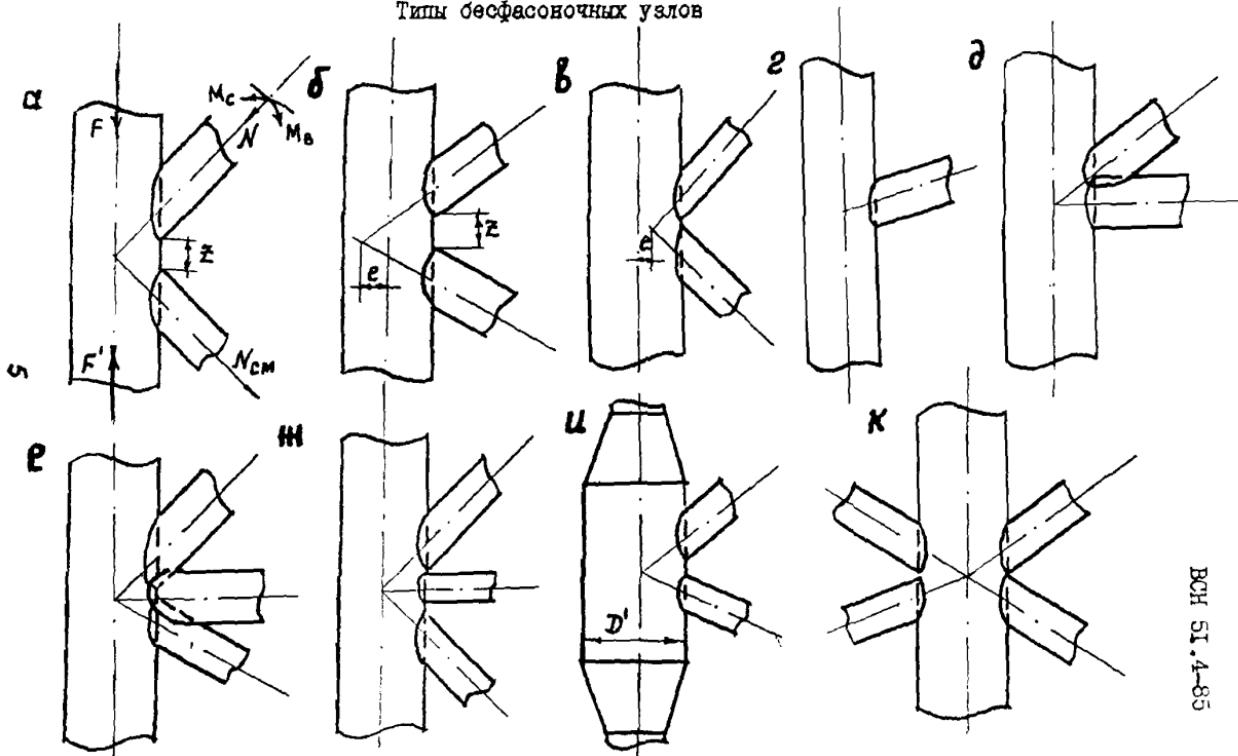
$$\sigma_3 = \frac{(\frac{D}{T})^{0.8} (\frac{d}{D})^{0.2} (M \cdot K_p)}{K_p \cdot d \cdot T} \left(\frac{M_0 \cdot K_p}{M_{42} \cdot K_p} + \frac{M_0 \cdot K_p}{2.3 \cdot d} + \frac{M_0 \cdot K_p}{4.9 \cdot d} \right) \leq R_y \text{ и } (2)$$

где σ_3 - условное напряжение в поясе в месте примыкания элемента;

R_y - расчетное сопротивление материала пояса;

M - продольная сила в рассматриваемом примыкающем элементе;

Типы бесфасоночных узлов



Черт. I.

M_B и M_c - изгибающие моменты в рассматриваемом при-
мыкающем элементе, действующие соответст-
венно в плоскости узла (в плоскости, про-
ходящей через оси пояса и примыкающего
элемента) и из плоскости узла;

K_y - коэффициент, учитывающий повышение прочно-
сти узла:

$$\text{при } \frac{d}{D} > 0.625 \quad K_y = \frac{1.56}{\frac{d}{D} (5 - 4 \frac{d}{D})}; \quad (3)$$

$$\text{при } \frac{d}{D} \leq 0.625 \quad K_y = 1 \quad (4)$$

γ_c - коэффициент условий работы, принимаемый
равным:

$$\text{при } \frac{\sigma_t}{\sigma_e} \leq 0.7 \quad \gamma_c = 1; \quad \text{при } \frac{\sigma_t}{\sigma_e} > 0.7 \quad \gamma_c = 0.9$$

σ_t - предел текучести стали;

σ_e - временное сопротивление стали разрыву;

m - коэффициент, учитывающий влияние продоль-
ной силы в поясе:

если на участке пояса со стороны рассматриваемого при-
мыкающего элемента действуют напряжения скатия ($\sigma_N < 0$),

$$m = 1 + 0.4 \frac{\sigma_N}{R_y} \quad (5)$$

$$\text{при } \sigma_N \geq 0 \quad m = 1 \quad (5a)$$

K_ϕ - коэффициент, учитывающий влияние на проч-
ность тела и конструктивных особенностей
узла, а также характера нагружения; значе-
ния K_ϕ приведены в табл. 1;

K_θ - коэффициент, учитывающий повышение прочно-
сти узла с уменьшением угла θ при воз-
действии продольной силы или момента из
плоскости узла: ¹⁵

$$K_\theta = (\sin \theta)^{15} \quad (6)$$

θ - угол между осями пояса и рассматриваемого
примыкающего элемента ($\theta \leq 90^\circ$);

K_p - коэффициент, учитывающий знак продольной
силы в рассматриваемом примыкающем эле-
менте:

$$\text{при } N < 0 \quad K_p = 1; \quad (7)$$

$$\text{при } N \geq 0 \quad K_p = 1.9 - 0.9 \frac{d}{D}; \quad (8)$$

K_ϕ - коэффициент, учитывающий повышение прочности узла с уменьшением θ при воздействии момента в плоскости узла:

$$K_\phi = (\sin \theta)^{0.75} \quad (9)$$

Таблица I

Тип узла	Эскиз узла	Выражение для определения K_ϕ	Примечание
"у"		$K_\phi = 1,0$	-
"I"		$K_\phi = 0,8$	-
"K" с непересекающимися примыкающими элементами		$K_\phi = 1,0 - \frac{N_{cm} \sin \theta_{cm}}{N \sin \theta} x (0,5 - 2 \frac{z}{d})$	$N_{cm} \text{ и } N$ - с учетом знака. При $\theta > 30^\circ$ $= 1,0$
"K" с пересекающимися примыкающими элементами		$K_\phi = 1,0 - 0,5 x \frac{N_{cm} \sin \theta_{cm}}{N \sin \theta}$ $K_\phi = 1,5$	$N_{cm} \text{ и } N$ - с учетом знака. При проверке по формуле (II).

- N_{cm} - продольная сила в примыкающем элементе, смежном с рассматриваемым и расположенным в одной с ним плоскости;
- χ - минимальное расстояние между рассматриваемым и смежным примыкающими элементами по образующей пояса;
- θ_{cm} - угол между поясом и примыкающим элементом, смежным с рассматриваемым и расположенным в одной с ним плоскости.

5. В случае, если примыкающие элементы пересекаются между собой, узел следует выполнять так, чтобы один из элементов был приварен к поясу по всему периметру сопряжения (черт. I, д).

Расчет прочности такого узла на усилия в элементе, примыкающем по всему периметру к поясу, выполняется по формуле (2). В этом случае продольную силу в элементе следует принимать равной $N + \Delta N$, где

$$\Delta N = N_{cm} \cdot k_s \frac{d \sin \theta_{cm}}{\sin \theta} \quad (10)$$

при этом должно выполняться условие

$$|N_{cm}| \leq \frac{1142 \cdot d_{cm} \cdot t \cdot k_f \cdot k_p \cdot k_y \cdot R_y d}{(d/d)^{4.8} (d_{cm}/d)^{0.2} \cdot k_\theta} \quad (11)$$

Если это условие не выполняется, значение N_{cm} в формуле (10) следует определять по формуле (II).

В формулах (10) и (II) приняты следующие обозначения:

ΔN - дополнительная продольная сила, условно передаваемая со смежного примыкающего элемента на рассматриваемый;

k_s^d - коэффициент, учитывающий часть сечения смежного примыкающего элемента, соответствующую участку его пересечения с рассматриваемым, и определяемый в соответствии с п. 7;

t - толщина стенки рассматриваемого примыкающего элемента;

d_{cm} - диаметр смежного примыкающего элемента, частично пересекающегося с рассматриваемым;

$R_y d$ - расчетное сопротивление материала рассматриваемого примыкающего элемента.

k_f, k_p, k_θ в формуле (II) следует определять по п. 4 с заменой d на d_{cm} , Δ на d , θ на угол между рассматриваемым и смежным элементами.

6. При расчете прочности узла на усилие в элементе, примыкающем частично к поясу, частично к смежному элементу, должно выполняться условие

$$G_D \cdot K_s^D + G_{d'} \cdot K_s^d \leq K_s^D \cdot R_y + K_s^d \cdot R_{yd}, \quad (12)$$

где

G_D - напряжение, определяемое по формуле (2) в предположении, что рассматриваемый элемент примыкает только к поясу;

$G_{d'}$ - напряжение, определяемое по формуле (2) в предположении, что рассматриваемый элемент примыкает только к смежному элементу, который в данном случае выполняет роль пояса;

R_y и R_{yd} - соответственно расчетное сопротивление материала пояса и примыкающего элемента, на который происходит опирание рассматриваемого элемента;

коэффициенты K_s^D и K_s^d определяются по формулам:

$$K_s^D = \frac{s^D}{\pi d}; \quad (13)$$

$$K_s^d = \frac{s^d}{\pi d}; \quad (14)$$

где

s^D и s^d - длины дуг окружностей сечения рассматриваемого примыкающего элемента, соответствующие участкам пересечения его с поясом и со смежным элементом;

$$\text{при этом } K_s^D + K_s^d = 1 \quad (15)$$

7. Расчет узлов с тремя примыкающими элементами (черт.1,е), когда средний элемент примыкает частично к поясу, а частично к двум смежным элементами, должен выполняться аналогично изложенному в п.п. 5 и 6.

8. Расчет прочности узла с трубчатой вставкой (черт.1,и) выполняется по пунктам 4,5,6, где вместо D и T принимается диаметр D' и толщина T' трубчатой вставки.

9. Расчет узлов, являющихся комбинацией К-образных и Х-образных (черт.1,к), следует осуществлять по пунктам 4,5,6 с заменой коэффициента K_ϕ на произведение $K_\phi \cdot K'_\phi$. Коэффициент K'_ϕ определяется по формуле

$$K'_\phi = 1 - 0.2 \frac{\sum (N_i \cdot \sin \theta_i)}{\sum (N_n \cdot \sin \theta_n)} \quad (16)$$

при этом следует принимать $\Sigma(N_i \cdot \sin \theta_i) \leq \Sigma(N_i \cdot \sin \theta_r)$,

где $\Sigma(N_i \sin \theta_i)$ - сумма проекций усилий одного знака в элементах, расположенных по одну сторону от пояса на ось, перпендикулярную оси пояса;

$\Sigma(N_i \sin \theta_r)$ - сумма проекций усилий того же знака в элементах, расположенных по другую сторону от пояса на ось, перпендикулярную оси пояса.

10. Расчет пространственного узла конструкций из трубчатых элементов, состоящего из одного непрерывавшегося в узле элемента (пояса) с тонкостенностью D/T не менее 20 и не более 60 и $n+1$ примыкающих элементов (черт.2), на прочность стенки пояса следует производить для примыкания каждого элемента при всех расчетных сочетаниях усилий в элементах узла по формуле:

$$\left| \frac{N/d + (1.7M_B + 2.5M_c)/d}{\psi} \sin \theta + \sum_{i=1}^n \epsilon_i \gamma_i \frac{N_i \sin \theta_i}{\psi_i} \right| \leq m \cdot s, \quad (17)$$

где

N - продольная сила в рассматриваемом примыкающем элементе, принимая с учетом знака (плюс при растяжении, минус при сжатии);

N_i - то же для каждого примыкающего элемента, смежного с рассматриваемым;

M_B - изгибающий момент в рассматриваемом элементе в плоскости узла в сечении, проходящем через пятку (момент от жесткости узлов допускается не учитывать);

M_c - то же из плоскости узла;

θ - угол между осями пояса и рассматриваемого примыкающего элемента;

s - характеристика несущей способности пояса, определяемая по формуле

$$s = 13(1 + 0.02D/T)T^2 R_y \gamma_c \quad (18)$$

γ_c - коэффициент условий работы, принимаемый согласно п.4;

ϵ_i и γ_i - коэффициенты влияния расположения каждого из смежных примыкающих элементов по отношению к рассматриваемому, определяемые по табл.2;

m - коэффициент, учитывающий влияние продольной силы в поясе и определяемый согласно п.4;

Пример бесфасоночного пространственного узла

1 - пятка, 2 - борт, 3 - носок

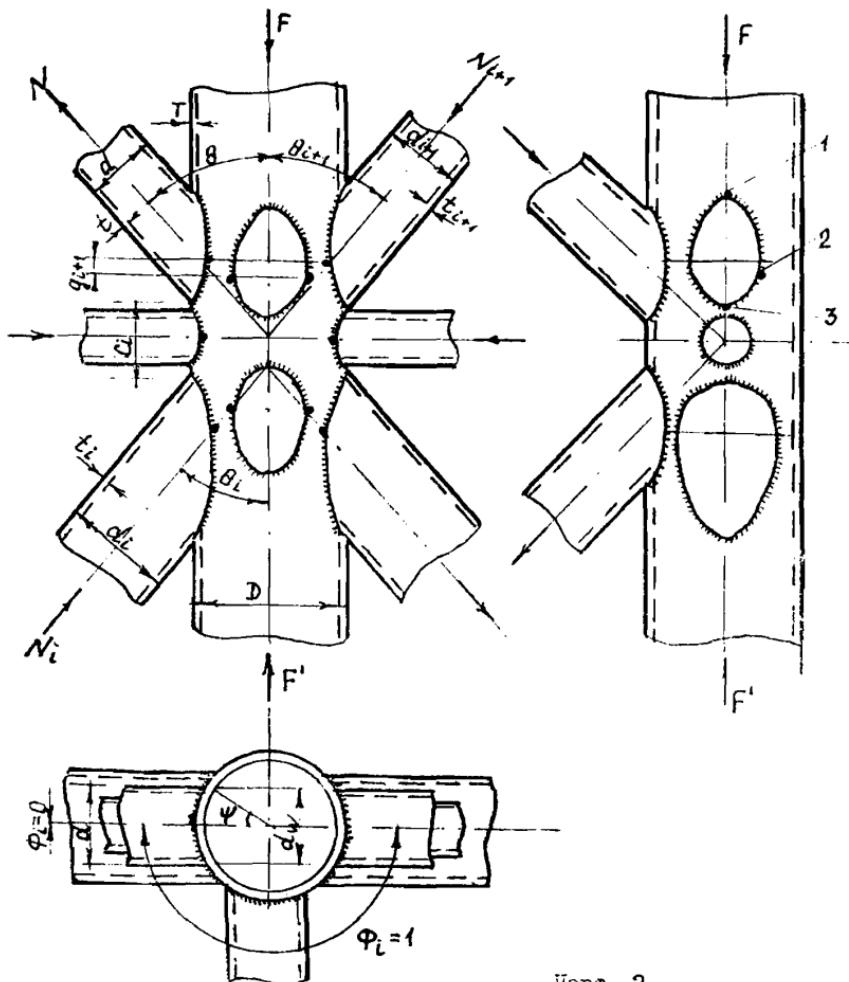


Таблица 2

Формулы для определения ε_i и γ_i

Расположение оси смежного примыкающего элемента от -носительной оси рассматриваемого	Тип узла	g	ε_i	γ_i
В той же плоскости и с той же стороны пояса ($\phi = 0$)	K	-	I	$1 - \frac{1.3 \xi (1 + 0.02 D/\tau)}{1 + 0.04 D/\tau}$
В той же плоскости, но с противоположной стороны пояса ($\phi = \pi$).	X	$\frac{0 \leq g < D}{g \geq D}$	$\frac{\cos^2 \frac{\pi g}{D}}{0}$	$\frac{64 (1 + 0.02 D/\tau)}{1 + 5.4 \beta_i + 5.6 \beta_i^2} - 1$
В плоскости под углом $0 < \phi \leq \pi/2$	L	$\frac{0 \leq g < D/2}{g \geq D/2}$	$\frac{\cos^2 \frac{\pi g}{D}}{0}$	$- \frac{1}{4.71/\phi + 1}$

При $\pi/2 < \phi < \pi$ следует ε_i и γ_i принимать по интерполяции между значениями для $\phi = \pi/2$ ($\gamma_i = -0.25$) и $\phi = \pi$

Значения γ следует принимать:

при $C \leq 0$ $\gamma = 0.6$;

при $0 < C < D$ $\gamma = 1 - 0.4(1 - C/D)^4$;

при $C \geq D$ $\gamma = 1$

Обозначения, принятые в табл.2 (черт.2):

Φ - угол между плоскостями примыкания смежного и рассматриваемого примыкающих элементов в радианах (плоскость примыкания проходит через ось примыкающего элемента параллельно оси пояса);

C - наименьшее расстояние вдоль оси пояса между сварными швами, прикрепляемыми к поясу рассматриваемый и смежный элементы решетки (продольный просвет);

g - расстояние вдоль пояса между бортами рассматриваемого и смежного примыкающих элементов;

$\beta_i = d_i/D$ - отношение диаметра смежного элемента к диаметру пояса.

β_d - коэффициент влияния знака усилия в рассматриваемом примыканием элементе, принимаемый равным 1,25 при растяжении и 1,0 в остальных случаях;

$$\psi = \arcsin \beta_w \quad (19)$$

при $\beta \leq 0,7$ допускается принимать $\psi = 1,05\beta$, (20)

а при $\beta > 0,7 \quad \psi = 1,75 \beta (1 + 0,15 \beta^2)$; (21)

ψ_i - то же для каждого из смежных примыкающих элементов;

$$\beta_w = d_w/D; \quad \beta = d/D$$

d_w - ширина охвата пояса рассматриваемым примыкающим элементом между кромками сварного шва (при $\beta \leq 0,7$ допускается принимать $d_w = d$, при $\beta > 0,7 \quad d_w = d - t$).

ВЕДОМСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ
Бесфасоночные узлы конструкций из труб морских нефтегазо-
промышлочных сооружений. Методика расчета прочности ВСН

51.4-85 Редактор, отв. за выпуск Л.И.Пахомов. Сдано в пе-
чать 5. 14. 04. Формат 60 x 84/16. Бумага писчая. Офсетная
печать. Заказ № 5211. Уч.-изд. л. 0,7. Печ. л. 1,0. Тираж
400 экз. Бесплатно. Издатель: Мингазпром. 117939, г.Москва,
ул.Строителей, 8. Отпечатано в Валмиерской типографии "Инес-
ма" Госкомиздата Латв.ССР 228600, г.Валмиера, ул.А.Упита 7.