

Общество с ограниченной ответственностью  
Сибирский центр технической диагностики и экспертизы



630078, г. Новосибирск, ул. Ватутина, 16/1, офис 12  
ОКПО 14405083 ОГРН 1037000122796 ИНН 7017071845 КПП 540401001  
Тел.: (383) 355-87-00, факс (383) 355-54-92, e-mail: contacts@diasib.com

## Расчет

**норийных труб, проходящих через бункера (силоса),  
на внутреннее остаточное давление взрыва  
и внешнее давление сыпучего продукта  
в бункерах и силосах рабочих зданий элеваторов №1 и №2**

на опасном производственном объекте  
ОАО «Еланский элеватор»  
по адресу, Волгоградская обл., Еланский р-он, р.п. Елань,  
ул. Варшавская, 19.  
(класс опасности – III)

Генеральный директор  
ООО СЦТДЭ «ДИАСИБ»

  
В.Н. Гавшок  
« 10 » февраля 2022 г.  
М.П.



г. Новосибирск-2022г.

# Оглавление

<b>1. ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>3</b>
<b>2. РАСЧЕТ ЗАЩИЩАЕМОГО ОБЪЕМА НОРИЙ.....</b>	<b>5</b>
2.1. Элеватор №1. Нория II-175/60 №№ 3, 4; H=55,3 м .....	5
2.1.1. Общий объем нории .....	5
2.1.2. Объем, занимаемый норийной лентой.....	5
2.1.3. Объем, занимаемый ковшами.....	5
2.1.4. Объем, занимаемый приводным барабаном.....	6
2.1.5. Объем, занимаемый натяжным барабаном .....	6
2.1.6. Защищаемый объем нории.....	6
2.2. Элеватор №2. Нория II-175/60 №№ 1, 2, 3; H=57,38 м .....	6
2.3. Сушилка. Нория II-100/45 №13; H=39,9 м .....	7
2.4. Сушилка. Нория II-350/45 №11; H=39,8 м .....	7
<b>3. РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА В НОРИЯХ .....</b>	<b>10</b>
3.1. Расчет остаточного давления взрыва при оборудовании нории одним взрыворазрядителем .....	10
3.1.1. Элеватор №1. Нория II-175/60 №3 (№4).....	10
3.1.2. Сушилка. Нория II-350/45 №11 .....	13
3.1.3. Сушилка. Нория II-100/45 №13 .....	13
3.2. Расчет остаточного давления взрыва при оборудовании нории несколькими взрыворазрядителями.....	14
3.2.1. Элеватор №2. Нория II-175/60 №1 .....	14
3.2.2. Элеватор №2. Нория II-175/60 №2 .....	16
3.2.3. Элеватор №2. Нория II-175/60 №3 .....	17
<b>4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИЩАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....</b>	<b>22</b>
4.1. Общие данные.....	22
4.1.1. Элеватор №1. Нория II-175/60 №3 (№4)- .....	24
4.1.1. Элеватор №2. Нория II-175/60 №1 .....	26
4.1.2. Элеватор №2. Нория II-175/60 №2 .....	27
4.1.3. Элеватор №2. Нория II-175/60 №3 .....	28
4.1.4. Сушилка. Нория II-350/45 №11 .....	30
4.1.1. Сушилка. Нория II-100/45 №13 .....	31
4.2. Расчет внешнего давления от сыпучего продукта.....	34
4.2.1. Горизонтальное давление сыпучих материалов на норию II-100 .....	35
4.2.2. Горизонтальное давление сыпучих материалов на норию II-175 .....	35
4.2.3. Горизонтальное давление сыпучих материалов на норию II-350 .....	35
<b>5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>36</b>

# 1. ВВЕДЕНИЕ

Элеваторы, склады силосного типа и другие предприятия по хранению и переработке растительного сырья устроены по одной схеме: механизмы вертикальной транспортировки зерна установлены так, что части их конструктивных элементов (норийные трубы) иногда проходят через силосы, бункера или шахты.

Нории относятся к взрывоопасному оборудованию в связи с наличием в их внутренней части пылевоздушной смеси органической пыли, образующейся во время работы. Нории чаще всего становятся источником первичного воспламенения в зданиях взрывопожароопасных производственных объектов хранения и переработки растительного сырья. Причины возникновения открытого огня внутри нории могут быть разными.

При попадании открытого огня происходит взрыв в свободном объеме нории, что приводит к разрыву ограждающих стенок, выбросу пламени и высокотемпературных продуктов горения в производственные помещения. Это приводит к взвихриванию пыли, осевшей на стенах и полу, следующему вторичному самовоспламенению в помещении и уничтожению конструкции всего сооружения.

Особенно опасен разрыв норийных труб при взрыве внутри замкнутого пространства бункеров, силосов, шахт, где также имеется пыль, при воспламенении которой строение максимально разрушается. Поэтому конструкции норийных труб внутри этих строений необходимо защищать от выброса горючих веществ.

В соответствии с приказом РТН от 03.12.2020 № 331 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности взрывопожароопасных производственных объектов хранения и переработки растительного сырья" «норийные трубы норий (кроме норий минерального сырья), проходящие внутри бункеров, силосов и шахт, должны быть рассчитаны на внутреннее остаточное давление пылевоздушного взрыва и внешнее давление сыпучего продукта в бункерах и силосах».

Для укрепления норийных труб, проходящих через силосы и бункера применяется усиление.

Усиление стальных конструкций может производиться следующими способами:

- увеличением сечений элементов;
- устройством дополнительных связей ребер, диафрагм и распорок для увеличения местной и общей устойчивости конструкций;
- установкой дополнительных элементов с целью изменения конструктивной схемы;

- обетонированием стальных конструкций.

Увеличение толщины листа норийной трубы нерационально, поскольку резко возрастает расход материала. К тому же этот способ невозможно выполнить с трубами, находящимися в эксплуатации.

При выборе способа усиления следует учитывать факторы, определяющие возможность применения того или иного способа усиления в данных условиях с учетом агрессивности среды и пожароопасности производственных помещений, фактора, определяющего возможность выполнения усиления без остановки основного производства или с его остановкой, недопустимости запыленности и сварочных работ во взрывоопасных помещениях, а также уменьшения габаритов помещений в результате усиления.

Поэтому при расчете будет рассмотрено устройство дополнительных ребер жесткости для усиления отдельных элементов конструкций, а именно секций норийных труб, проходящих через силосы, бункера и шахты.

## 2. РАСЧЕТ ЗАЩИЩАЕМОГО ОБЪЕМА НОРИЙ

### 2.1. Элеватор №1. Нории П-175/60 №№ 3, 4; Н=55,3 м

Размеры норий приняты по данным Альбома нормалей транспортирующего оборудования для зерна и муки №5956/126, раздел 1 Нории

#### 2.1.1. Общий объем нории

$$V_{\text{общ.}} = V_{\text{головки}} + V_{\text{башмака}} + V_{\text{труб}} \quad (1)$$

$$V_{\text{головки}} = 1,76 \times 0,6 \times 2,04 = 2,15 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{башмака}} = 1,47 \times 1,4 \times 0,6 = 1,23 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{труб}} = 51,86 \times 0,38 \times 0,6 \times 2 = 23,65 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{общ.}} = 2,15 + 1,23 + 23,65 = 27,04 \text{ м}^3$$

Из общего объема норий вычитается объем, расположенных внутри него узлов и агрегатов, м<sup>3</sup>

#### 2.1.2. Объем, занимаемый норийной лентой:

$$V_{\text{л}} = L_{\text{л}} \times B \times h, \quad (2) \quad \text{где}$$

$L_{\text{л}}$  - длина норийной ленты, м

$B$  - ширина норийной ленты, м

$h$  - толщина норийной ленты, =0,016 м (Ремень 450-6-ТК-200-2-Б Гост 23231-79)

$$L_{\text{л}} = 2(H - H_1 - H_2) + \frac{\pi d_{\text{бг}}}{2} + \frac{\pi d_{\text{бб}}}{2}, \quad (3) \quad \text{где}$$

$H$  - высота нории, м

$H_1, H_2$  - расстояние от пола до оси барабана башмака; расстояние от головки до оси барабана башмака, м

$\frac{\pi d_{\text{бг}}}{2}; \frac{\pi d_{\text{бб}}}{2}$  - длины дуг барабанов, огибаемых норийной лентой, м

$$L_{\text{л}} = 2(55,30 - 0,68 - 0,86) + 1,256 + 1,82 = 111 \text{ м}$$

$$V_{\text{л}} = 111 \times 0,45 \times 0,016 = 0,80 \text{ м}^3$$

#### 2.1.3. Объем, занимаемый ковшами:

$$V_{\text{ковш. общ.}} = V_{\text{ковша}} \times n/2, \quad \text{где}$$

$V_k$ - объем одного ковша=0,0065 м<sup>3</sup>

n – количество ковшей на норийной ленте, шт.

$n = L_n$  : шаг ковшей (шаг ковшей 210 мм)

$n = 111 : 0,21 = 527$

$V_{\text{ковш.}} = 0,0065 \times 527 : 2 = 1,71 \text{ м}^3$  (ковши без зерна не учитываем)

#### 2.1.4. Объем, занимаемый приводным барабаном:

$$V_{\text{прив.б.}} = \frac{\pi D_{\text{пр.}}^2}{4} \times L, \quad (4) \quad \text{где}$$

L- длина барабана = 0,5м

$D_{\text{пр.}}$  – диаметр приводного барабана, м

$$V_{\text{прив. б.}} = \frac{3,14 \times 1,16^2}{4} \times 0,5 = 0,528 \text{ м}^3$$

#### 2.1.5. Объем, занимаемый натяжным барабаном:

$$V_{\text{натяж. б.}} = \frac{\pi D_{\text{натяж}}^2}{4} \times L = \frac{3,14 \times 0,8^2}{4} \times 0,5 = 0,251 \text{ м}^3$$

#### 2.1.6. Защищаемый объем нории

$$V_{\text{защ.}} = V_{\text{общ.}} - V_{\text{л.}} - V_{\text{ковш.}} - V_{\text{прив.б.}} - V_{\text{натяж.б.}} = 27,04 - 0,80 - 1,71 - 0,528 - 0,251 = 23,75 \text{ м}^3$$

Аналогично рассчитываем остальные нории.

### 2.2. Элеватор №2. Нории II-175/60 №№ 1, 2, 3; H=57,38 м

Общий объем нории

$$V_{\text{головки}} = 2,15 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{башмака}} = 1,23 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{труб}} = 53,94 \times 0,38 \times 0,6 \times 2 = 24,60 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{общ.}} = 2,15 + 1,23 + 24,60 = 27,99 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый норийной лентой:

$$V_{\text{л.}} = 115 \times 0,45 \times 0,016 = 0,83 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый ковшами:

$$n=115:0,21=547$$

$$V_{\text{ковш.}}=0,0065 \times 547 : 2 = 1,78 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый приводным барабаном:

$$V_{\text{прив. б.}}=0,528 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый натяжным барабаном:

$$V_{\text{натяж. б.}}=0,251 \text{ м}^3$$

Защищаемый объем нории

$$V_{\text{защ.}}=V_{\text{общ.}}-V_{\text{л.}}-V_{\text{ковш.}}-V_{\text{прив. б.}}-V_{\text{натяж. б.}}=27,99-0,83-1,78-0,528-0,251=24,60 \text{ м}^3$$

### 2.3. Сушилка. Нория II-100/45 №13; H=39,9 м

Общий объем нории

$$V_{\text{головки}}=0,89 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{башмака}}=0,51 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{труб}}=36,708 \times 0,26 \times 0,376 \times 2 = 7,18 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{общ.}}=0,89+0,51+7,18=8,58 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый норийной лентой:

$$V_{\text{л.}}=79,4 \times 0,3 \times 0,016 = 0,38 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый ковшами:

$$n=79,4:0,18=441$$

$$V_{\text{ковш.}}=0,003 \times 441 : 2 = 0,71 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый приводным барабаном:

$$V_{\text{прив. б.}}=0,132 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый натяжным барабаном:

$$V_{\text{натяж. б.}}=0,132 \text{ м}^3$$

Защищаемый объем нории

$$V_{\text{защ.}}=V_{\text{общ.}}-V_{\text{л.}}-V_{\text{ковш.}}-V_{\text{прив. б.}}-V_{\text{натяж. б.}}=8,58-0,38-0,71-0,132 \times 2 = 7,22 \text{ м}^3$$

### 2.4. Сушилка. Нория II-350/45 №11; H=39,8 м

$$V_{\text{головки}}=6,41 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{башмака}}=1,69 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{труб}} = 35,49 \times 0,40 \times 0,95 \times 2 = 26,97 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{общ.}} = 6,41 + 1,69 + 26,97 = 35,08 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый норийной лентой:

$$V_{\text{л}} = 79,4 \times 0,8 \times 0,016 = 1,02 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый ковшами:

$$n = 79,4 : 0,32 = 248$$

$$V_{\text{ковш.}} = 0,009 \times 248 : 2 = 1,02 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый приводным барабаном:

$$V_{\text{прив. б.}} = 1,61 \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый натяжным барабаном:

$$V_{\text{натяж. б.}} = 0,40 \text{ м}^3$$

Защищаемый объем нории

$$V_{\text{заш.}} = V_{\text{общ.}} - V_{\text{л}} - V_{\text{ковш.}} - V_{\text{прив. б.}} - V_{\text{натяж. б.}} = 35,08 - 1,02 - 1,07 - 1,61 - 0,40 = 30,98 \text{ м}^3$$

Все данные для расчета и полученные результаты сведены в таблицу 1:

Таблица 1

**Параметры, необходимые для вычисления защищаемых объемов норий  
и вычисленные объемы**

Параметры		Марка нории			
		Элеватор 1	Элеватор 2	Сушилка	
		II-175/60	II-175/60	II-100/45	II-350/45
		№№3,4	№№1,2, 3	№13	№11
Высота нории, м		55,3	57,38	39,9	39,8
головка	длина, м	1,76	1,76	1,22	2,28
	ширина, м	0,6	0,6	0,376	0,95
	высота, м	2,04	2,04	1,942	2,96
	объем, м <sup>3</sup>	2,15	2,15	0,89	6,41
ветки	длина, м	0,38	0,38	0,26	0,4
	ширина, м	0,6	0,6	0,376	0,95
	высота, м	51,86	53,94	36,708	35,49
	объем, м <sup>3</sup>	23,65	24,60	7,18	26,97
башмак	длина, м	1,47	1,47	1,08	1,32
	ширина, м	0,6	0,6	0,376	0,95
	высота, м	1,4	1,4	1,25	1,35
	объем, м <sup>3</sup>	1,23	1,23	0,51	1,69
<b>Общий объем, м<sup>3</sup></b>		<b>27,04</b>	<b>27,99</b>	<b>8,58</b>	<b>35,08</b>



Параметры		Марка норин			
		Элеватор 1	Элеватор 2	Сушилка	
		II-175/60	II-175/60	II-100/45	II-350/45
		№№3,4	№№1,2, 3	№13	№11
норийная лента с ковшами и барабаны	d барабана головки, м	1,16	1,16	0,75	1,6
	L барабана, м	0,50	0,50	0,30	0,80
	d барабана башмака, м	0,8	0,8	0,75	0,8
	H, расстояние от пола до оси барабана башмака, м	0,675	0,675	0,61	0,67
	H, расстояние от головки до оси барабана, м	0,86	0,86	0,751	1,3
	L ленты, м	111	115	79	79
	объем ковша, м <sup>3</sup>	0,0065	0,0065	0,0032	0,0086
	кол-во ковшей, шт.	527	547	441	248
	шаг ковшей, м	0,21	0,21	0,18	0,32
	ширина ленты, м	0,45	0,45	0,3	0,8
	толщина ленты, м	0,016	0,016	0,016	0,016
	объем ленты, м <sup>3</sup>	0,80	0,83	0,38	1,02
	объем ковшей с зерном, м <sup>3</sup>	1,71	1,78	0,71	1,07
	объем барабанов, м <sup>3</sup>	0,78	0,78	0,26	2,01
<b>Защищаемый объем, м3</b>		<b>23,75</b>	<b>24,60</b>	<b>7,22</b>	<b>30,98</b>

### 3. РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА В НОРИЯХ

#### 3.1. Расчет остаточного давления взрыва при оборудовании нории одним взрыворазрядителем

##### 3.1.1. Элеватор №1. Нория II-175/60 №3 (№4)-

оснащена одним взрыворазрядителем от головки нории диаметром 380 мм длиной 1,69 м, Защищаемый объем  $V=23,8 \text{ м}^3$ .

Определение остаточного давления для нории, оснащенной одним взрыворазрядителем производится по формуле:

$$\Delta P_{\text{ост}} = \sqrt{0,01 \xi_{\Sigma} a^2 \left( \frac{V^{2/3}}{F_{\text{взр}}} + K \right)^2 + 1} - 1 \quad (6), \text{ где}$$

$\xi_{\Sigma}$  - суммарный коэффициент гидравлического сопротивления отводящего трубопровода;

$a$  - коэффициент, характеризующий давление вскрытия взрыворазрядного устройства;

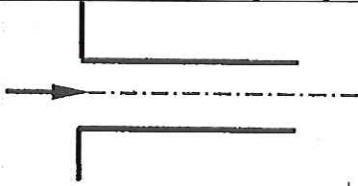
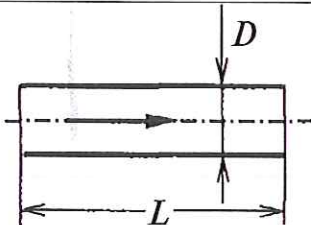
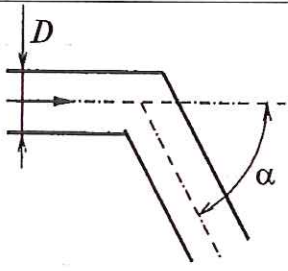
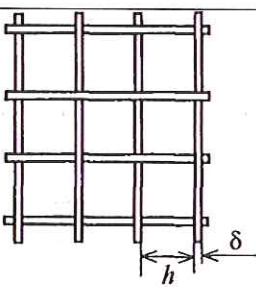

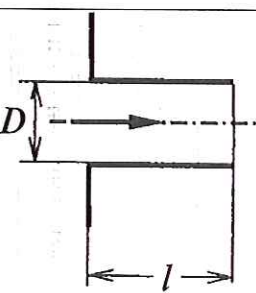
$V$  - свободный объем защищаемого оборудования, величина которого определяется как разность геометрического объема оборудования и объема расположенных внутри него узлов и агрегатов,  $\text{м}^3$ ;

$F_{\text{взр}}$  - площадь взрыворазрядителя,  $\text{м}^2$

$K$  - коэффициент, характеризующий длину ( $L$ , м) отводящего трубопровода взрыворазрядного устройства.

Вычисление суммарных коэффициентов гидравлического сопротивления отводящих трубопроводов взрыворазрядителей производится с использованием данных из таблицы 2.

### Коэффициенты гидравлических сопротивлений отводящих трубопроводов взрывозарядителей

Вход в трубопровод с острой кромкой		$\xi_{\text{вх}} = 0,5$																		
Прямолинейный участок		$\xi_L = 0,013L/D^{1,25}$ , приблизленно $\xi_L = \xi'_D \times 0,5L$ (L и D, м)																		
		<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>D, м</th> <th>0,20</th> <th>0,25</th> <th>0,30</th> <th>0,40</th> <th>0,50</th> <th>0,60</th> <th>0,80</th> <th>1,00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\xi'_D</math></td> <td>0,19</td> <td>0,15</td> <td>0,12</td> <td>0,08</td> <td>0,06</td> <td>0,05</td> <td>0,04</td> <td>0,03</td> </tr> </tbody> </table>	D, м	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	$\xi'_D$	0,19	0,15	0,12	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
D, м	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00												
$\xi'_D$	0,19	0,15	0,12	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03												
Резкий поворот на угол $\alpha$ (колени)		$\xi_{\alpha} = \xi'_{\alpha} (1 + 0,2/D)$																		
		<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th><math>\alpha^{\circ}</math></th> <th>15</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>45</th> <th>60</th> <th>75</th> <th>90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\xi'_{\alpha}</math></td> <td>0,09</td> <td>0,12</td> <td>0,20</td> <td>0,35</td> <td>0,55</td> <td>0,80</td> <td>1,20</td> </tr> </tbody> </table>	$\alpha^{\circ}$	15	20	30	45	60	75	90	$\xi'_{\alpha}$	0,09	0,12	0,20	0,35	0,55	0,80	1,20		
$\alpha^{\circ}$	15	20	30	45	60	75	90													
$\xi'_{\alpha}$	0,09	0,12	0,20	0,35	0,55	0,80	1,20													
Сетка в трубопроводе		$\xi_c \leq 3,5(\delta/h)^2 \left[ \frac{1,3}{1 + (\delta/h)^2} + (\delta/h)^2 \right]$																		
		<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th><math>\delta/h</math></th> <th>0,5</th> <th>0,10</th> <th>0,20</th> <th>0,30</th> <th>0,40</th> <th>0,50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\xi_c</math></td> <td>0,01</td> <td>0,05</td> <td>0,12</td> <td>0,40</td> <td>0,72</td> <td>1,13</td> </tr> </tbody> </table>	$\delta/h$	0,5	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	$\xi_c$	0,01	0,05	0,12	0,40	0,72	1,13				
$\delta/h$	0,5	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50														
$\xi_c$	0,01	0,05	0,12	0,40	0,72	1,13														
Выход из трубы с косым срезом		$\xi_{\text{вых}} = 1$																		
Отверстие в стенке (короткий патрубок)		<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>l/D</th> <th>0</th> <th>0,2</th> <th>0,4</th> <th>0,6</th> <th>0,8</th> <th>1,0</th> <th>1,6</th> <th>2...3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\xi_{\Sigma}</math></td> <td>2,85</td> <td>2,72</td> <td>2,60</td> <td>2,34</td> <td>1,95</td> <td>1,76</td> <td>1,60</td> <td>1,55</td> </tr> </tbody> </table>	l/D	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,6	2...3	$\xi_{\Sigma}$	2,85	2,72	2,60	2,34	1,95	1,76	1,60	1,55
l/D	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,6	2...3												
$\xi_{\Sigma}$	2,85	2,72	2,60	2,34	1,95	1,76	1,60	1,55												

При соотношении  $L/D > 3$  значение суммарного коэффициента гидравлического сопротивления определяется как сумма коэффициентов гидравлического сопротивления отдельных элементов отводящего трубопровода (входа, прямолинейных участков, поворотов,

выхода).

- вход в трубопровод с острой кромкой  $\xi_{\text{вх}} = 0,5$

-прямой участок  $\xi_L = 0,013L/D^{1,25} = 0,013 \times 1,69/0,38^{1,25} = 0,07$

-сетка в трубопроводе  $\xi_c = 0,05$

-выход из трубы с косым срезом  $\xi_{\text{вых}} = 1$

$$\xi_{\Sigma} = 0,5 + 0,07 + 0,05 + 1 = 1,62$$

Значение коэффициента  $a$  определяется из соотношений:

$a = 0,4$  при  $\Delta P_{\text{ст}} \leq 0,1$  кгс/см<sup>2</sup>,

$a = 0,268 + 1,32\Delta P_{\text{ст}}$  при  $\Delta P_{\text{ст}} > 0,1$  кгс/см<sup>2</sup> , где

$\Delta P_{\text{ст}}$  - избыточное статическое давление вскрытия взрыворазрядного устройства, величина которого для разрывных мембран диаметром  $D$ , мм из полиэтиленовой пленки толщиной  $\delta$ , мм определяется из соотношения

$$\Delta P_{\text{ст}} = 440 \frac{\delta}{D} \quad (7)$$

Толщину  $\delta$  полиэтиленовой пленки, применяемой для разрывных мембран во взрыворазрядителях бандажного или шиберного типа, необходимо выбирать в зависимости от диаметра  $D$  проходного сечения взрыворазрядителя в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3

**Толщина  $\delta$  полиэтиленовой пленки для разрывных мембран во взрыворазрядителях бандажного или шиберного типа в зависимости от диаметра  $D$  проходного сечения взрыворазрядителя**

$D$ , м	От 0,2 до 0,3	Свыше 0,3 до 0,4	Свыше 0,4 до 0,5	Свыше 0,5 до 0,65	Свыше 0,65 до 0,85	Свыше 0,85 до 1,05	Свыше 1,05 до 1,25
$\delta$ , мм	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15	0,20	0,25

$$\Delta P_{\text{ст}} = 440 \times 0,07 / 380 = 0,08 \leq 0,1, \text{ следовательно, } a = 0,4$$

Значение коэффициента  $K$  определяется из соотношений:

$$K = 3L \text{ при } L \leq 3,5 \text{ м}$$

$$K = 10,5 \text{ при } L > 3,5 \text{ м, где } L \text{ - длина отводящего трубопровода, м}$$

Т.к. длина взрыворазрядителя  $1,69 \leq 3,5$  (м), то  $K = 3 \times 1,69 = 5,07$

$$\text{Площадь взрыворазрядителя } F_{\text{взр}} = \pi D^2 / 4 = 3,14 \times 0,38^2 / 4 = 0,11$$

$$\Delta P_{\text{ост.}} = \sqrt{0,01 \times 1,62 \times 0,4^2 \left( \frac{23,8^{2/3}}{0,11} + 5,07 \right)^2} + 1 - 1 = 3,1$$

### 3.1.2. Сушилка. Нория II-350/45 №11-

оснащена одним взрыворазрядителем от головки нории прямоугольного сечения размером 820×770 мм длиной 0,8 м, Защищаемый объем  $V=30,98 \text{ м}^3$ . При прямоугольной форме проходного сечения взрыворазрядителя со сторонами  $h$  и  $b$  приведенный диаметр проходного сечения определяется по формуле:

$$D = \frac{2bh}{h+b} \quad (8)$$

$$D = 2 \times 0,82 \times 0,77 / 0,82 + 0,77 = 0,79 \text{ м}$$

Для прямолинейных отводящих трубопроводов при соотношении  $L/D < 3$  значение суммарного коэффициента гидравлического сопротивления принимается равным соответствующему коэффициенту гидравлического сопротивления - «отверстие в стенке (короткий патрубок)»

$$L/D = 0,8 : 0,79 = 1$$

$$\xi_{\Sigma} = 1,76$$

$$a = 0,4$$

$$K = 3 \times 0,80 = 2,04$$

Площадь взрыворазрядителя  $F_{\text{взр}} = \pi D^2 / 4 = 3,14 \times 0,79^2 / 4 = 0,50$

$$\Delta P_{\text{ост.}} = \sqrt{0,01 \times 1,76 \times 0,4^2 \left( \frac{31^{2/3}}{0,5} + 2,4 \right)^2} + 1 - 1 = 0,5$$

### 3.1.3. Сушилка. Нория II-100/45 №13

оснащена одним взрыворазрядителем от головки нории диаметром 300 мм длиной 2,0 м, Защищаемый объем  $V=7,22 \text{ м}^3$

- вход в трубопровод с острой кромкой  $\xi_{\text{вх}}=0,5$

-прямолинейный участок  $\xi_L=0,013L/D1,25=0,013 \times 2,00/0,301,25=0,12$

-сетка в трубопроводе  $\xi_c=0,05$

-выход из трубы с косым срезом  $\xi_{\text{вых}}=1$

$$\xi_{\Sigma}=0,5+0,07+0,05+1=1,67$$

$$a=0,4$$

Т.к. длина взрыворазрядителя  $2,0 \leq 3,5$ , то  $K=3 \times 2,00=6,00$

$$\Delta P_{\text{ост.}} = \sqrt{0,01 \times 1,67 \times 0,4^2 \left( \frac{7,22^{2/3}}{0,07} + 6,0 \right)^2} + 1 - 1 = 2,2$$

### 3.2. Расчет остаточного давления взрыва при оборудовании нории несколькими взрыворазрядителями

#### 3.2.1. Элеватор №2. Нория II-175/60 №1-

оснащена тремя взрыворазрядителями: один от головки нории диаметром **380** мм длиной **1,56** м и два от веток нории прямоугольного сечения **210×260** мм длиной **1,63** м, на одной ветке колена на  $30^\circ$ , на другой  $45^\circ$ . Защищаемый объем нории **24,6** м<sup>3</sup>. На взрыворазрядителях от веток установлены откидные клапана, следовательно, в защищаемый объем дополнительно входит объем взрыворазрядителей до клапана.

При прямоугольной форме проходного сечения взрыворазрядителя со сторонами  $h$  и  $b$  приведенный диаметр проходного сечения определяется по формуле (8):

$$D=2 \times 0,21 \times 0,26 / (0,21 + 0,26) = 0,23 \text{ м}$$

$$V_{\text{взр}} = \frac{\pi D^2}{4} \times L = \frac{3,14 \times 0,23^2}{4} \times 1,63 = 0,07$$

Защищаемый объем для нории II-175/60 №1:

$$V_{\text{общ.}} = V_{\text{нор.}} + 2V_{\text{взр.}} = 24,6 + 2 \times 0,07 = 24,74$$

Определение остаточного давления взрыва  $\Delta P_{\text{ост}}$  в защищаемом оборудовании с несколькими взрыворазрядителями производится по формуле:

$$\Delta P_{\text{ост}} = \sqrt{0,01 a^2 \left( \frac{V^{2/3} + K_1 F_{\text{взр1}} + K_2 F_{\text{взр2}} + \dots}{F_1 / \sqrt{\xi_{\Sigma_1}} + F_2 / \sqrt{\xi_{\Sigma_2}} + \dots} \right)^2} + 1 - 1$$

(9), где

$a$  - коэффициент, характеризующий давление вскрытия взрыворазрядного устройства;

$V$  - свободный объем защищаемого оборудования, величина которого определяется как разность геометрического объема оборудования и объема расположенных внутри него узлов и агрегатов,  $\text{м}^3$ ;

$F_{\text{взр.1,2}}$  - площади взрыворазрядителей,  $\text{м}^2$

$K$  - коэффициент, характеризующий длину ( $L$ , м) отводящего трубопровода взрыворазрядного устройства.

$N$  - число одинаковых взрыворазрядителей, которыми защищается одна единица оборудования;

$\xi_{\Sigma N}$  - суммарный коэффициент гидравлического сопротивления отводящего трубопровода от одного взрыворазрядителя при защите оборудования одинаковыми взрыворазрядителями, величина которого определяется как сумма гидравлических сопротивлений.

Взрыворазрядитель от головки норрии диаметром 380 мм длиной 1,56 м

-вход в трубопровод с острой кромкой  $\xi_{\text{вх}}=0,5$

-прямолинейный участок  $\xi_L=0,013L/D^{1,25}=0,013 \times 1,56/0,381^{1,25}=0,07$

-сетка в трубопроводе  $\xi_c=0,05$

-выход из трубы с косым срезом  $\xi_{\text{вых}}=1$

$\xi_{\Sigma 1}=0,5+0,07+0,05+1=1,62$

$a=0,4$

$K_1=3 \times 1,56=4,68$

Площадь взрыворазрядителя  $F_{\text{взр1}} = \frac{\pi D^2}{4} = 3,14 \times 0,38^2 / 4 = 0,11$

Взрыворазрядитель от ветки норрии сечением 210×260 мм длиной 1,63 м с коленом 30°

Диаметр проходного сечения по формуле 8:

$D=2 \times 0,21 \times 0,26 / 0,21 + 0,26 = 0,23$  м

- резкий поворот на угол 30-вход в трубопровод с острой кромкой  $\xi_{\text{вх}}=0,5$

-прямолинейный участок  $\xi_L=0,013L/D^{1,25}=0,013 \times 1,63/0,23^{1,25}=0,13$

-(колени)  $\xi_{\alpha}=(1+0,2/D) \xi_{1\alpha}=(1+0,2/0,23) \times 0,2=0,37$

-сетка в трубопроводе  $\xi_c=0,05$

-выход из трубы с косым срезом  $\xi_{\text{вых}}=1$

$\xi_{\Sigma 2}=0,5+0,13+0,37+0,05+1=2,05$

$$a=0,4$$

$$K_2=3 \times 1,63=4,89$$

$$\text{Площадь взрыворазрядителя } F_{\text{взр2}} = \frac{\pi D^2}{4} = 3,14 \times 0,23^2 / 4 = 0,04$$

Взрыворазрядитель от ветки нории сечением 210×260 мм длиной 1,63 м с коленом 45°

диаметр проходного сечения:

$$D=2 \times 0,21 \times 0,26 / 0,21 + 0,26 = 0,23 \text{ м}$$

- вход в трубопровод с острой кромкой  $\xi_{\text{вх}}=0,5$

- прямолинейный участок  $\xi_L=0,013L/D^{1,25}=0,013 \times 1,63 / 0,23^{1,25}=0,13$

- резкий поворот на угол 45° (колени)  $\xi_{\alpha}=(1+0,2/D) \xi_{\alpha}^1=(1+0,2/0,23) \times 0,35=0,65$

- сетка в трубопроводе  $\xi_c=0,05$

- выход из трубы с косым срезом  $\xi_{\text{вых}}=1$

$$\xi_{\Sigma 3} = 0,5 + 0,13 + 0,65 + 0,05 + 1 = 2,33$$

$$a=0,4$$

$$K_3=3 \times 1,63=4,89$$

$$\text{Площадь взрыворазрядителя } F_{\text{взр3}} = \frac{\pi D^2}{4} = 3,14 \times 0,23^2 / 4 = 0,04$$

$$\Delta P_{\text{ост.}} = \sqrt{0,01 \times 0,4^2 \left( \frac{24,7^{2/3} + 4,68 \times 0,11 + 4,89 \times 0,04 + 4,89 \times 0,04}{\frac{0,11}{\sqrt{1,62}} + \frac{0,04}{\sqrt{2,05}} + \frac{0,04}{\sqrt{2,33}}} \right)^2} + 1 - 1 = 1,85$$

### 3.2.2. Элеватор №2. Нория II-175/60 №2 -

оснащена тремя взрыворазрядителями: один от головки нории диаметром **380** мм длиной **1,56** м и два от веток нории прямоугольного сечения **210×260** мм длиной **1,63** м, на каждой ветке колени на 45°. Защищаемый объем нории **24,6** м<sup>3</sup>. На взрыворазрядителях от веток установлены откидные клапана, следовательно, в защищаемый объем дополнительно входит объем взрыворазрядителей до клапана.

$$D = 2 \times 0,21 \times 0,26 / 0,21 + 0,26 = 0,23 \text{ м}$$

$$V_{\text{взр}} = \frac{\pi D^2}{4} \times L = \frac{3,14 \times 0,23^2}{4} \times 1,63 = 0,07$$

Защищаемый объем для нории II-175/60 №2:



$$V_{\text{общ.}} = V_{\text{нор.}} + 2V_{\text{взр.}} = 24,6 + 2 \times 0,07 = 24,74$$

Взрыворазрядители от веток нории сечением 210×260 мм длиной 1,63 м с коленом 45° абсолютно идентичны.

диаметр проходного сечения:

$$D = 2 \times 0,21 \times 0,26 / 0,21 + 0,26 = 0,23 \text{ м}$$

- вход в трубопровод с острой кромкой  $\xi_{\text{вх}} = 0,5$

- прямолинейный участок  $\xi_L = 0,013L/D^{1,25} = 0,013 \times 1,63 / 0,23^{1,25} = 0,13$

- резкий поворот на угол 45° (колени)  $\xi_{\alpha} = (1 + 0,2/D) \xi_{\alpha}^1 = (1 + 0,2/0,23) \times 0,35 = 0,65$

- сетка в трубопроводе  $\xi_c = 0,05$

- выход из трубы с косым срезом  $\xi_{\text{вых}} = 1$

$$\xi_{\Sigma 2,3} = 0,5 + 0,13 + 0,65 + 0,05 + 1 = 2,33$$

$$a = 0,4$$

$$K_{2,3} = 3 \times 1,63 = 4,89$$

$$\text{Площадь взрыворазрядителя } F_{\text{взр}2,3} = \frac{\pi D^2}{4} = 3,14 \times 0,23^2 / 4 = 0,04$$

$$\Delta P_{\text{ост.}} = \sqrt{0,01 \times 0,4^2 \left( \frac{24,7^{2/3} + 4,68 \times 0,11 + 2 \times (4,89 \times 0,04)}{0,11 / \sqrt{1,62} + 2 \times 0,04 / \sqrt{2,33}} \right)^2} + 1 - 1 = 1,79$$

### 3.2.3. Элеватор №2. Нория II-175/60 №3

оснащена тремя взрыворазрядителями: один от головки нории диаметром **380** мм длиной **1,56** м и два от веток нории прямоугольного сечения **210×260** мм длиной **1,63** м, на одной ветке колено на 45°, на второй колено на 60°. Защищаемый объем нории **24,6** м<sup>3</sup>. На взрыворазрядителях от веток установлены откидные клапана, следовательно, в защищаемый объем дополнительно входит объем взрыворазрядителей до клапана.

$$D = 2 \times 0,21 \times 0,26 / 0,21 + 0,26 = 0,23 \text{ м}$$

$$V_{\text{взр}} = \frac{\pi D^2}{4} \times L = \frac{3,14 \times 0,23^2}{4} \times 1,63 = 0,07$$

Защищаемый объем для нории II-175/60 №3:

$$V_{\text{общ.}} = V_{\text{нор.}} + 2V_{\text{взр.}} = 24,6 + 2 \times 0,07 = 24,74$$

Взрыворазрядители от веток нории сечением 210×260 мм длиной 1,63 м с коленом 45°

диаметр проходного сечения:

$$D = 2 \times 0,21 \times 0,26 / 0,21 + 0,26 = 0,23 \text{ м}$$

- вход в трубопровод с острой кромкой  $\xi_{\text{вх}} = 0,5$

- прямолинейный участок  $\xi_L = 0,013L/D^{1,25} = 0,013 \times 1,63 / 0,23^{1,25} = 0,13$

- резкий поворот на угол 45° (колени)  $\xi_{\alpha} = (1 + 0,2/D) \xi_{\alpha}^1 = (1 + 0,2/0,23) \times 0,35 = 0,65$

- сетка в трубопроводе  $\xi_c = 0,05$

- выход из трубы с косым срезом  $\xi_{\text{вых}} = 1$

$$\xi_{\Sigma 2,3} = 0,5 + 0,13 + 0,65 + 0,05 + 1 = 2,33$$

$$a = 0,4$$

$$K_{2,3} = 3 \times 1,63 = 4,89$$

$$\text{Площадь взрыворазрядителя } F_{\text{взр}2,3} = \frac{\pi D^2}{4} = 3,14 \times 0,23^2 / 4 = 0,04$$

Взрыворазрядители от веток нории сечением 210\*260 мм длиной 1,63 м с коленом 60°

диаметр проходного сечения:

$$D = 2 \times 0,21 \times 0,26 / 0,21 + 0,26 = 0,23 \text{ м}$$

- вход в трубопровод с острой кромкой  $\xi_{\text{вх}} = 0,5$

- прямолинейный участок  $\xi_L = 0,013L/D^{1,25} = 0,013 \times 1,63 / 0,23^{1,25} = 0,13$

- резкий поворот на угол 60° (колени)  $\xi_{\alpha} = (1 + 0,2/D) \xi_{\alpha}^1 = (1 + 0,2/0,23) \times 0,55 = 1,02$

- сетка в трубопроводе  $\xi_c = 0,05$

- выход из трубы с косым срезом  $\xi_{\text{вых}} = 1$

$$\xi_{\Sigma 3} = 0,5 + 0,13 + 1,02 + 0,05 + 1 = 2,70$$

$$a = 0,4$$

$$K_3 = 3 \times 1,63 = 4,89$$

$$\text{Площадь взрыворазрядителя } F_{\text{взр}2,3} = \frac{\pi D^2}{4} = 3,14 \times 0,23^2 / 4 = 0,04$$

$$\Delta P_{\text{ост}} = \sqrt{0,01 \times 0,4^2 \left( \frac{24,7^{2/3} + 4,68 \times 0,11 + 4,89 \times 0,04 + 4,89 \times 0,04}{\frac{0,11}{\sqrt{1,62}} + \frac{0,04}{\sqrt{2,33}} + \frac{0,04}{\sqrt{2,7}}} \right)^2} + 1 - 1 = 1,82$$

**Значения минимальных диаметров  $D$  (площадей  $F_{взр}$ )  
проходного сечения взрыворазрядителей, устанавливаемых на головках норий**

Тип нории	$D_{взр}, \text{ м}$		$F_{взр}, \text{ м}^2$	
	норм.	факт.	норм.	факт.
II-100 №13	0,430	<b>0,300</b>	0,145	<b>0,07</b>
II-175 №3,4	0,6575	<b>0,38</b>	0,338	<b>0,11</b>
II-175 №1,2,3	0,6575	<b>0,38/(2×0,23)</b>	0,338	<b>0,19*</b>
II-350 №11	0,800	0,79	0,515	0,5

\*- суммарная площадь проходных сечений круглой формы основного и дополнительного взрыворазрядителей должна быть не менее площади проходного сечения взрыворазрядителя.

Как видно из таблицы, фактическая площадь взрыворазрядителей норий II-100 и II-175 **значительно ниже допустимой!**

*Т.к. площади проходных сечений взрыворазрядителей ( $F_{взр}, \text{ м}^2$ ) не соответствуют нормам (кроме нории II-350), нарушено условие того, что остаточное давление взрыва ( $\Delta P_{ост}$ , кгс/см<sup>2</sup>) не должно превышать допустимого значения внутреннего избыточного давления ( $\Delta P_{дон}$ , кгс/см<sup>2</sup>), величина которого определяется прочностью конструкции защищаемого оборудования.  $\Delta P_{дон} = 1 \text{ кгс/см}^2$ .*

Таблица 6

Объект	марка норн	№	Место установки взрыворядителя	защитаемый объем, м <sup>3</sup>	защитаемый объем взр-ля, м <sup>3</sup>	общий защитаемый объем, м <sup>3</sup>	сечение взрыворазрядителя		Дэжв, м	длина, м	L/D	F взр, М <sup>2</sup>	гидравлические сопротивления	ξ <sub>вх.</sub>	ξ <sub>л.</sub>	ξ <sub>отв</sub>	ξ <sub>сет.</sub>	ξ <sub>выл.</sub>	ξ <sub>Σ</sub>	а	К	ΔР доп., кгс/см <sup>2</sup>	ΔР ост., кгс/см <sup>2</sup> (кН/см <sup>2</sup> )
							h, м	b, м															
Элеватор №1	II-175/60	3	ГОЛОВКА	23,75		23,75	-	-	0,38	1,69	4	0,11	вход в трубопровод с острой кромкой, острый срез, сетка	0,50	0,07	0,00	0,05	1,00	1,62	0,40	5,07	1,00	3,10 (0,03)
			ГОЛОВА	23,75		23,75	-	-	0,38	1,69	4	0,11	вход в трубопровод с острой кромкой, острый срез, сетка	0,50	0,07	0,00	0,05	1,00	1,62	0,40	5,07	1,00	3,10 (0,03)
	II-175/60	1	ГОЛОВКА	24,60		24,60	-	-	0,38	1,56	4	0,11	вход в трубопровод с острой кромкой, острый срез, сетка	0,50	0,07	0,00	0,05	1,00	1,62	0,40	4,68	1,00	1,85 (0,018)
			ВЕТКА	24,60	0,07	24,67	0,26	0,21	0,23	1,63	7	0,04	вход в трубопровод с острой кромкой, резкий поворот на угол 30°, острый срез, сетка	0,50	0,13	0,37	0,05	1,00	2,05	0,40	4,89	1,00	1,85 (0,018)
Элеватор №2	II-175/60	1	ВЕТКА	24,60	0,07	24,67	0,26	0,21	0,23	1,63	7	0,04	вход в трубопровод с острой кромкой, резкий поворот на угол 45°, острый срез, сетка	0,50	0,13	0,65	0,05	1,00	2,33	0,40	4,89	1,00	1,85 (0,018)
			ГОЛОВКА	24,60		24,60	-	-	0,38	1,56	4	0,11	вход в трубопровод с острой кромкой, острый срез, сетка	0,50	0,07	0,00	0,05	1,00	1,62	0,40	4,68	1,00	1,85 (0,018)
	II-175/60	2	ВЕТКА	24,60	0,07	24,67	0,26	0,21	0,23	1,63	7	0,04	вход в трубопровод с острой кромкой, резкий поворот на угол 45°, острый срез, сетка	0,50	0,13	0,65	0,05	1,00	2,33	0,40	4,89	1,00	1,79 (0,018)
			ВЕТКА	24,60		24,60	0,26	0,21	0,23	1,63	7	0,04	вход в трубопровод с острой кромкой, резкий поворот на угол 45°, острый срез, сетка	0,50	0,13	0,65	0,05	1,00	2,33	0,40	4,89	1,00	1,79 (0,018)

Объект	марка норни	№	место установки взрыворазрядителя	защитаемый объем, м <sup>3</sup>	защитаемый объем взр-ля, м <sup>3</sup>	общий защитаемый объем, м <sup>3</sup>	сечение взрыворазрядителя		Дэжв, м	длина, м	L/D	F <sub>взр</sub> , м <sup>2</sup>	гидравлические сопротивления	ξ <sub>вх.</sub>	ξ <sub>L</sub>	ξ <sub>отв</sub>	ξ <sub>сст.</sub>	ξ <sub>вдох.</sub>	ξ <sub>Σ</sub>	а	К	ΔР доп., кгс/см <sup>2</sup>	ΔР ост., кгс/см <sup>2</sup> (кН/см <sup>2</sup> )	
							h, м	b, м																
сушилка	II-175/60	3	головка	24,60		24,60	-	-	0,38	1,56	4	0,11	вход в трубопровод с острой кромкой, острый срез, сетка	0,50	0,07	0,00	0,05	1,00	1,62	0,40	4,68	1,00	1,82 (0,018)	
			ветка	24,60	0,07	24,67	0,26	0,21	0,23	1,63	7	0,04	вход в трубопровод с острой кромкой, резкий поворот на угол 60°, острый срез, сетка	0,50	0,13	1,02	0,05	1,00	2,70	0,40	4,89	1,00		
			ветка	24,60	0,07	24,67	0,26	0,21	0,23	1,63	7	0,04	вход в трубопровод с острой кромкой, резкий поворот на угол 45°, острый срез, сетка	0,50	0,13	0,65	0,05	1,00	2,33	0,40	4,89	1,00		
	II-100/45	11	головка	30,98	0,00	30,98	0,82	0,77	0,79	0,80	1	0,50	короткий патрубков							1,76	0,40	2,40	1,00	0,55 (0,005)
			головка	7,22	0,00	7,22	-	-	0,30	2,00	7	0,07	вход в трубопровод с острой кромкой, острый срез, сетка	0,50	0,12	0,00	0,05	1,00	1,67	0,40	6,00	1,00	2,20 (0,022)	

## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИЩАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 4.1. Общие данные

Нории и бункера относятся к листовым конструкциям. Листовыми называются конструкции, состоящие в основном из металлических листов и предназначенные для хранения или транспортирования жидкостей, газов и сыпучих материалов.

Основными особенностями листовых конструкций, отличающими их от других металлических конструкций, являются следующие: для них характерно двухосное напряженное состояние, а в местах сопряжения различных оболочек на участках защемлений их у колец жесткости возникают местные напряжения, быстро затухающие по мере удаления от этих участков (явление краевого эффекта). Листовые конструкции совмещают несущие и ограждающие функции.

Количество горизонтальных ребер рекомендуется применять в зависимости от высоты пролета конструкции  $H$  в м:

- без ребер  $0,6 < H \leq 1,5$
- два ребра  $1,5 < H \leq 2,5$
- три ребра  $2,5 < H$

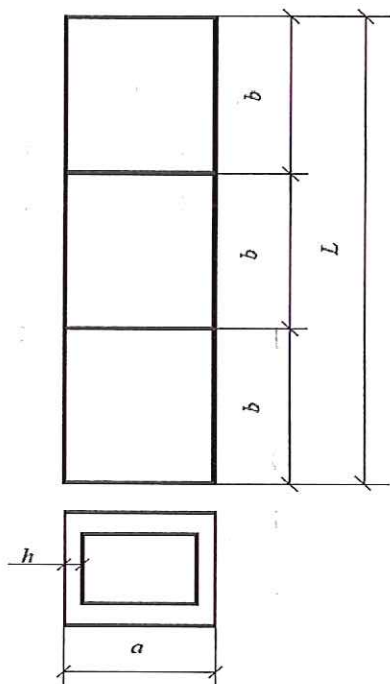
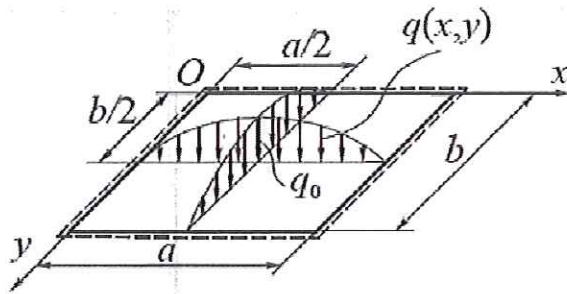


Рис.1

Предусматриваем 2 бандажа, которые усилят стенки норийной трубы, разделив ее на 3 равных участка по высоте. Расчет ведем по наиболее широкой части сечения норийной трубы. Представим часть норийной трубы стальной шарнирно опертой пластиной, находящейся под действием распределённой поперечной нагрузки (см. рис.2).



$$q(x, y) = q_0 \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}$$

Рис. 2.

Определим внутренние усилия в пластине:

$$M_x = -D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = \frac{q_0 \left( \frac{1}{a^2} + \nu \frac{1}{b^2} \right)}{\pi^2 \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2} \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}; \quad (9)$$

$$M_y = -D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) = \frac{q_0 \left( \frac{1}{b^2} + \nu \frac{1}{a^2} \right)}{\pi^2 \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2} \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}; \quad (10)$$

$$H = -D(1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = \frac{-q_0(1-\nu)}{\pi^2 ab \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2} \cos \frac{\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b}; \quad (11)$$

$$Q_x = D \frac{\partial^2 w}{\partial x} = \frac{q_0}{\pi a \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)} \cos \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}; \quad (12)$$

$$Q_y = D \frac{\partial^2 w}{\partial y} = \frac{q_0}{\pi a \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)} \sin \frac{\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b}; \quad (13)$$

$$W_0 = \frac{q_0}{D \pi^4 \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2} \quad (14)$$

Здесь  $D$  – жесткость пластины при изгибе, определяемая по формуле:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (15)$$

Наибольшие значения прогиб ( $W$ ) и изгибающие моменты ( $M_x^{\max}$ ,  $M_y^{\max}$ ) имеют в середине пластины ( $x=a/2$ ,  $y=b/2$ ), а крутящий момент ( $H$ ) – в угловых точках. Поперечные силы имеют наибольшие значения в середине сторон.

#### 4.1.1. Элеватор №1. Нория II-175/60 №3 (№4)-

Для расчетов примем:

- стороны пластины (нории II-175/60):  $a=60$  см,  $b=202/3=67$  см
- $q_0=\Delta P_{\text{ост}}=0,03$  кН/см<sup>2</sup> (см. таблицу 6)
- модуль упругости стали  $E=2,1 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>;
- расчетное сопротивление стали  $R_y=23$  кН/см<sup>2</sup>
- коэффициент Пуассона  $\nu=0,3$
- коэффициент условий работы  $\gamma_c=1$
- коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma_f=1$
- толщина стенки нории (по данным протоколов измерения толщины металлоконструкций (нории)  $h=0,18$  см

Определим числовые значения наибольших внутренних усилий.

$$M_x^{\max} = \frac{0,03 \left( \frac{1}{60^2} + 0,3 \frac{1}{67^2} \right)}{\pi^2 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 4,18 \text{ кНсм/см}$$

$$M_y^{\max} = \frac{0,03 \left( \frac{1}{67^2} + 0,3 \frac{1}{60^2} \right)}{\pi^2 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 3,71 \text{ кНсм/см}$$

$$H^{\max} = |H^{\min}| = \frac{0,03(1 - 0,3)}{3,14^2 \cdot 60 \cdot 67 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 2,11 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_x^{\max} = \frac{0,03}{3,14 \cdot 60 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,32 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_y^{\max} = \frac{0,03}{3,14 \cdot 67 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,28 \text{ кНсм/см}$$



$$D = \frac{2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,18^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 11$$

$$W_0 = \frac{0,03}{11 \cdot 3,14^4 \cdot \left(\frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2}\right)^2} = 112$$

Выразив наибольшие значения напряжений  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\tau_{xy} = \tau_{yx}$  через  $M_x, M_y$  и  $H$  и используя формулу

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq \gamma_c R \quad (16)$$

получим:

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{R\gamma_c} \sqrt{M_x^2 + M_y^2 - M_x M_y + 3H^2}} \quad (17)$$

Подставив сюда наибольшие значения внутренних усилий находим

Точка 1 ( $x=a/2, y=b/2$ )

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{4,18^2 + 3,71^2 - 4,18 \times 3,71}} = 1,02 \text{ см}$$

Точка 2 ( $x=0, y=0$ )

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{3 \times 2,11^2}} = 0,98 \text{ см}$$

Выбираем  $h$  максимальное, равное 1,02 см.

$h_{\max} - h_{\text{пластины}} = 1,02 - 0,18 = 0,84 \approx 0,9$  см - необходимая толщина усиления. Этим параметрам удовлетворяет уголок равнополочный  $75 \times 75 \times 9$ .

Проведем проверочный расчет.

Расчетный момент сопротивления горизонтального ребра:

$$W_p = \frac{bh^2}{6} = \frac{67 \times 0,9^2}{6} = 9,05 \text{ см}^3$$

$$M_p = 23 \times 9,05 = 208,03 \text{ кН/см}$$

$$q^p = \frac{8 \times 208,03}{67^2} = 0,37 \text{ кН/см}^2$$

При усилении ветки нории ребрами жесткости стенки нории выдержат давление 0,37 кН/см<sup>2</sup> (расчетное 0,3 кН/см<sup>2</sup>). Усилить норийные трубы, проходящие через бункера, необходимо следующим образом:

- на каждой норийной трубе длиной L= 2020 мм поставить 2 бандажа из угловой стали 75x75x9 мм;
- расстояние между бандажами должно быть не более 670 мм;
- бандаж выполнить из 2 симметричных половинок, которые соединяются болтом диаметром 16 мм с контргайкой.

#### 4.1.1. Элеватор №2. Нория П-175/60 №1

Для расчетов примем:

- стороны пластины (нории П-175/60): a=60 см, b=202/3=67 см

-  $q_0 = \Delta P_{\text{ост}} = 0,0181 \text{ кН/см}^2$  (см. таблицу 6)

- толщина стенки нории (по данным протоколов измерения толщины металлоконструкций (нории) h=0,16 см

$$M_{\text{max}_x} = \frac{0,0181 \left( \frac{1}{60^2} + 0,3 \frac{1}{67^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 2,52 \text{ кНсм/см}$$

$$M_{\text{max}_y} = \frac{0,0181 \left( \frac{1}{67^2} + 0,3 \frac{1}{60^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 2,24 \text{ кНсм/см}$$

$$H_{\text{max}} = |H_{\text{min}}| = \frac{0,0181(1 - 0,3)}{3,14^2 \cdot 60 \cdot 67 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 1,27 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_x^{\text{max}} = \frac{0,0181}{3,14 \cdot 60 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,19 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_y^{\max} = \frac{0,0181}{3,14 \cdot 67 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,17 \text{ кНсм/см}$$

$$D = \frac{2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,16^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 8$$

$$W_0 = \frac{0,0181}{8 \cdot 3,14^4 \cdot \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} = 93$$

Точка 1 (x=a/2, y=b/2)

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{2,24^2 + 1,27^2} - 2,24 \times 1,27} = 0,79 \text{ см}$$

Точка 2 (x=0, y=0)

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{3 \times 1,27^2}} = 0,76 \text{ см}$$

Выбираем h максимальное, равное 0,79 см.

h мах- h пластины=0,79-0,16=0,63≈0,7 см - необходимая толщина усиления. Этим параметрам удовлетворяет уголок равнополочный 70×70×7.

#### 4.1.2. Элеватор №2. Нория II-175/60 №2

Для расчетов примем:

– стороны пластины (нории II-175/60): a=60 см, b=67 см

– q<sub>0</sub>=ΔP<sub>ост</sub>=0,0176 кН/см<sup>2</sup>(см. таблицу 6)

- толщина стенки нории (по данным протоколов измерения толщины металлоконструкций (нории) h=0,16 см

$$M_x^{\max} = \frac{0,0176 \left( \frac{1}{60^2} + 0,3 \frac{1}{67^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 2,45 \text{ кНсм/см}$$

$$M_y^{\max} = \frac{0,0176 \left( \frac{1}{67^2} + 0,3 \frac{1}{60^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 2,18 \text{ кНсм/см}$$

$$H^{\max} = |H^{\min}| = \frac{0,0176(1 - 0,3)}{3,14^2 \cdot 60 \cdot 67 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 1,24 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_x^{\max} = \frac{0,0176}{3,14 \cdot 60 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,19 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_y^{\max} = \frac{0,0176}{3,14 \cdot 67 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,17 \text{ кНсм/см}$$

$$D = \frac{2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,16^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 8$$

$$W_0 = \frac{0,0176}{8 \cdot 3,14^4 \cdot \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} = 90$$

Точка 1 (x=a/2, y=b/2)

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{2,45^2 + 2,18^2 - 2,45 \times 2,18}} = 0,78 \text{ см}$$

Точка 2 (x=0, y=0)

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{3 \times 1,24^2}} = 0,75 \text{ см}$$

Выбираем h максимальное, равное 0,78 см.

h max- h пластины=0,78-0,16=0,62≈0,7 см - необходимая толщина усиления. Этим параметрам удовлетворяет уголок равнополочный 70×70×7.

#### 4.1.3. Элеватор №2. Нория II-175/60 №3

Для расчетов примем:

– стороны пластины (нории II-175/60): a=60 см, b=67 см

– q<sub>0</sub>=0,0178 кН/см<sup>2</sup>(см. таблицу б)

- толщина стенки нории (по данным протоколов измерения толщины металлоконструкций (нории)  $h=0,16$  см

$$M_x^{\max} = \frac{0,0178 \left( \frac{1}{60^2} + 0,3 \frac{1}{67^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 2,48 \text{ кНсм/см}$$

$$M_y^{\max} = \frac{0,0178 \left( \frac{1}{67^2} + 0,3 \frac{1}{60^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 2,20 \text{ кНсм/см}$$

$$H^{\max} = |H^{\min}| = \frac{0,0178(1 - 0,3)}{3,14^2 \cdot 60 \cdot 67 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 1,25 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_x^{\max} = \frac{0,0178}{3,14 \cdot 60 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,19 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_y^{\max} = \frac{0,0178}{3,14 \cdot 67 \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,17 \text{ кНсм/см}$$

$$D = \frac{2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,16^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 8$$

$$W_0 = \frac{0,0178}{8 \cdot 3,14^4 \cdot \left( \frac{1}{60^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} = 91$$

Точка 1 ( $x=a/2, y=b/2$ )

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{2,48^2 + 2,20^2 - 2,48 \times 2,20}} = 0,78 \text{ см}$$

Точка 2 ( $x=0, y=0$ )

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{3 \times 1,25^2}} = 0,75 \text{ см}$$

Выбираем  $h$  максимальное, равное 0,78 см.

$h_{\max} - h_{\text{пластины}} = 0,78 - 0,16 = 0,62 \approx 0,7$  см - необходимая толщина усиления. Этим параметрам удовлетворяет уголок равнополочный  $70 \times 70 \times 7$ .

#### 4.1.4. Сушилка. Нория II-350/45 №11

Для расчетов примем:

– стороны пластины (нории II-350/45):  $a=95$  см,  $b=68$  см

–  $q_0=\Delta P_{\text{отг}}=0,0054$  кН/см<sup>2</sup> (см. таблицу 6)

– толщина стенки нории (по данным протоколов измерения толщины металлоконструкций (нории)  $h=0,16$  см

$$M_x^{\max} = \frac{0,0054 \left( \frac{1}{95^2} + 0,3 \frac{1}{68^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{95^2} + \frac{1}{68^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,90 \text{ кНсм/см}$$

$$M_y^{\max} = \frac{0,0054 \left( \frac{1}{68^2} + 0,3 \frac{1}{95^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{95^2} + \frac{1}{68^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 1,28 \text{ кНсм/см}$$

$$H^{\max} = |H^{\min}| = \frac{0,0054(1 - 0,3)}{3,14^2 \cdot 95 \cdot 68 \left( \frac{1}{95^2} + \frac{1}{68^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,55 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_x^{\max} = \frac{0,0054}{3,14 \cdot 95 \left( \frac{1}{95^2} + \frac{1}{68^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,06 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_y^{\max} = \frac{0,0054}{3,14 \cdot 68 \left( \frac{1}{95^2} + \frac{1}{68^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,08 \text{ кНсм/см}$$

$$D = \frac{2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,16^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 8$$

$$W_0 = \frac{0,0054}{8 \cdot 3,14^4 \cdot \left( \frac{1}{95^2} + \frac{1}{68^2} \right)^2} = 65$$

Точка 1 ( $x=a/2, y=b/2$ )

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{0,9^2 + 1,28^2} - 0,9 \times 1,28} = 0,55 \text{ см}$$

Точка 2 ( $x=0, y=0$ )

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{3 \times 0,55^2}} = 0,5 \text{ см}$$

Выбираем  $h$  максимальное, равное 0,55 см.

$h_{\text{мах}} - h_{\text{пластины}} = 0,55 - 0,16 = 0,39 \approx 0,4$  см - необходимая толщина усиления. Этим параметрам удовлетворяет полоса стальная 40×4.

#### 4.1.1. Сушилка. Нория II-100/45 №13

Для расчетов примем:

- стороны пластины (нории II-100/45):  $a=38$  см,  $b=67$  см

-  $q_0 = \Delta P_{\text{ост}} = 0,0216$  кН/см<sup>2</sup> (см. таблицу 6)

- толщина стенки нории (по данным протоколов измерения толщины металлоконструкций (нории)  $h=0,16$  см

$$M_{\text{мах}_x} = \frac{0,0216 \left( \frac{1}{38^2} + 0,3 \frac{1}{67^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{38^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 1,98 \text{ кНсм/см}$$

$$M_{\text{мах}_y} = \frac{0,0216 \left( \frac{1}{67^2} + 0,3 \frac{1}{38^2} \right)}{3,14^2 \left( \frac{1}{38^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 1,12 \text{ кНсм/см}$$

$$H_{\text{мах}} = |H_{\text{мин}}| = \frac{0,0216(1 - 0,3)}{3,14^2 \cdot 38 \cdot 67 \left( \frac{1}{38^2} + \frac{1}{67^2} \right)^2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,72 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_x^{\text{мах}} = \frac{0,0216}{3,14 \cdot 38 \left( \frac{1}{38^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,20 \text{ кНсм/см}$$

$$Q_y^{\text{мах}} = \frac{0,0216}{3,14 \cdot 67 \left( \frac{1}{38^2} + \frac{1}{67^2} \right)} \cdot 1 \cdot 1 = 0,11 \text{ кНсм/см}$$

$$D = \frac{2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,16^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 8$$

$$W_0 = \frac{0,0216}{8 \cdot 3,14^4 \cdot \left(\frac{1}{38^2} + \frac{1}{67^2}\right)^2} = 33$$

Точка 1 ( $x=a/2, y=b/2$ )

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{1,98^2 + 1,12^2 - 1,98 \times 1,12}} = 0,67 \text{ см}$$

Точка 2 ( $x=0, y=0$ )

$$h \geq \sqrt{\frac{6}{23 \times 1} \sqrt{3 \times 0,72^2}} = 0,57 \text{ см}$$

Выбираем  $h$  максимальное, равное 0,67 см.

$h_{\text{max}} - h_{\text{пластины}} = 0,67 - 0,16 = 0,51 \approx 0,6$  см - необходимая толщина усиления. Этим параметрам удовлетворяет полоса стальная 40×6.

Характер эпюр прогиба и внутренних усилий показан на рис. 3.

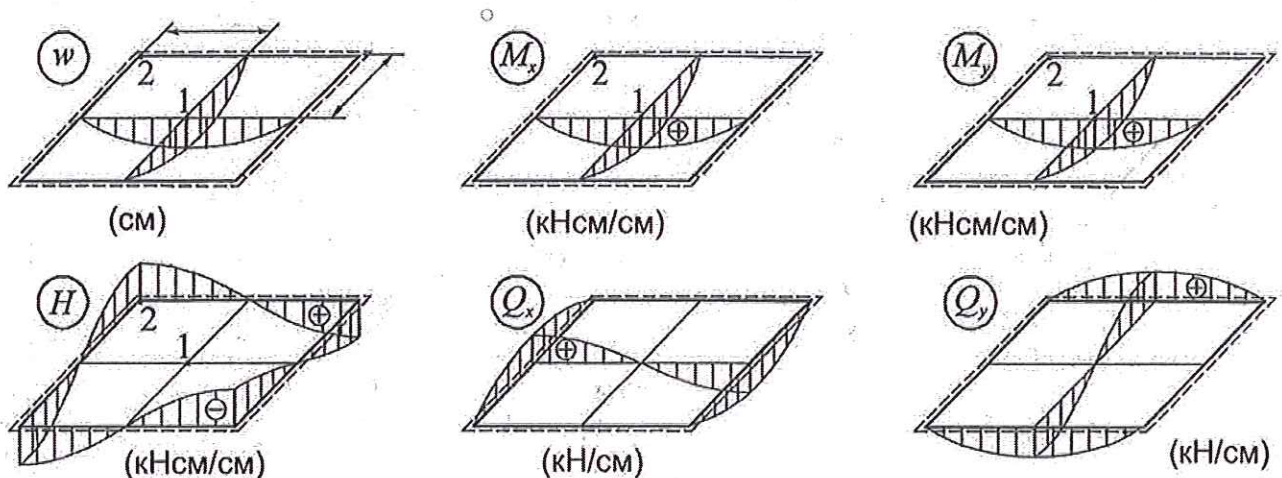


Рис. 3



Таблица 7

Объект	нория	нагрузка $q$ , кН/см <sup>2</sup>	размеры пластин ы, см		толщина пластины h, см	$M_x$ , кНс м/с м	$M_y$ , кНс м/см	H, кНс м/с м	$Q_x$ , кНс м/см	$Q_y$ , кНс м/см	расч. толщина пластины $H_{расч}$ в точке 1, см	расч. толщина пластины $H_{расч}$ в точке 2, см	толщина ребра усиления, см
			a	b									
Элеватор №1	II-175/60 №№ 3,4	0,03	60	67	0,18	4,18	3,71	2,11	0,32	0,28	1,02	0,98	0,9
	II-175/60 №1	0,0181	60	67	0,16	2,52	2,24	1,27	0,19	0,17	0,79	0,76	0,7
Элеватор №2	II-175/60 №2	0,0176	60	67	0,16	2,45	2,18	1,24	0,19	0,17	0,78	0,75	0,7
	II-175/60 №3	0,0178	60	67	0,16	2,48	2,2	1,25	0,19	0,17	0,78	0,75	0,7
сушилка	II-350/45 №11	0,0054	95	68	0,16	0,9	1,28	0,55	0,06	0,08	0,55	0,5	0,4
	II-100/45 №13	0,0216	38	67	0,16	1,98	1,12	0,72	0,2	0,11	0,67	0,57	0,6



#### 4.2.1. Горизонтальное давление сыпучих материалов на норию II-100:

пшеница (высота загрузки силоса 30 м) максимальная:

$$p_h^n = \frac{8,0 \times 0,487}{0,4} \left( 1 - e^{-0,44 \times 0,4 \times 30 / 0,487} \right) = 0,8 \text{ кН/м}^2 (0,0082 \text{ кгс/см}^2)$$

подсолнечник (высота загрузки силоса (30 м) максимальная:

$$p_h^n = \frac{5,5 \times 0,487}{0,4} \left( 1 - e^{-0,44 \times 0,4 \times 30 / 0,487} \right) = 0,55 \text{ кН/м}^2 (0,0056 \text{ кгс/см}^2)$$

#### 4.2.2. Горизонтальное давление сыпучих материалов на норию II-175:

пшеница (высота загрузки силоса 30 м):

$$p_h^n = \frac{8,0 \times 0,492}{0,4} \left( 1 - e^{-0,44 \times 0,4 \times 30 / 0,492} \right) = 9,8 \text{ кН/м}^2 (0,10 \text{ кгс/см}^2)$$

подсолнечник (высота загрузки силоса (30 м):

$$p_h^n = \frac{5,5 \times 0,492}{0,4} \left( 1 - e^{-0,44 \times 0,4 \times 30 / 0,492} \right) = 6,7 \text{ кН/м}^2 (0,068 \text{ кгс/см}^2)$$

пшеница (высота загрузки силоса 6 м):

$$p_h^n = \frac{8,0 \times 0,492}{0,4} \left( 1 - e^{-0,44 \times 0,4 \times 6 / 0,492} \right) = 8,7 \text{ кН/м}^2 (0,089 \text{ кгс/см}^2)$$

подсолнечник (высота загрузки силоса (6 м):

$$p_h^n = \frac{5,5 \times 0,492}{0,4} \left( 1 - e^{-0,44 \times 0,4 \times 6 / 0,492} \right) = 4,5 \text{ кН/м}^2 (0,046 \text{ кгс/см}^2)$$

#### 4.2.3. Горизонтальное давление сыпучих материалов на норию II-350:

пшеница (высота загрузки силоса 30 м):

$$p_h^n = \frac{8,0 \times 0,495}{0,4} \left( 1 - e^{-0,44 \times 0,4 \times 30 / 0,495} \right) = 9,9 \text{ кН/м}^2 (0,10 \text{ кгс/см}^2)$$

подсолнечник (высота загрузки силоса (30 м):

$$p_h^n = \frac{5,5 \times 0,495}{0,4} \left( 1 - e^{-0,44 \times 0,4 \times 30 / 0,495} \right) = 6,8 \text{ кН/м}^2 (0,069 \text{ кгс/см}^2)$$

## 5. Заключение

Площади проходных сечений взрыворазрядителей норий не соответствуют нормам (кроме нории II-350 №11). Поэтому остаточное давление взрыва превышает допустимое значение внутреннего избыточного давления, величина которого определяется прочностью конструкции защищаемого оборудования ( $\Delta P_{\text{дон}} = 1 \text{ кгс/см}^2$ ). Проведен расчет остаточного давления взрыва в нориях. Исходя из полученных данных, рассчитано усиление норийных труб, проходящих через силоса и бункера.

Объект	марка нории	№	общий защищаемый объем, м <sup>3</sup>	$\Delta P_{\text{ост.}}$ , кгс/см <sup>2</sup> (кН/см <sup>2</sup> )	усиление
Элеватор №1	II-175/60	3	23,75	3,10 (0,03)	Уголок 75*75*9
		4	23,75	3,10 (0,03)	Уголок 70*70*7
Исходя и	II-175/60	1	24,67	1,85 (0,018)	Уголок 70*70*7
		2	24,67	1,79 (0,018)	Уголок 70*70*7
		3	24,67	1,82 (0,018)	Уголок 70*70*7
Сушилка	II-350/45	11	30,98	0,55 (0,005)	Полоса 40*4
	II-100/45	13	7,22	2,20 (0,022)	Полоса 40*6

Усилить норийные трубы, проходящие через силоса, бункера, необходимо следующим образом:

- на каждой секции норийной трубы длиной  $L = 2015/2020/2040$  мм поставить 2 бандажа из уголка или полосовой стали;
- расстояние между бандажами должно быть не более 670 мм (680 мм для нории II-350/45)
- бандаж выполнить из 2 симметричных половинок, которые соединяются болтом диаметром 16 мм с контргайкой.

Внешнее давление на стенки норий от сыпучего продукта рассчитаны на максимальную высоту силосов и бункеров 30 и 6 метров для разных культур (пшеница, подсолнечник).

### Список литературы:

- 1) СП 16.13330.2017.Стальные конструкции.
- 2) СП 108.13330.2012. Предприятия, здания и сооружения по хранению и переработке зерна.
- 3) Альбом нормалей транспортирующего оборудования для зерна и муки №5956/126, раздел I Нории.
- 4) Пособие по проектированию предприятий, зданий и сооружений по хранению и переработке зерна (к СНиП 2.10.05-85. Предприятия, здания и сооружения по хранению и переработке зерна.). Москва. Центральный институт типового проектирования 1989. 144 с .
- 5) Руководство по безопасности. Рекомендации по расчету и установке взрыворазрядителей на потенциально опасном оборудовании взрывопожароопасных производственных объектов хранения и переработки растительного сырья.
- 6) Рекомендаций по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений» Научно-исследовательский институт строительных конструкций (НИИСК) Госстроя СССР МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1989г.
- 7) А. А. Лацинский , А. Р. Толчинский. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. «Машиностроение» 1970 г., 753 стр.
- 8) Техническая механика для строителей, № 1972, авт. Н.Н. Пашков, Н.А. Киль, стр. 158.