

Лекция 3.1 КОВШОВЫЕ ЭЛЕВАТОРЫ

1 Общая характеристика и устройство

Элеваторы предназначены для транспортирования сыпучих и штучных грузов в вертикальном или близком к вертикальному направлению (угол $\beta = 75^\circ$ и более). Транспортируемый груз размещается в грузонесущих элементах, закрепленных на тяговом органе. Бесконечный тяговый орган охватывает ведущий и натяжной барабаны (звездочки). Верхний барабан – приводной, нижний – натяжной. Элеватор загружается в нижней части, называемой башмаком, а разгружается в верхней части – головке.

По типу грузонесущего органа элеваторы могут быть ковшевые (рис. 1, а), сомкнутые (рис. 1, б); по виду тягового органа – ленточные и цепные; по способу разгрузки – центробежные, гравитационные и смешанные; по расположению вертикальные и наклонные; по способу монтажа – стационарные, неподвижные и встроенные.

Ковшечные элеваторы предназначены для транспортирования сыпучих грузов.

Основные преимущества элеваторов – возможность транспортирования груза на большую высоту (до 60 м) и под большим углом (до 90°) к горизонтали, высокая производительность, компактность конструкции, небольшая площадь размещения.

Основные недостатки – сложность конструкции, сравнительная высокая повреждаемость транспортируемого груза, чувствительность к перегрузкам.

На рис. 2. представлен вертикальный ковшечный элеватор. Нижняя часть элеватора — башмак 10 изготовлен в виде сварной конструкции из уголка, облицованного стальным листом. В башмаке размещен натяжной барабан 9, ось которого установлена на подшипниковых опорах, закрепленных в металлоконструкции башмака. Винтовое натяжное устройство 8 позволяет регулировать натяжение тягового

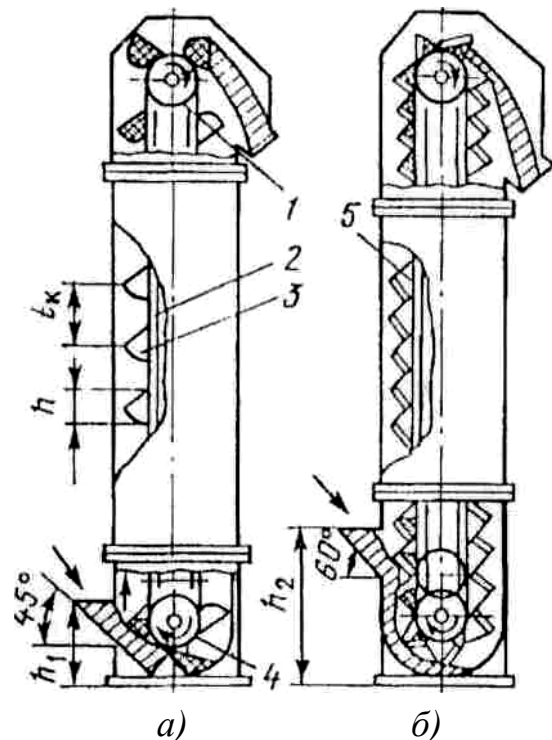


Рисунок 1 Схемы ленточных ковшечных элеваторов:

а – ковшечные; б – сомкнутые;

1 – приводной барабан; 2 – тяговые органы;
3, 5 – ковши; 4 – натяжной барабан; h_1 и h_2 – уровни размещения загрузочного башмака;
 h – высота ковша; t_k – шаг установки ковшей

органа 1, на котором закреплены ковши 2. Для уменьшения колебаний тягового органа в горизонтальной плоскости предусмотрены фиксаторы 7. В башмаке предусмотрено также загрузочное устройство в виде наклонного лотка под углом $45... 60^\circ$.

Верхняя часть элеватора - головка 6 также изготовлена в виде сварной конструкции из уголка, обшитого стальным листом. В головке размещен приводной барабан 5, вал которого установлен на подшипниковых опорах, закрепленных в металлоконструкции. В головке элеватора предусмотрено разгрузочное устройство, контур которого зависит от способа разгрузки. Расстояние H между приводным и натяжным барабанами определяется высотой подъема груза.

Расстояние между головкой и башмаком заполняется наборными секциями кожухов 4, длина которых $2...4$ м. В башмаке, головке и кожухах предусмотрены задвижки 3 для осмотра, очистки и технического обслуживания элеватора.

Привод элеватора 12 размещен на раме в верхней части элеватора и состоит из электродвигателя, редуктора, соединительных муфт и останова.

В конструкции элеватора предусмотрен тормоз 11, который предотвращает обратное движение ковшей и тягового органа при случайном отключении привода. Обратное движение тягового органа может привести к поломке ковшей.

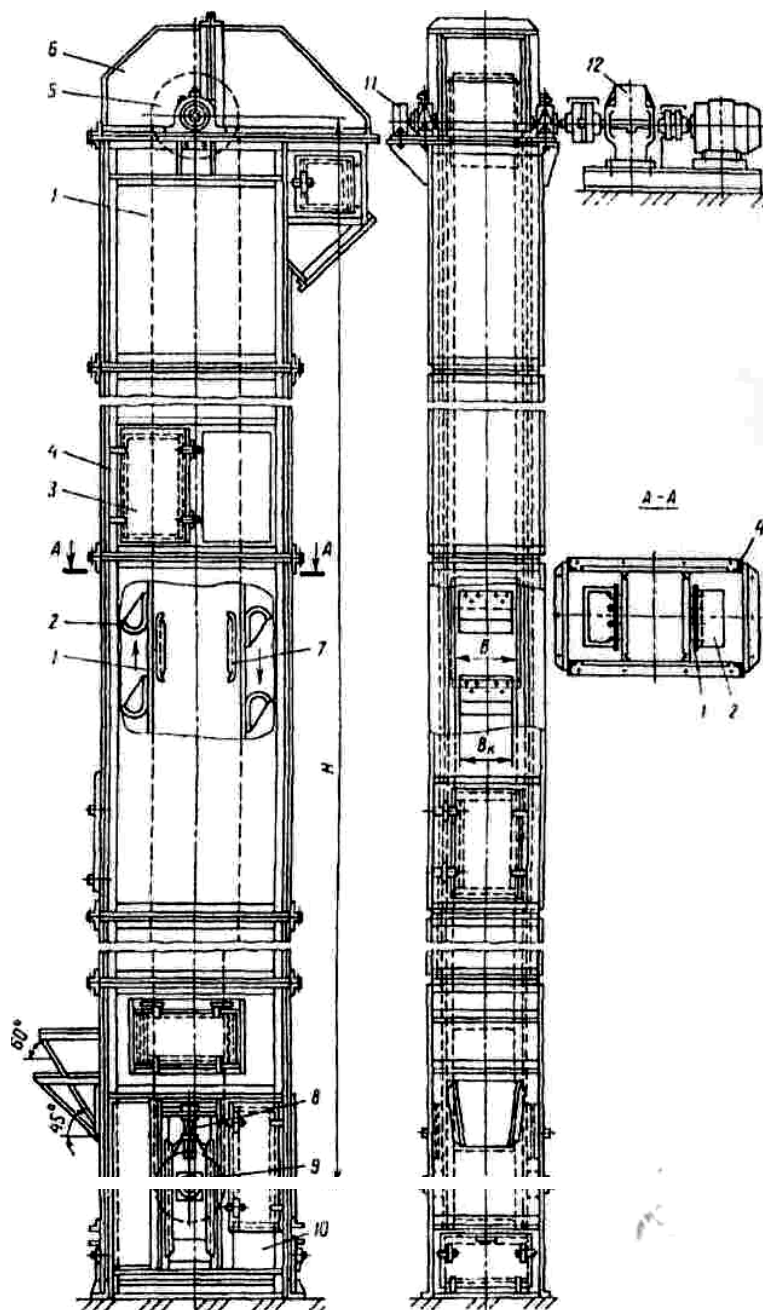


Рисунок 2 Вертикальный ковшовый элеватор

Загрузка возможна зачерпыванием из башмака (рис.3, а) или засыпанием в ковши (рис. 8.3, б). Процесс зачерпывания целесообразно принять для легкосыпучих грузов (зерно, мука, цемент и др.), поскольку их сопротивление невелико, благодаря чему можно повышать скорость движения тягового органа. Крупнокусковые грузы плохо зачерпываются со дна башмака и вследствие больших сопротивлений возможен обрыв ковшей, поэтому такие грузы засыпают непосредственно в ковши. Этот способ наиболее эффективен для сомкнутых ковшей и при пониженных скоростях.

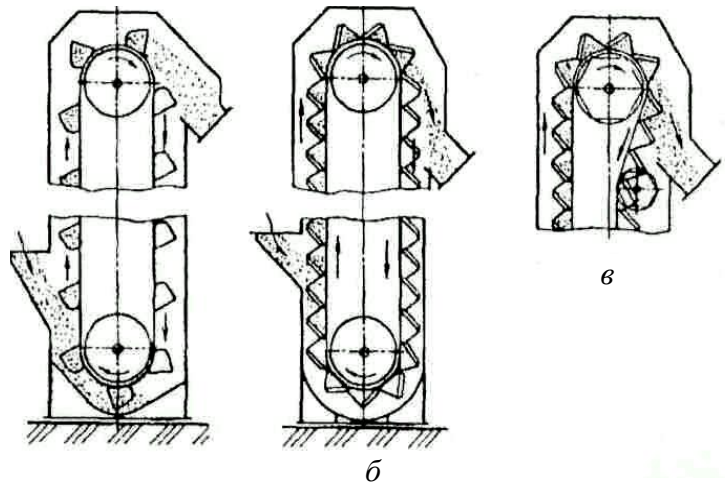


Рисунок 3 Схемы загрузки и выгрузки элеваторов

Разгрузка элеваторов может быть центробежной и самотечной. При центробежном способе груз выбрасывается из ковшей под действием центробежной силы (рис. 4, а) непосредственно в кожу головы элеватора. При этом он должен иметь форму для снижения дробления груза и уменьшения износа кожуха близкую к траектории полета частиц груза. Чтобы обеспечить требуемую центробежную силу, частота вращения и размеры барабана должны быть достаточно большими. Центробежную загрузку используют в скоростных элеваторах ($v=1...4$ м/с) при транспортировании сыпучих зернистых грузов. Расстояние между ковшами выбирают таким, чтобы груз не мог попадать в предшествующие ковши.

Самотечная разгрузка может быть свободной или направленной. Для обеспечения свободной самотечной разгрузки ковши обратной ветви отклоняются и груз свободно высыпается под действием гравитационных сил (рис. 4, в). Свободную самотечную разгрузку применяют при пониженных скоростях ($v=0,6... 1,0$ м/с) для транспортирования сыпучих пылевидных грузов.

Самотечно-направленный способ разгрузки можно обеспечить в элеваторах с сомкнутыми ковшами (рис. 4, б). При прохождении ковшей по барабану (звездочке) груз высыпается под действием гравитационных сил на заданную стенку предыдущих ковшей и направляется боковыми бортами ковшей в разгрузочный люк. Самотечно-направленный способ разгрузки (рис. 3, в) применяют в тихоходных элеваторах ($v=0,4...0,6$ м/с) для транспортирования кусков и абразивных грузов.

2. Расчет и проектирование ковшовых элеваторов

Чтобы определить способ разгрузки, рассмотрим положение ковшей на участке ленты, огибающем барабан.

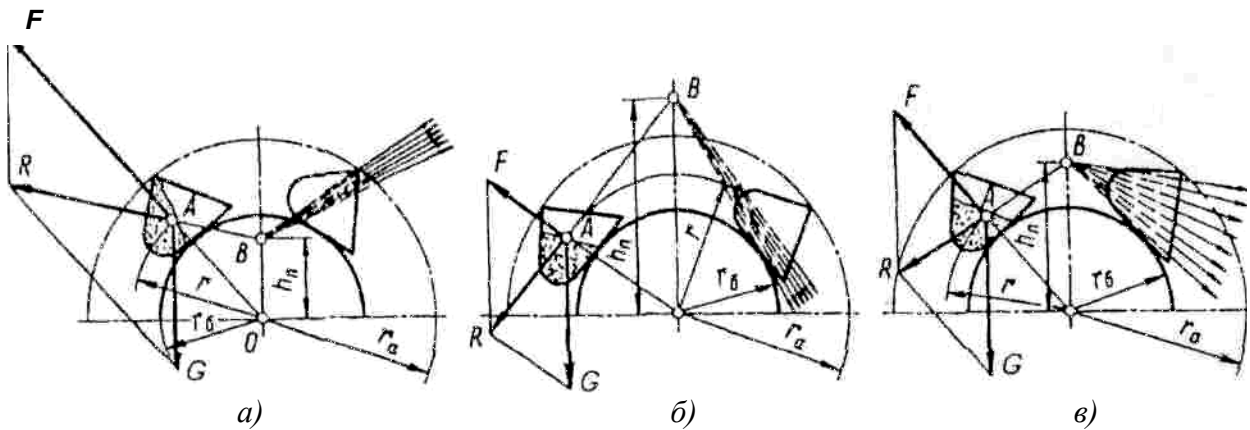


Рисунок 4 Силы, действующие при разгрузке ковша:

a - центробежной; *б* - самотечной; *в* - смешанной

На груз, находящийся в ковше, при равномерном движении на прямолинейном участке действует сила тяжести. $G = mg$.

Когда ковш с тяговым элементом движется по дуге обхвата барабана, то дополнительно возникает центробежная сила F ,

$$F = \frac{m v_z^2}{r},$$

где m — масса груза, находящегося в ковше, кг; v_z — скорость движения центра массы груза в ковше, м/с; r — радиус вращения, т.е. расстояние от оси вращения барабана до центра массы груза, м.

Равнодействующая R сил G и F при любом положении ковша на дуге барабана проходит через одну и ту же точку B , лежащую на осевой линии элеватора. Эту точку называют полюсом, а расстояние h_n — полюсным расстоянием. Из схемы на рис. 4, а.

$$\frac{h_n}{r} = \frac{G}{F}.$$

Выразив F через g и решив равенство относительно h_n , получим

$$h_n = \frac{g}{\omega^2} \quad \text{или} \quad h_n = \frac{g r_0^2}{v^2},$$

где $r_0 = 0,5D_0$ — радиус барабана, м; v — скорость барабана, м/с.

Полюсное расстояние h_n зависит от угловой скорости барабана ω . С увеличением ω возрастает центробежная сила и изменяется h_n . При некотором значении ω разгрузка становится центробежной. При малом значении ω центробежная сила мала и груз находится под действием силы тяжести G . В этом случае разгрузка самотечная. Критерий для определения способа разгрузки —

соотношение размеров h_n и r_{δ} . Исследования показали, что при $h_n \leq r_{\delta}$, т.е. когда полюс находится внутри барабана, центробежная сила значительно больше силы тяжести. Следовательно, происходит центробежная разгрузка.

При $h_n > r_{\delta}$, т.е. когда полюс расположен выше окружности, проходящей через наружные кромки ковшей (рис.4, б), сила тяжести велика по сравнению с центробежной силой. В этом случае происходит самотечная (гравитационная) разгрузка.

При $r_{\delta} < h_n \leq r_a$ разгрузка смешанная (рис. 4, в)

Из соотношения $\frac{h_n}{r_{\delta}}$ можно ориентировочно определить значение диаметра барабана:

$$h_n = \frac{gr_{\delta}^2}{v^2} = \frac{gD_{\delta}^2}{4v^2} \quad (1)$$

Для центробежной разгрузки $h_n \leq r_{\delta}$, т.е. $\frac{h_n}{r_{\delta}} < 1$. Поскольку $r_{\delta} = \frac{D_{\delta}}{2}$, то

можно записать $\frac{D_{\delta}}{2} \geq \frac{gD_{\delta}^2}{4v^2}$.

Откуда

$$D_{\delta} \geq \frac{2v^2}{g} \approx 0,2v^2. \quad (2)$$

При самотечной разгрузке отношение $\frac{h_n}{r_{\delta}} \approx 1,5 \dots 3,0$. Следовательно, диаметр барабана

$$D_{\delta} \approx (0,3 \dots 0,6)v^2. \quad (3)$$

Для смешанной разгрузки $\frac{h_n}{r_{\delta}} \approx 1 \dots 1,4$, поэтому

$$D_{\delta} \approx (0,2 \dots 0,3)v^2. \quad (4)$$

Наибольшая производительность обеспечивается при центробежной разгрузке, при которой рекомендуются малые значения вместимости ковшей, шага их расположения ($t_k \rightarrow h$) и диаметра барабана. Шаг расположения ковшей соизмерим с высотой ковша h .

Для самотечной разгрузки характерны большие значения вместимости ковшей, шага их расположения и диаметра барабана.

Основные параметры элеватора зависят от способа разгрузки (табл. 1).

Диаметр барабана D_{δ} нужно выбирать из ряда: 250, 320, 400, 500, 630, 800 и 1000 мм.

Таблица 1

Соотношение основных параметров элеватора

Способ разгрузки	Полюсное расстояние	Шаг ковшей	Диаметр барабана
Центробежная	$h_n \leq r_o$	$t_k \approx 1,1h$	$D_o \leq 0,2v^2$
Смешанная	$r_o < h_n \leq r_a$	$t_k \approx 2h$	$D_o \leq 0,3v^2$
Самотечная	$h_n > r_a$	$t_k \approx 4h$	$D_o > 0,3v^2$

Для уменьшения повреждения груза при его разгрузке, что особенно важно для пищевых грузов, в том числе и сельскохозяйственных, конфигурация головки элеватора должна иметь профиль, максимально приближенный к траектории полета частиц груза.

При перемещении заполненного ковша по барабану на частицы груза действуют силы тяжести, центробежная и инерции. Траектория полета транспортируемой частицы описывается уравнениями $x=vt$ и $y=0,5gt^2$ с началом координат в любой точке на окружности радиуса r_k траектории движения ковша. Координату X откладывают по касательной к этой окружности в точке построения, например, в точке a_2 (рис. 5), координату Y - всегда вертикально вниз из точек I, II, III и т.д. Для построения траектории движения частиц груза окружность радиуса r_k делят на несколько частей. Из точки a_1, a_2, a_3 и т.д. на окружности проводят касательные k_1, k_2, k_3 и т.д., по которым откладывают значения $x=vt$, где t - доля секунды порядка 0,1; 0,2; 0,3 и т.д. Из точек I, II, III и т.д. вниз откладывают ординаты $y=0,5gt^2$.

Полученное семейство парабол характеризует способ разгрузки и контуры кожуха головки.

Порядок построения контура следующий. Построив параболу 1 наивысшей точкой 3, находим наибольшую высоту подъема груза. Эту высоту, мм, можно также рассчитать по формуле

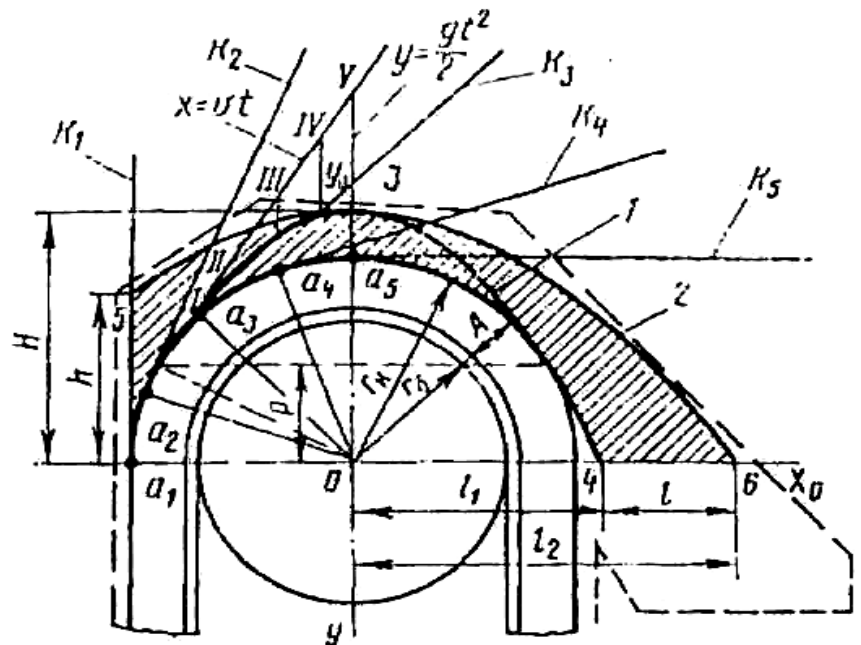


Рисунок 5. Построение контура головки элеватора

$$H = \frac{(r_k^2 + h_n^2)}{h_n}, \quad (5)$$

где h_n - полюсное расстояние, полученное из формулы (1), мм.

Характерную точку 5 начала контура кожуха находим из условия максимального подъема груза при движении его вверх по инерции:

$$h = \frac{0,5r_k^2}{h_n}. \quad (6)$$

Положение точек 4 и 6, характеризующих ширину потока выброса груза, можно определить по размерам l_1 и l_2 . Так, расстояние от центра 0 до точки 4, мм

$$l_1 = \sqrt{r_k^2 + h_n^2}. \quad (7)$$

Расстояние до наиболее удаленной от центра точки 6, мм

$$l_2 = \frac{r_k \sqrt{r_k^2 + h_n^2}}{h_n} \quad (8)$$

Расстояние между l_1 и l_2 называется условной шириной потока груза:

$$l = l_2 - l_1 = \left(\frac{r_k}{h_n} - 1 \right) \sqrt{h_n^2 + r_k^2}. \quad (9)$$

На практике внешний контур кожуха часто выполняют из прямоугольных участков, огибающих теоретическую кривую контура (штриховая линия на рис. 5).

Траектория полета частиц груза для элеватора с центробежной разгрузкой строят аналогично, но очертание головки выполняют по параболе, пересекающей параболы траектории полета частиц груза так, чтобы угол между касательными в этих точках составлял 14... 18°. Такое построение способствует лучшему отражению частиц груза от стенки кожуха головки.

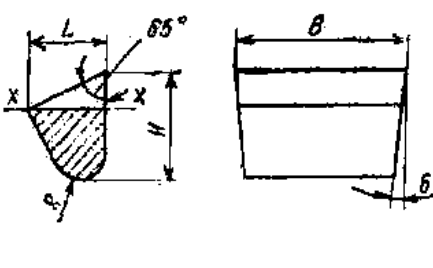
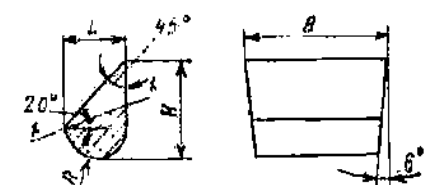
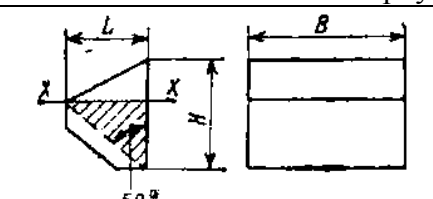
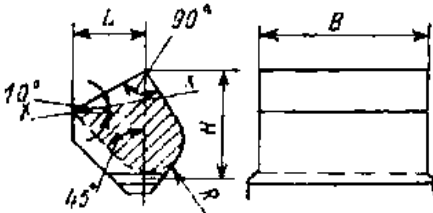
Ковш представляет собой грузонесущий элемент элеватора. Конструкция и форма ковша зависят от вида транспортируемого груза и способа разгрузки. Ковши бывают четырех типов: глубокие; мелкие со скругленным днищем; с бортовыми направляющими и остроугольным или скругленным днищем. Глубокие ковши применяют при транспортировании сыпучих грузов (зерно, мука, песок, цемент и т.д.). Глубокие и мелкие ковши выполняют расставленными, т.е. крепление этих ковшей больше их высоты h . В глубоких и мелких ковшах с цилиндрическим днищем уменьшается налипание груза и улучшаются условия разгрузки.

Ковши с бортовыми направляющими используют в тихоходных элеваторах для транспортирования различных насыпных грузов. Эти ковши выполняют сомкнутыми, когда шаг размещения ковшей на тяговом органе равен высоте ковша h .

Ковши сваривают из стального листа толщиной 1...6 мм. Для уменьшения износа при загрузке зачерпыванием к передней стенке крепят пластины, обладающие повышенной износостойкостью. Для изготовления ковшей можно использовать пластмассы. Основные характеристики ковшей показаны в табл. 2.

Таблица 2

Основные параметры ковшей

Тип ковша и эскиз	Внутренние размеры ковшей, мм.				Вместимость ковша по оси x-x, л
	Ширина, B	Вылет, l	Высота, h	Радиус закругления, r	
Скругленный глубокий Γ					
	100	75	80	25	0,20
	125	90	95	30	0,44
	160	105	110	35	0,60
	200	125	135	40	1,25
	250	140	150	45	2,05
	320	175	190	55	4,05
	400	195	210	60	6,30
	500	235	255	75	12,10
	650	250	265	85	16,80
Скругленный мелкий M					
	100	50	65	25	0,10
	125	65	85	30	0,20
	160	75	100	35	0,35
	200	95	130	40	0,75
	250	120	160	55	1,40
	320	145	190	70	2,70
	400	170	220	85	4,20
	500	195	250	100	6,80
	650	225	285	115	11,50
Остроугольный с бортовыми направляющими O					
	160	105	155	-	0,65
	200	125	195	-	1,30
	250	140	195	-	2,00
	320	165	245	-	4,00
	400	225	310	-	7,80
Скругленный с бортовыми направляющими C					
	320	165	235	60	6,40
	400	215	305	80	14,00
	500	270	385	100	28,00
	650	340	485	125	60,00
	800	435	615	160	118,00

Основными параметрами ковшей являются угол черпания α ; угол верхней кромки β ; ширина B ; вылет l ; глубина h ; радиус закругления днища r и вместимость ковша. Вместимость ковшей определяют в зависимости от производительности элеватора Q и скорости v .

Производительность элеватора, т/ч,

$$Q = 3,6qv. \quad (10)$$

Линейная плотность, т/м

$$q = V_k z_k \psi \rho, \quad (11)$$

где V_k – вместимость ковша, м^3 ; $z_k = \frac{1}{t_k}$ – число ковшей на 1 м длины элеватора, м^{-1} ; $\psi = 0,6 \dots 0,8$ коэффициент наполнения ковшей; ρ – плотность груза, т/м^3 . Следовательно,

$$Q = 3,6V_k z_k \psi \rho v. \quad (12)$$

Откуда объем груза 1 м длины элеватора, м^3 .

$$V_k z_k = \frac{Q}{3,6 \rho v \psi}. \quad (13)$$

Методом подбора можно определить величины V_k и z_k .

Тяговые органы. В элеваторах в качестве тяговых органов применяют ленты или цепи. Ленты (см. приложение) используют в скоростных вертикальных элеваторах при транспортировании кусковых и зерновых грузов, а также в наклонных элеваторах.

Ширина ленты B_l (рис. 6) должны быть на 25... 50 мм больше ширины ковша. Число прокладок ленты выбирают по результатам силового расчета так же, как и для ленточных конвейеров

Ковши крепят к ленте болтами со специальными головками (рис. 6).

Расчет тягового органа сводится к определению сопротивлений его движению.

Тяговое усилие на приводном барабане, Н

$$W_0 = k(W_{загр} + W_{гр} + W_{нор}), \quad (14)$$

где $k=1,05 \dots 1,1$ – коэффициент, учитывающий потери в опорах барабана; $W_{загр}$ – сопротивление при загрузке ковшей элеватора; $W_{гр}$ – сопротивление движению грузонесущей (рабочей) ветви элеватора; $W_{нор}$ – сопротивление движению порожней ветви.

Сопротивление при загрузке элеватора (Н) определяют из выражения

$$0,5W_{загр}l_0 = 0,5ql_0v^2k_{загр}, \quad (15)$$

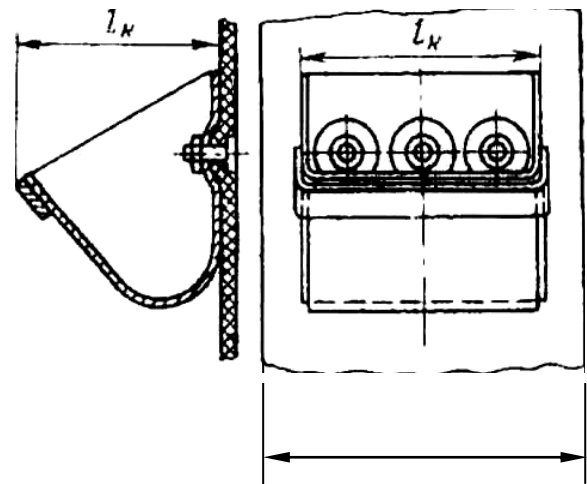


Рисунок 6 Схема крепления ковша

где l_0 – длина пути, на котором скорость груза достигает конкретного значения v ; $q = \frac{Q}{3,6v}$ – линейная масса груза; $k_{загр}$ – коэффициент, учитывающий способ загрузки ($k_{загр} = 1,25 \dots 4,0$ – меньшее значение для пылевидных грузов, большее – для среднекусковых; при использовании питающего устройства принимают $k_{загр} = 1,0$).

Соппротивление движению грузонесущей W_{zp} и порожней W_{nop} ветвей элеватора определяют по методике, изложенной при расчете ленточных и пластинчатых конвейеров.

$$W_i = gq_i L_i (\omega' \cos \beta \pm \sin \beta), \quad (16)$$

где q_i – линейная масса груза на рассматриваемом i -м участке; L_i – длина рассматриваемого i -го участка элеватора; ω' – коэффициент, учитывающий сопротивление скольжению (качению) ленты по поддерживающим опорам; β – угол наклона элеватора; знак (+) – для поднимающейся ветви; (–) – для опускающейся.

Соппротивление движению рабочей ветви (Н) в общем случае

$$W_{zp} = g(q + q_T) L (\omega' \cos \beta + \sin \beta), \quad (17)$$

где q_T – линейная масса тягового органа вместе с ковшами.

Для вертикального элеватора ($\beta = 0$; $\sin \beta = 1,0$; $\cos \beta = 0$).

$$W_{zp} = g(q + q_T) L. \quad (18)$$

Соппротивление движению порожней ветви (Н) в общем случае

$$W_{nop} = gq_T L (\omega' \cos \beta - \sin \beta), \quad (19)$$

для вертикального элеватора

$$W_{nop} = -gq_T L. \quad (20)$$

Знак (–) – указывает на то, что сила $W_{пор}$ способствует движению тягового органа.

Привод. Расчетная мощность привода, кВт,

$$N_P = \frac{W_0 v}{1000 \eta_{np}}, \quad (21)$$

где η – КПД привода (при использовании цилиндрических редукторов следует принимать $\eta \approx 0,9 \dots 0,95$).

Для привода элеватора целесообразно принимать электродвигатели общего назначения с повышенным скольжением серии 4АС с запасом мощности, которые обеспечивают пуск загруженного элеватора. Если требуется небольшая мощность двигателя, можно использовать мотор – редукторы.

Редуктор выбирают в зависимости от схемы компоновки привода по крутящему моменту на валу барабана $M_{кр}$ и передаточному числу $u_{об}$ крутящий момент, Н·м

$$M_{кр} = \frac{N_{дв}}{\omega_{б}}, \quad (22)$$

где $N_{дв}$ - мощность электродвигателя, кВт; $\omega_{б} = \frac{\pi n_{б}}{30}$ - угловая скорость барабана, c^{-1} ;

$n_{б} = \frac{60 \cdot 10^3 v}{\pi D_{б}}$ - частота вращения барабана, $мин^{-1}$; v - скорость элеватора, м/с; $D_{б}$ - диаметр барабана, мм.

Передаточное число

$$u_{об} = \frac{n}{n_{б}},$$

где n - частота вращения вала электродвигателя, $мин^{-1}$.

Если в приводе кроме редуктора применена цепная или открытая зубчатая передача, то

$$u_0 = u_p u_{ц.п.}$$

Передаточное число цепной передачи выбирают в пределах $u_{ц.п.} = 1,5 \dots 2,5$. При больших значениях $u_{ц.п.}$ цепная передача очень громоздкая.

Натяжное устройство. Предварительное натяжение ленты элеватора натяжным устройством определяют из условия (рис. 7).

$$S_{min} \varepsilon \leq g(m_z + m_k) e, \quad (23)$$

где S_{min} - предварительное натяжение ленты, Н; ε - отклонение ленты от направления движения, мм, зависящее от угла наклона ковша θ ; m_z и m_k - масса, соответственно, груза и ковша, кг; e - расстояние от центра массы груза и ковша до ленты, м; $e = 0,5 l_k$; l_k - вылет ковша.

Из условия отсутствия высыпания груза из ковшей принимают $\theta \leq 5^\circ$.

Натяжное устройство, как правило, винтовое, но может быть и пружинно-винтовое, обеспечивающее постоянное натяжение ленты. Ход натяжного устройства составляет 200...300 мм, т.е. 2-3% длины элеватора.

Натяжной барабан имеет такие же размеры, как и приводной, но рабочая поверхность его решетчатая или пластинчатая, что уменьшает накопление груза.

Предохранительные устройства. В связи с большими углами наклона элеваторов составляющая силы тяжести транспортируемого груза в ковшах больше силы трения тягового органа по

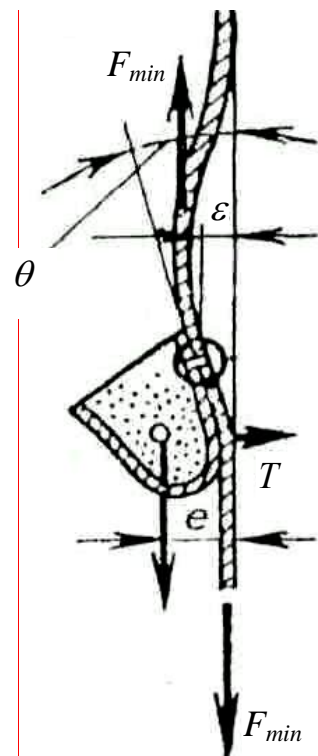


Рисунок 7 Схема к расчету предварительного натяжения ленты

направляющим, что при отключении двигателя приводит к движению тягового органа в направлении, противоположном рабочему процессу, и повреждению ковшей. Во избежание последнего на элеваторах устанавливают остановы или тормоза, для выбора которых необходимо определить тормозной момент.

Тормозной момент на валу барабана, Н·м,

$$M_T = W_0 k_T \frac{D_0}{2}, \quad (24)$$

где $k_T = 1,5 \dots 2,0$ — коэффициент запаса торможения;

Разность натяжения грузовой и порожней ветвей, Н:

$$W_0 = S_{zp} - S_{nop} = gqL(\sin \beta - \omega' \cos \beta). \quad (25)$$

Усилие в рабочей ветви при выключенном двигателе, Н:

$$S_{zp} = g(q + q_T)L(\sin \beta - \omega' \cos \beta). \quad (26)$$

Усилие в порожней ветви при выключенном двигателе

$$W_{nop} = gq_T L(\sin \beta - \omega' \cos \beta) \quad (27)$$

Тормозной момент, приведенный к валу электродвигателя,

$$M_{T.Э.} = \frac{M_T \eta}{u_0}. \quad (28)$$

В качестве стопорных устройств используют храповые остановы и обгонные муфты (роликовые остановы), устанавливая их на валу приводного барабана (со стороны привода или с противоположной стороны).

В тяжелогруженных элеваторах могут применяться колодочные тормоза, которые установлены на муфте (тормозной шкив изготовлен как единое целое с ведомой муфтой). Колодочный тормоз выбирают по тормозному моменту на валу электродвигателя $M_{T.Э.}$.

Чтобы предотвратить поломки элеватора и привода при перегрузках (при попадании в зону загрузки посторонних предметов), устанавливают предохранительную муфту (дисковую фрикционную или фланцевую с разрушающимися элементами).

Для защиты элеватора от поломок в случае падения ленты с ковшами и грузом при аварийном обрыве ленты или цепи применяют канаты (небольшого диаметра), соединяющие без натяжения ковши по боковым сторонам.

Тип элеватора и форму ковшей выбирают в зависимости от вида транспортируемого груза и заданной производительности.