

ЭЛЕВАТОРЫ

Элеваторы являются подъемниками вертикального действия и служат для вертикального и крутонаклонного (под углом 60–82°) перемещения насыпных и штучных грузов без промежуточной загрузки и разгрузки. Применение элеваторов в качестве междуэтажного транспортного средства даёт возможность иметь компактные транспортные схемы, занимающие малые площади.

В качестве тягового элемента элеваторов используются резинотканевые или резинотросовые конвейерные ленты и цепи пластинчатые, втулочные, роликовые и катковые с шагом 100–630 мм или сварные круглозвенные с термообработкой звеньев.

По типу грузонесущего элемента элеваторы классифицируют на ковшовые (для перемещения сыпучих грузов), полочные и люлочные (для перемещения штучных грузов).

5.1 Ковшовые элеваторы

Применяются на предприятиях химической, металлургической, машиностроительной промышленности, в производстве строительных материалов, на углеобогатительных фабриках, на пищевых комбинатах, в зернохранилищах. Ковшовые элеваторы выполняются стационарными и передвижными (на погрузочных машинах); используются как транспортные и технологические машины [1, 2].

Преимуществами ковшовых элеваторов являются: малые габаритные размеры в плане; большая высота подачи груза (60–75 м); большой диапазон производительности (5–500 м³/час); широкий ассортимент транспортируемых грузов. К недостаткам ковшовых элеваторов относятся: возможность отрыва ковшей при перегрузках; необходимость равномерной подачи груза.

Основными параметрами ковшовых элеваторов являются: производительность Q ; ширина ковша 100–1000 мм; шаг ковшей 160–800 мм; скорость 0,4–2,5 м/с; высота подъема; мощность приводного двигателя P (кВт).

5.1.1 Устройство, назначение, особенности конструкции

Ковшовые элеваторы классифицируют по типу тягового элемента на ленточные и цепные; по направлению перемещения ковшей – на вертикальные и наклонные со свободно свисающей или поддерживаемой обратной ветвью (рис. 5.1).

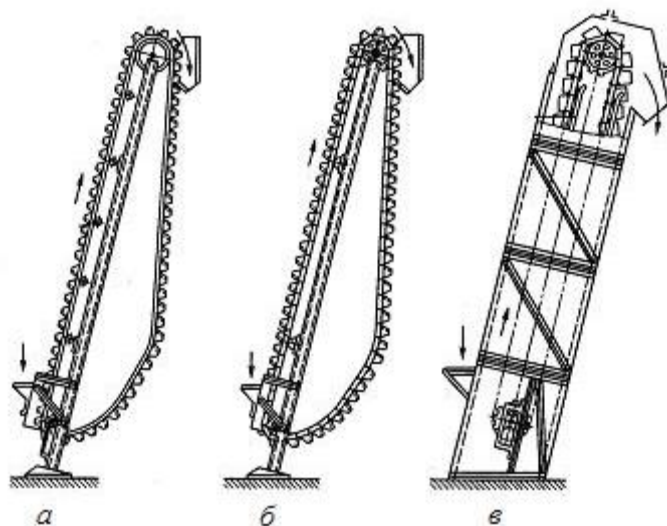


Рис. 5.1. Схема круто наклонного элеватора:
а – ленточного; *б* – цепного со свободно свисающей обратной ветвью;
в – двухцепного с поддерживаемой обратной ветвью

Ковшовые элеваторы имеют вертикально замкнутый тяговый элемент (ленту, цепь) с жёстко прикреплёнными к нему грузонесущими элементами (ковшами), тяговый элемент огибает верхний приводной и нижний натяжной барабаны (или звёздочки) (рис. 5.2).

Привод элеватора – редукторный, размещается в верхней части элеватора, при малой мощности применяют мотор-редукторы, привод снабжён остановом для предохранения от обратного движения ходовой части.

Натяжное устройство – винтовое, пружинно-винтовое или грузовое в зависимости от типа тягового элемента, привода и высоты. НУ располагается на валу нижнего барабана (звёздочки), ход натяжного устройства составляет 200–500 мм. Ходовая часть и поворотные устройства элеватора помещаются в закрытом металлическом кожухе, который является силовым каркасом, воспринимающим статические и динамические нагрузки. Кожух состоит из верхней части (разгрузочный патрубок или головка элеватора), средних секций и нижней части (загрузочный носок). В боковых стенках кожуха располагаются люки с герметичными дверцами для обслуживания и ремонта. Секции кожуха соединяют между собой болтами, высота секций составляет 2–2,5 м.

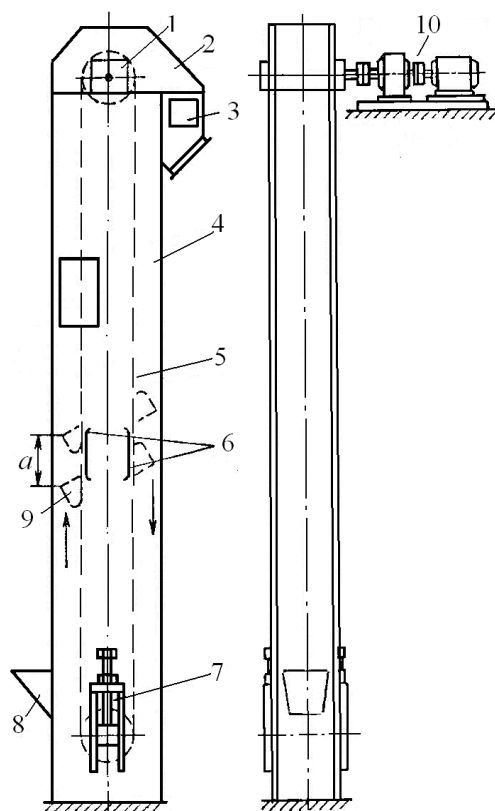


Рис. 5.2. Схема ковшового элеватора:

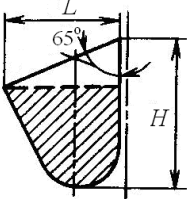
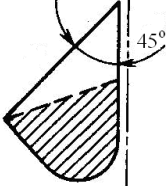
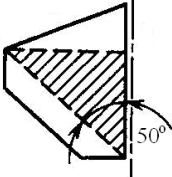
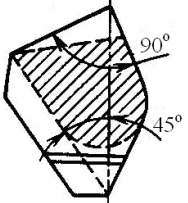
- 1 – приводной барабан; 2 – разгрузочный патрубок; 3 – смотровые люки; 4 – кожух;
 5 – тяговый элемент; 6 – направляющие шины; 7 – натяжное устройство;
 8 – загрузочный башмак; 9 – ковши; 10 – привод

Насыпной груз подаётся в загрузочный патрубок (носок) нижней части элеватора, загружается в ковши, поднимается в них и разгружается на верхнем барабане (звёздочке) в патрубок верхней части элеватора. Нижняя часть кожуха может быть с высоким и низким расположением загрузочного носка: высокий носок с днищем под углом 60° применяют при транспортировании влажных плохо сыпучих грузов, низкий носок (с днищем под углом 45°) – для сухих хорошо сыпучих грузов.

Выбор способа расположения ковшей их крепления на тяговом элементе зависит от характеристики груза и способа загрузки и разгрузки. По скорости движения ковшей элеваторы бывают быстроходные и тихоходные; по расположению ковшей: с сомкнутыми ковшами (для транспортирования крупнокусковых и абразивных грузов) и расставленными ковшами (для перемещения мелкофракционных грузов). Конструкция ковша (табл. 5.1) зависит от свойств транспортируемого груза и способов загрузки и разгрузки.

Применяются четыре типа ковшей вертикальных элеваторов: глубокие и мелкие со скругленным (цилиндрическим) днищем и ковши с бортовыми направляющими с остроугольным и скругленным днищем. Основные параметры ковша: ширина B ; вылет L ; высота H ; объем v_0 .

Типы ковшей ковшовых элеваторов

Конструктивное исполнение ковша	Тип ковша
	Глубокий с цилиндрическим дном
	Мелкий с цилиндрическим дном
	Остроугольный с бортовыми направляющими
	С бортовыми направляющими и скругленным дном

Глубокие и мелкие ковши применяют только на элеваторах с расставленными ковшами для перемещения сухих легкосыпучих пылевидных, зернистых и мелкокусковых грузов (зерно, песок, земля, мелкий уголь). Мелкие ковши перемещают влажные и слеживающиеся плохосыпучие пылевидные, зернистые и мелкокусковые грузы (угольная пыль, мел, мокрая зола).

Ковши с бортовыми направляющими и остроугольным дном применяют на тихоходных цепных элеваторах для перемещения пылевидных, зернистых и мелкокусковых грузов. Ковши с бортовыми направляющими имеют только сомкнутое расположение.

Глубокие и мелкие ковши изготавливают из листовой стали толщиной 1–6 мм сваркой или штамповкой; из чугуна, пластмассы или резины, для предохранения от преждевременного износа переднюю стенку ковша укрепляют накладками из твердой стали. Ковши крепят к ленте болтами с применением резиновых прокладок (рис. 5.3); к цепям крепят с помощью уголков или фасонных звеньев на болтах или заклепках.

При ширине ковшей до 320 мм используют одну цепь с центральным креплением к задней стенке ковша, при ширине ковшей 320 мм и выше – две цепи.

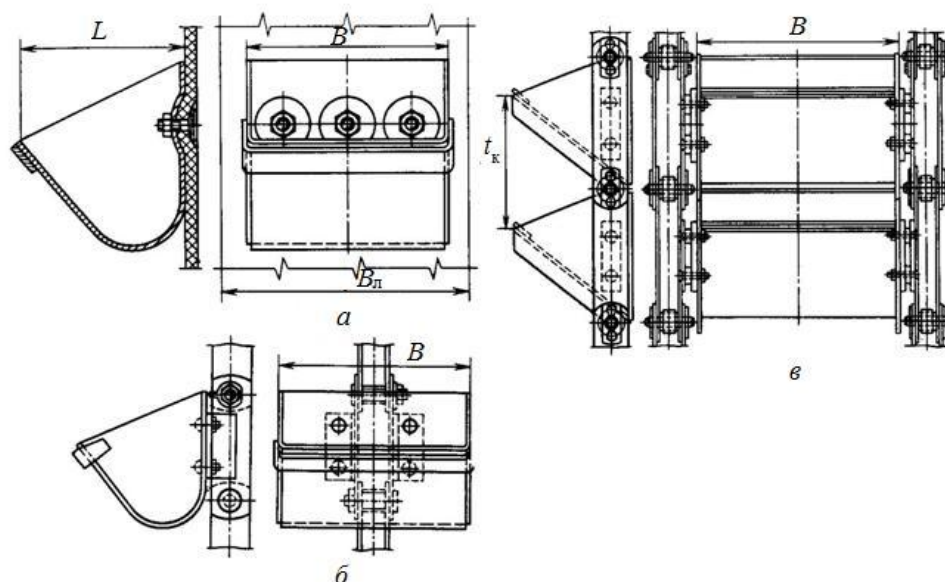


Рис.5.3. Схемы крепления ковшей:
а – к ленте; *б* – к одной цепи; *в* – к двум цепям

5.1.2 Способы загрузки и разгрузки

Ковшовые элеваторы классифицируют по способу наполнения и разгрузки ковшей, типу ковшей и их расположению на тяговом элементе. От особенностей процессов наполнения ковшей зависят их форма, расположение на тяговом органе и скорость движения [1, 2].

Загрузка ковшей производится зачерпыванием груза из нижней части кожуха или засыпанием груза в ковши, разгрузка в зависимости от скорости элеватора бывает центробежной, свободной и самотечной направленной (рис. 5.4). Наполнение ковшей зачерпыванием характерно для высокоскоростных ленточных и цепных элеваторов с расставленными ковшами и применяется для мелко- и среднекусовых малоабразивных материалов, при зачерпывании которых при повышенной скорости не возникает значительных сопротивлений.

Непосредственное засыпание в ковши применяется для крупнокусовых абразивных грузов из-за возможности отрыва ковшей и больших сопротивлений движению. Непосредственная загрузка из загрузочного носка в ковши характерна для среднескоростных и тихоходных элеваторов с сомкнутым расположением ковшей.

Центробежная разгрузка характерна для быстроходных элеваторов (1–5 м/с) с расставленными ковшами для транспортирования легкосыпучих грузов. Свободная самотечная (гравитационная) разгрузка применяется для плохо сыпучих или влажных грузов у тихоходных элеваторов при скорости движения ковшей 0,4–0,8 м/с. Свободная направленная (смешанная) разгрузка используется для наклонных и вертикальных тихоходных элеваторов (ленточных и цепных) с сомкнутыми ковшами для транспортирования кусковых, абразивных или хрупких грузов.

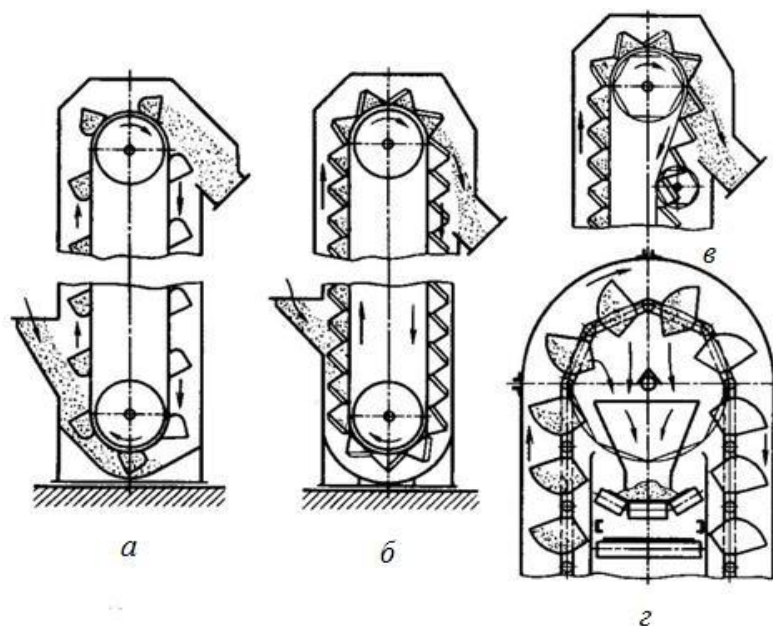


Рис. 5.4. Схемы загрузки и разгрузки ковшовых элеваторов:
a – загрузка зачерпыванием, разгрузка под действием центробежной силы;
б – загрузка засыпанием в ковши, разгрузка самотечная направленная;
в – самотечная свободная разгрузка; *г* – центральная разгрузка

Определение полюсного расстояния. На насыпной груз, находящийся в ковше, при перемещении вокруг приводного барабана (звездочки) действуют сила тяжести G и центробежная сила F (рис. 5.5), а также реакции стенок ковша.

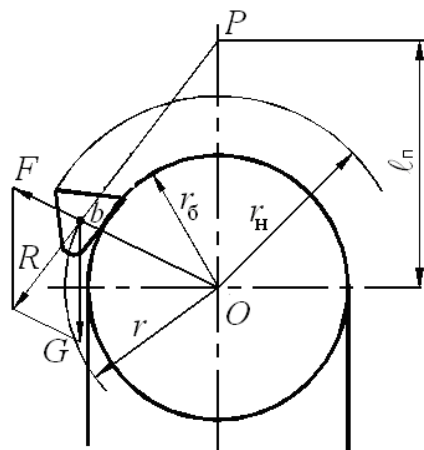


Рис. 5.5. Схема для определения полюсного расстояния ковшового элеватора

На восходящей ветви элеватора ковш движется прямолинейно и равномерно, груз в ковше находится под действием силы тяжести G , при повороте ковша вокруг оси барабана начинает действовать центробежная сила F . Равнодействующая R сил G и F при вращении ковша изменяется по величине и направлению и пересекается с вертикалью, проведенной через центр барабана O , в точке P – эта точка называется полюсом разгрузки, а расстояние $\ell_{\text{п}}$ от нее до точки O – полюсным расстоянием.

Полюсное расстояние определяется по формуле

$$\ell_{\text{п}} = \frac{Gr}{F}, \quad (5.1)$$

где r – расстояние от центра массы насыпного груза до центра барабана, м.

При $G = mg$

$$F = \frac{mv^2}{r}, \quad (5.2)$$

где m – масса насыпного груза;

g – ускорение свободного падения;

v – окружная скорость точки b ($v = \omega r$).

Для определения полюсного расстояния также используют формулу

$$\ell_{\text{п}} = 895 / n^2, \quad (5.3)$$

где n – число оборотов барабана (звездочки), мин⁻¹.

При равномерном вращении полюсное расстояние $\ell_{\text{п}}$ – величина постоянная при любом положении ковша, она зависит только от частоты вращения барабана.

С увеличением частоты вращения барабана полюсное расстояние уменьшается, центробежная сила возрастает и становится больше силы тяжести. При $\ell_{\text{п}} \leq r_{\text{б}}$ (когда полюс находится внутри окружности барабана) (рис. 5.6, в) происходит центробежная разгрузка.

При уменьшении частоты вращения барабана полюсное расстояние увеличивается. При $\ell_{\text{п}} > r_{\text{б}}$ (когда полюс находится вне окружности) сила тяжести больше центробежной силы, происходит самотечная (гравитационная) разгрузка ковшей (рис. 5.6, а).

При $r_{\text{б}} < \ell_{\text{п}} \leq r_{\text{н}}$ происходит смешанная (центробежная и гравитационная) разгрузка ковшей (рис. 5.6, б).

У тихоходных элеваторов полюсное расстояние $\ell_{\text{п}}$ больше радиуса $r_{\text{н}}$ наружных кромок ковшей, у быстроходных – меньше радиуса $r_{\text{б}}$ барабана.

Характер разгрузки ковшей определяется не абсолютным значением скорости их движения, а соотношением между этой скоростью и диаметром барабана, т. е. соотношением между полюсным расстоянием и радиусом барабана

$$Б = \ell_{\text{п}} / r_{\text{б}}. \quad (5.4)$$

При небольшой скорости и малом диаметре барабана можно обеспечить центробежную разгрузку ковшей, и наоборот, при большой скорости и увеличенном диаметре барабана разгрузка будет самотечной.

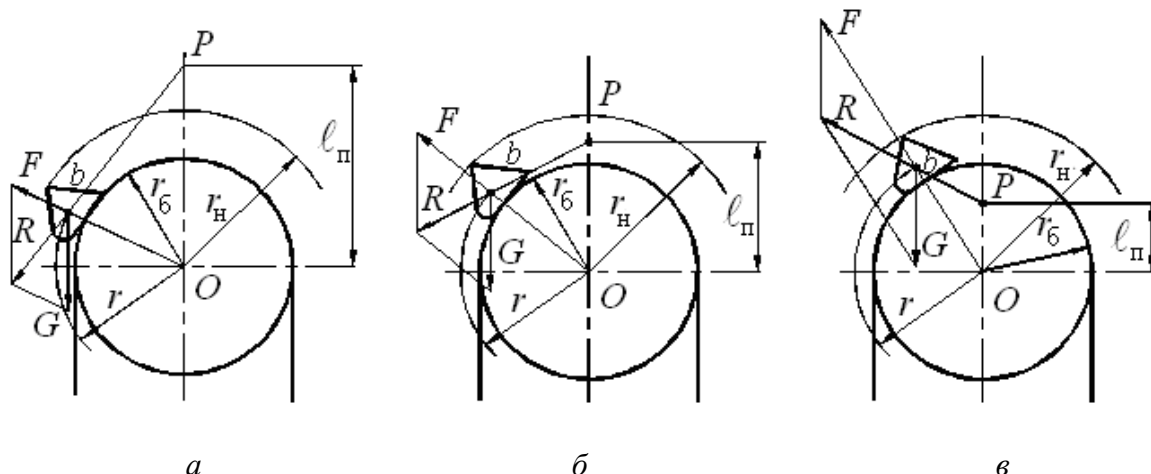


Рис. 5.6. Схема сил, действующих при самотечной (а), смешанной (б), центробежной (в) разгрузках

Для высокоскоростного элеватора с центробежной разгрузкой

$$B \leq 1; \quad D_6 = 2Bv^2 / g \leq 0,204v^2. \quad (5.5)$$

Для быстроходного элеватора с центробежной и самотечной (смешанной) разгрузкой

$$B = 1-4; \quad D_6 = (0,205-0,286) v^2. \quad (5.6)$$

Для среднескоростного элеватора с центробежной и самотечной (смешанной) разгрузкой

$$B = 1,5-3; \quad D_6 = (0,306-0,126) v^2. \quad (5.7)$$

Для тихоходного элеватора с самотечной разгрузкой

$$B > 3; \quad D_6 \geq 0,6 v^2. \quad (5.8)$$

Геометрия движения потока груза на разгрузке позволяет конструктивно определить контуры головки кожуха и шаг ковшей на тяговом органе для обеспечения равномерного потока разгружаемого груза без ударов частиц о стенки кожуха, крошения и пыления.

Нории – специальные ковшовые элеваторы для вертикального транспортирования зерна и муки на мукомольных и комбикормовых предприятиях и зернохранилищах, которые имеют специфические конструктивные особенности, их основные параметры обусловлены ГОСТ 10190-70.

5.1.3 Особенности расчета ковшового элеватора

Производительность ковшового элеватора

$$Q = 3,6 v_0 v \psi \rho / t_k, \quad (5.9)$$

где v_0 – объем ковша, л;

t_k – шаг ковшей, м.

Для глубоких и мелких расставленных ковшей $t_k = (2,5-3,0) h$, для сомкнутых ковшей с бортовыми направляющими $t_k \approx h$, h – высота ковша, м.

Тип элеватора и форму ковшей выбирают по каталогу в зависимости от транспортируемого груза. Выбранные ковши проверяют по условию кусковатости

$$A \geq x a_{\max}, \quad (5.10)$$

где A – высота ковша;

x – коэффициент, зависящий от типа груза: для рядовых грузов $x = 2-2,5$; для сортированных $x = 4-4,5$.

Тяговый расчет. Схема для проведения тягового расчета представлена на рис. 5.7. Тяговое усилие в набегавшей на приводной барабан (звездочку) ветви

$$S_{\text{нб}} = S_{\text{н}} + (q_0 + q_{\Gamma}) H. \quad (5.11)$$

Усилие в сбегавшей с нижнего барабана (звездочки) ветви

$$S_{\text{н}} = S_{\text{мин}} + \Sigma W. \quad (5.12)$$

В ленточном элеваторе $S_{\text{макс}} = S_{\text{нб}}$. В цепном элеваторе с учетом динамических нагрузок

$$S_{\text{макс}} = S_{\text{нб}} + S_{\text{дин}} = S_{\text{н}} (q_0 + q_{\Gamma}) H + S_{\text{дин}}. \quad (5.13)$$

Для двухцепного элеватора усилие в одной цепи

$$S_{\text{макс}} = 1,15 (S_{\text{нб}} + S_{\text{дин}}) / 2. \quad (5.14)$$

Минимальное натяжение цепи (ленты) предварительно принимают $S_{\text{мин}} = 5-20$ кН.

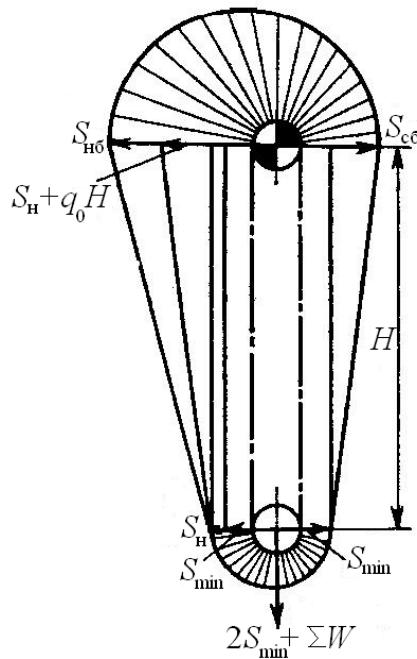


Рис. 5.7. Схема для выполнения тягового расчета вертикального ковшового элеватора

Динамическое усилие в цепи элеваторов

$$S_{\text{дин}} = 3 S v^2 / z_2 t_{\text{ц}} g, \quad (5.15)$$

где S – нагрузка от неравномерно движущейся ходовой части и груза, Н;

$$S = (2q_0 + q_{\Gamma}) H, \quad (5.16)$$

где z – число зубьев звездочки, шт;

$t_{\text{ц}}$ – шаг цепи, м.

Сопротивление движению ходовой части

$$\Sigma W = W_{\text{н}} + W_{\text{зач}}. \quad (5.17)$$

Сопротивление на нижнем барабане (звездочке)

$$\Sigma W_{\text{н}} = S_{\text{мин}} \omega', \quad (5.18)$$

где ω' – коэффициент сопротивления движению.

Сопротивление зачерпыванию

$$W_{\text{зач}} = k_3 q_{\Gamma}, \quad (5.19)$$

где $k_3 = 1,25 \div 4,0$ – коэффициент зачерпывания в зависимости от характеристики груза.

Натяжение тягового элемента в точке сбега

$$S_{\text{сб}} = S_{\text{мин}} + q_0 H. \quad (5.20)$$

Тяговое усилие на приводном валу

$$P = (S_{\max} - S_{сб}) (1 + \omega'). \quad (5.21)$$

По тяговому усилию определяется мощность электродвигателя и выбирается электродвигатель по каталогу.

По рассчитанной мощности привода выбирают редуктор и вычисляют фактическую скорость рабочего органа. По тормозному моменту выбирают тормоз.

Динамический расчет заключается в определении усилий при установившемся режиме и в период пуска.

5.2 Люлочные и полочные элеваторы

Люлочные (рис 5.8) и полочные (рис. 5.9) элеваторы предназначены для перемещения штучных грузов и выполняются вертикальными и наклонными [1].

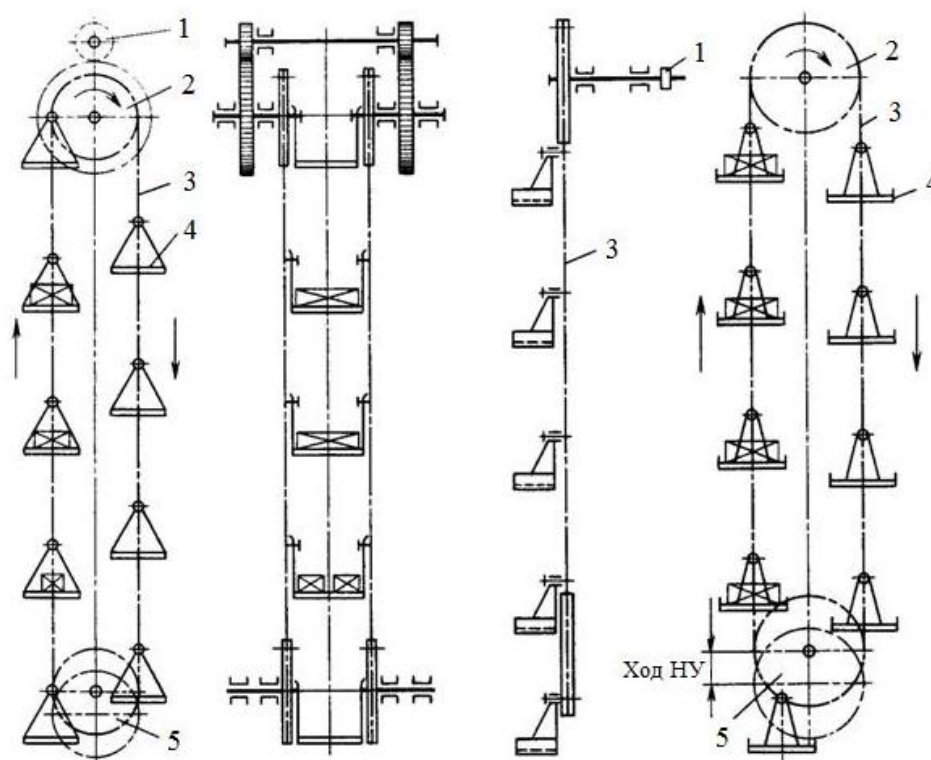


Рис. 5.8. Схема люлочного элеватора (одноцепного и двухцепного):
1 – привод; 2 – приводные звездочки; 3 – тяговые цепи; 4 – люльки;
5 – натяжные звездочки

Люлочные элеваторы выполняются двух- и одноцепными (с консольным расположением люлек).

Полочные элеваторы имеют жестко закрепленные консольные полки-захваты, которые выполняют в виде кронштейнов с изогнутой или плоской формой опорной поверхности. Загрузка и разгрузка полочных и люлочных элеваторов производится автоматически или вручную.

5.2.1 Назначение и устройство, особенности конструкции

Тяговым элементом люлечных элеваторов являются пластинчатые втулочные и катковые цепи, которые перемещаются со скоростью 0,2–0,3 м/с. Люльки закреплены шарнирно и выполняются двухпальцевыми (в двухцепных конвейерах) и однопальцевыми (в одноцепных конвейерах). Для устранения раскачивания люлек в поперечном направлении цепи снабжены ходовыми роликами и направляющими шинами.

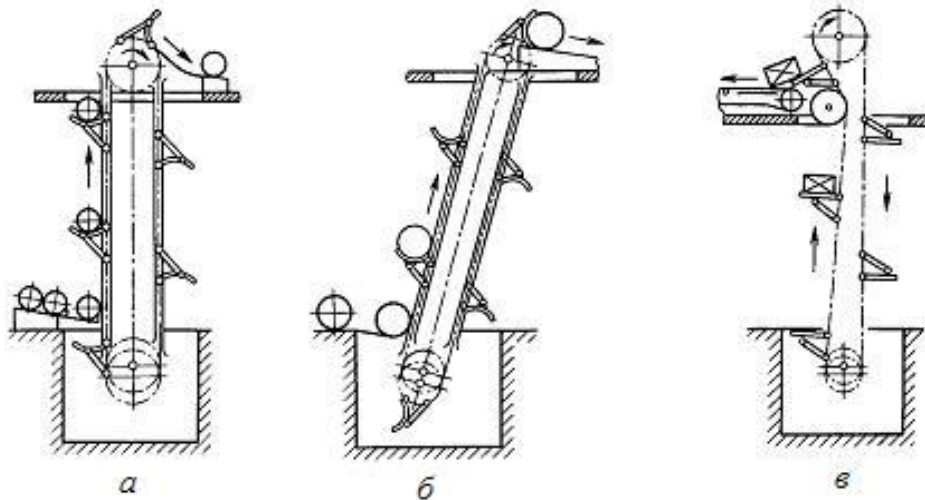


Рис. 5.9. Схемы полочных элеваторов:
а – вертикальный; б – наклонный;
в – вертикальный с отклонением захвата на рабочей ветви

Полочный элеватор состоит из двух вертикально замкнутых цепей (пластинчатых втулочных или катковых), огибающих верхние и нижние звездочки. К цепям жестко прикреплены консольные захваты-полки, форма которых зависит от геометрической формы перемещаемых грузов. Полочные элеваторы имеют скорости движения 0,2–0,3 м/с.

5.2.2 Способы загрузки и разгрузки

Загрузка люлечных элеваторов производится на восходящей ветви, разгрузка – в любом месте нисходящей ветви. Ручная загрузка производится непосредственно установкой грузов на движущиеся люльки и разгрузка обеспечивается направляющими, стабилизирующими положение люльки в зоне загрузки.

Для автоматической загрузки и разгрузки люлек применяются выдвижные и поворотные колосниковые и роликовые столы. Загрузка и разгрузка полочных элеваторов производится автоматически или вручную. Наиболее удобными для автоматизации загрузки и разгрузки являются грузы цилиндрической формы, т. к. их можно перекачивать по наклонному настилу или перегружать с колосникового стола на гребенчатую полку, а затем на стол.

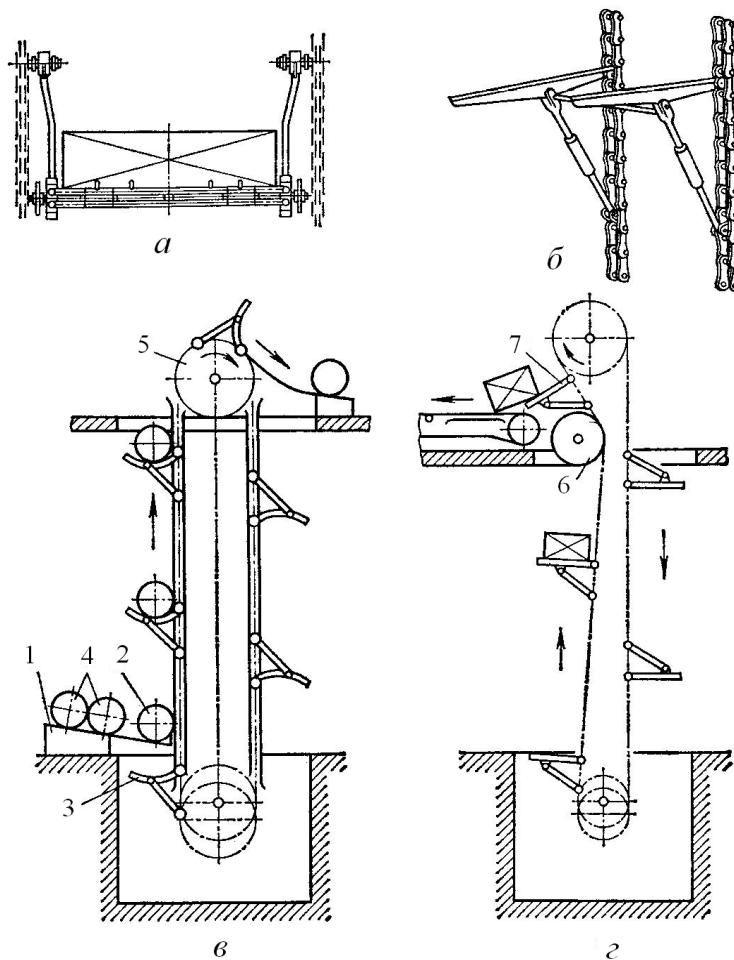


Рис. 5.10. Конструкция люльки (а) и полки (б);
 схемы (в, г) загрузки и разгрузки полочных элеваторов:
 1 – скаты; 2, 4 – бочки; 3 – захват; 5 – головная звездочка;
 6 – отклоняющая звездочка; 7 – полка

Используется разгрузка на восходящей ветви (рис. 5.50, г) путем отклонения полки с помощью дополнительных отклоняющих звездочек.

Захваты-полки могут снабжаться специальным поворотным приспособлением, позволяющим разгружать груз в любом месте на восходящей ветви элеватора и управляемым с помощью упоров или направляющих шин, выдвигаемых в месте разгрузки. Поворотные части захватов после разгрузки возвращаются в исходное положение с помощью пружин или направляющих шин.

5.2.3 Особенности расчета люлечных и полочных элеваторов [1, 2]

Производительность

$$Z = 3600 v z_e / a, \quad (5.22)$$

где z_e – число штучных грузов на одном несущем элементе;

a – шаг несущих элементов.

Мощность привода

$$P = k_3 P_B / \eta_0, \quad (5.23)$$

где $k_3 = 1,05$ – коэффициент запаса мощности;

P_B – мощность на валу приводного элемента;

η_0 – КПД передаточного механизма.

Тяговое усилие

$$W_0 = P_B / v. \quad (5.24)$$

Максимальное натяжение цепи

$$S_{\max} = W_0 + S_{\min} + W_{\text{н.в.}}, \quad (5.25)$$

где $W_{\text{н.в.}}$ – сила сопротивления нисходящей ветви.

$$W_{\text{н.в.}} = q_0 H (\sin\beta - \omega \cos\beta), \quad (5.26)$$

где q_0 – распределенная масса ходовой части.

Разрывное усилие цепи

$$P_p = S_{\text{расч}} n_k c_H / z_k, \quad (5.27)$$

где $n_k = 7-10$ – запас прочности цепи;

$c_H = 1,1-1,25$ – коэффициент неравномерности распределения нагрузки между параллельными ветвями цепи;

z_k – число параллельных ветвей цепи.

По максимальному натяжению производится выбор цепи, определение передаточного числа и выбор редуктора, расчет тормозного момента и выбор тормоза.

Тяговый расчет выполняется методом обхода по контуру трассы. Натяжение цепи в точке набегания цепи на натяжную звездочку принимают $S_{\min} = 1000-2000$ Н. Максимальное натяжение цепей в точке набегания на приводные звездочки $S_{\max} = S_{\text{нб}}$.