

## 4 ЛЕКЦИЯ

### Краткие характеристики и основы расчётов элементов конвейеров

#### 1. Ленточные конвейеры (ЛК).

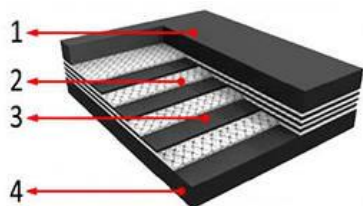
Получили широкое распространение – имеют малый удельный расход энергии и собственный вес, просты по устройству и в обслуживании, работают плавно и бесшумно. Недостаток – относительно быстрый износ ленты в сравнении с металлоконструкцией. Производительность до 30000 т/ч и протяжённость до 2 км на одно приводное устройство.

ЛК включает грузонесущий тяговый орган — *ленту*, которая по замкнутому в вертикальной плоскости контуру опирается на *роликоопоры* или настил и огибает установленные на концах *рамы* (станина, остов, металлоконструкция) *барабаны*, обычно передний *приводной* и задний *натяжной*. Тяговое усилие передается ленте приводным барабаном трением за счёт её предварительного натяжения. *Привод* от электродвигателя редукторный или смешанного типа, от мотор-редуктора и мотор-барабаном. *Натяжное устройство* грузовое, винтовое, пружинно-винтовое. Загрузка производится непосредственно, через бункер, воронку, питатель, дозатор; разгрузка — самосбросом в конце или промежуточная щитковым сбрасывателем, разгрузочной тележкой.

*Трасса ЛК* бывает горизонтальной, наклонной, комбинированной. Обычно применяют ленты с гладкой поверхностью, но они допускают небольшой угол наклона — до 25°, специальные конструкции лент работают при бóльших углах наклона.

В зависимости от вида груза и условий работы, в ЛК нашли применение ленты:

- тканая пеньковая, хлопчатобумажная, из искусственных волокон;
- резинотканевая — имеет преимущественное применение, состоит из *несущих прокладок 2* с *резиновыми прослойками 3* (общая толщина  $\delta_{пр} = 1,1...2$  мм, количество  $Z = 1...12$ ) и *защитных резиновых обкладок 1* и *4* (толщина на рабочей стороне  $\delta_{рб} = 2...10$  мм и на нерабочей  $\delta_{нр} = 1...3$  мм), завулканизированных в единое целое:



Ленты изготавливают на основе тканей из различных волокон, прочность от 65 Н/мм (бельтинг) до 400 Н/мм и выше (высокопрочные синтетические). Ширина  $B$  выбирается по ряду 100...3000 мм.

Ленты изготавливают на основе тканей из различных волокон, прочность от 65 Н/мм (бельтинг) до 400 Н/мм и выше (высокопрочные синтетические). Ширина  $B$  выбирается по ряду 100...3000 мм.

- прорезиненная, армированная тросами;
- металлическая сплошная, сетчатая;
- синтетическая;
- специальные (с выступами – рифлями, с поперечными перегородками...).

Ширина ленты  $B$  м определяется необходимостью обеспечения заданной производительности:

$$Q = 3600 \cdot A \cdot \psi \cdot k_B \cdot \gamma \cdot V, \quad \text{т/ч}$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения грузопотока,  $\text{м}^2$ ;

$\psi$  – коэффициент заполнения геометрического объёма,  $\approx 1$ ;

$k_\beta$  – учитывает угол наклона трассы к горизонту и снижение производительности за счёт ссыпания груза вдоль ленты,  $K_\beta \leq 1$ ;

$\gamma$  – плотность груза, т/м<sup>3</sup>;

$V$  – скорость движения ленты, м/с.

Для ленты на прямой роликовой опоре (роликоопоре) поперечное сечение грузопотока во избежание рассыпания есть равнобедренный треугольник с основанием  $0,8B$  и углом при основании  $\varphi_1=0,35\varphi_n$ , и площадь  $A$ , м<sup>2</sup>, будет:

$$A = 0,5 \cdot 0,8B \cdot (0,4B \cdot \operatorname{tg}(\varphi_1)) = 0,16\operatorname{tg}(0,35\varphi_n)B^2$$

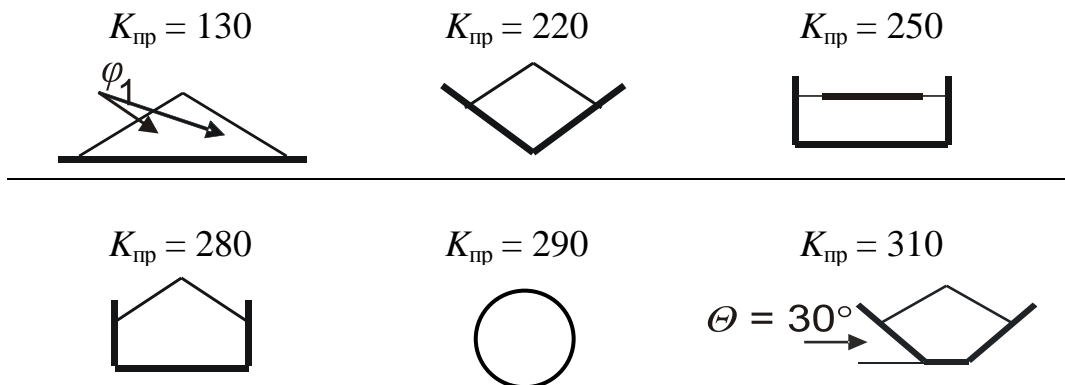
Можно показать, что и при другой форме поперечного сечения грузопотока площадь пропорциональна квадрату ширины ленты.

$$Q = 3600 \cdot 0,16\operatorname{tg}(0,35\varphi_n)B^2 \cdot \psi \cdot K_\beta \cdot \gamma \cdot V = [576\operatorname{tg}(0,35\varphi_n)]B^2 \cdot 1 \cdot K_\beta \cdot \gamma \cdot V$$

Ширина ленты, м:

$$B = \sqrt{\frac{Q}{[576 \cdot \operatorname{tg}(0,35\varphi_n)]K_\beta \gamma V}} = \sqrt{\frac{Q}{K_{\text{пр}} K_\beta \gamma V}}$$

где  $K_{\text{пр}}$  – зависит от формы поперечного сечения грузопотока и его физико-механических свойств:



$B$  – сумма длин участков поперечного сечения ленты — на всех представленных схемах она одинакова.

Скорость ленты  $v = 0,8 \dots 6$  м/с в зависимости от груза.

Опорные устройства ленты обычно роликоопоры, которые представляют собой трубу, установленную на оси на подшипниках качения (реже настил или шины металлические и деревянные), прямые и желобчатые (только гружёная ветвь) диаметром 89...245 мм, в зависимости от ширины ленты; ролики должны выходить за пределы ленты по ширине. Расстояние между роликоопорами рабочей ветви  $l_p$  зависит от ширины ленты и груза (в пределах 1...1,5 м), на холостой ветви  $l_x$  – вдвое больше, но  $< 3$  м. В местах перехода от горизонтального участка к наклонному и наоборот ставят роликовую батарею, отклоняющий барабан, направляющую шину.

Тяговый расчёт выполняют методом обхода по контуру, весовые погонные нагрузки от ленты  $q_{\text{л}} = 1,12(z\delta_{\text{нп}} + \delta_{\text{рб}} + \delta_{\text{нр}})Bg$ , Н/м, и роликоопор на рабо-

чей ветви  $q_{pp}$ , Н/м, и холостой  $q_{px}$ , Н/м, принимают по данным заводоизготовителей или эмпирическим зависимостям ( $\delta_{np}$ ,  $\delta_{pb}$ ,  $\delta_{np}$  – мм,  $B$  – м,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $9,8 \text{ м/с}^2$ ):

$$\text{желобчатая роликоопора } q_{pp} = g \frac{10B+7}{lp}, \quad \text{прямая } q_{px} = g \frac{10B+3}{lx}.$$

$$\text{Число несущих прослоек: } z = \frac{n_{\text{зап}} S_{\text{max}}}{S_{p1} B}$$

где  $n_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса, порядка 10. Учитывает способ сращивания концов ленты (вулканизация, с помощью петель, скрепление....);

$S_{\text{max}}$  – наибольшее усилие на трассе, Н. Обычно равно  $S_{\text{нб}}$ ;

$S_{p1}$  – прочность на единицу ширины одной прослойки, Н/мм (65...400 и даже 800 в зависимости от материала ткани);

$B$  – ширина ленты, мм.

Диаметр приводного барабана, мм:  $D_6 \approx (1,25 \dots 200)z$ , натяжного –  $(0,8 \dots 0,9)D_6$ , отклоняющего –  $0,5D_6$ .

Натяжной барабан должен иметь ход  $0,01 \dots 0,015$  длины конвейера для компенсации вытяжки ленты в процессе работы.

При наличии наклонных участков и возможности обратного хода ленты под весом груза при отключении электроэнергии применяют остановы, на случай обрыва ленты предусматривают ловители.

Наряду с тяговым расчётом методом обхода по контуру применяют в качестве ориентировочного расчёт по Спиваковскому А.О. на основе определения приближённого тягового усилия  $W$ , Н, что позволяет сразу обоснованно найти число прослоек ленты:

$$W = K_D L_{\text{гор}} [(q_{\Gamma} + q_{\text{л}} + q_{pp}) w_p + (q_{\Gamma} + q_{px}) w_x] \pm q_{\Gamma} h$$

где  $K_D$  – обобщённый коэффициент местных сопротивлений:

$L_{\text{гор}}$ , м –	5	10	50	100	500	1000
$K_D$ —	6,6	4,5	2,4	1,7	1,3	1,1

Далее из зависимости  $W = S_{\text{нб}} (e^{\alpha \mu} - 1) / e^{\alpha \mu}$  определяют  $S_{\text{нб}}$ , а затем  $z$ .

## 2. Цепные конвейеры

Тяговым органом являются цепи различного типа:

- пластинчатые длиннозвенные безвтулочные, втулочные, втулочно-роликовые и втулочно-катковые (катки диаметром больше ширины пластины гладкие или с ребрами вращаются на подшипниках качения или скольжения, опираясь при движении на направляющую поверхность; шаг до 800 мм);
- разборная ковая и холодно штампованная (допускают небольшой поворот  $2^0 \dots 10^0$  звеньев цепи в плоскости осей её шарниров за счёт сферы или зазоров);
- круглозвенные сварные (гибкие в любом направлении);
- крючковые штампованные и литые, комбинированные, втулочно-штыревые, вильчатые...;

- двухшарнирные (поворот звеньев в горизонтальной и вертикальной плоскостях типа шарнира Гука), с катками и без них;  
Достоинства – цепи обеспечивают:
- удобное и надёжное крепление грузонесущих и ходовых элементов;
- возможно проведение технологических операций при движении, а также обеспечение транспортирования грубых и крупнокусковых материалов, в том числе с высокой температурой;
- перемещение груза по сложной трассе;
- передача тягового усилия зацеплением цепи со звёздочкой или с гусеничным приводом исключает необходимость значительного предварительного натяжения цепи и  $S_{min} \geq 0,5$  кН.

Недостатки:

- работа на малых скоростях,  $v \leq 1,2$  м/с из-за динамических нагрузок;
- сравнительно большая погонная масса;
- усложнённая конструкция и эксплуатации по сравнению с ЛК;
- внезапность разрушения.

Расчёт натяжения производят методом обхода по контуру и **цепь выбирают по разрушающей нагрузке** из условия:

$$S_{\text{разр}}^{\text{ГОСТ}} \geq n_{\text{зап}} S_{\text{max}} K_{\text{дин}}$$

где  $S_{\text{разр}}^{\text{ГОСТ}}$  – разрушающая нагрузка стандартной цепи, Н;

$n_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса, 6...13 (в зависимости от вида конвейера);

$S_{\text{max}}$  – наибольшее усилие на трассе, Н;

$K_{\text{дин}}$  – коэффициент динамической нагрузки, 1...1,25 (в зависимости от вида конвейера и скорости).

*Пластинчатые конвейеры* – к двум цепям (реже одной) крепят металлические, деревянные, пластмассовые, резиноканевые элементы различной формы и получают: перекладки или планки; настил сплошной жёсткий плоский или волнистый с бортами или без них, коробчатый, петлевой; отдельные ящики; ступени (эскалатор).

Груз обычно транспортируется по горизонтали или с наклоном до  $35^{\circ}$  и даже  $60^{\circ}$  при движении цепей по вертикальному замкнутому контуру. Существуют также изгибающиеся пластинчатые конвейеры с перегибами трассы в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

*Ковшовые конвейеры* – ковши подвешиваются шарнирно к двум цепям, центр тяжести ковша ниже оси подвеса и груз транспортируется по горизонтали, наклону и вертикали с разгрузкой в любой точке. Недостаток – большой вес ходовой части и из-за раскачиваний, скорость  $v < 0,4$  м/с.

*Скребокковые конвейеры* – перемещают груз волочением по жёлобу или трубе прямоугольного или круглого сечения с помощью скребков, прикреплённых к цепи, двум цепям или канату.

Применяют для грузов, которые допускают измельчение при перемещении, возможна промежуточная загрузка-разгрузка и герметическая транспортировка. Недостаток – большой удельный расход энергии из-за трения груза и ходовой части по жёлобу. Различают:

а) собственно скребковые с порционным волочением груза (обычно вертикально замкнутые, груз перемещается отдельными порциями высокими сплошными скребками в горизонтальном или наклонном до  $30^{\circ}$  ( $40^{\circ}$ ) направлении);

б) сплошного волочения (груз сплошной массой перемещается одновременно по всей длине непрерывным потоком по горизонтали, наклону и вертикали погружными скребками низкими сплошными или фигурной формы. Работа основана на превышении сил трения скребков о материал над силами трения материала о желоб);

в) следует отметить трубчатые скребковые (осуществляют пространственное перемещение насыпных грузов круговыми шайбами, прикрепленными к канату).

Производительность конвейера с высокими скребками, т/ч:

$$Q = 3600V_{\text{скр}}h_{\text{скр}}\psi\gamma vk_{\beta}$$

где  $V_{\text{скр}}$  и  $h_{\text{скр}}$  – соответственно ширина и высота скребка, м. Принимают

$$V_{\text{скр}} = (2,5 \dots 4)h_{\text{скр}};$$

$\psi$  – коэффициент заполнения,  $0,5 \dots 0,8$ ;

$\gamma$  – насыпная масса груза,  $\text{т/м}^3$ ;

$v$  – скорость движения цепи,  $0,2 \dots 1$  м/с;

$k_{\beta}$  – учитывает наклон к горизонту и связность груза,  $\leq 1$ .

Шаг скребков  $p_{\text{скр}} = (2,5 \dots 6)h_{\text{скр}} \geq 2p$ , где  $p$  – шаг цепи, мм.

Наименьшее натяжение цепи  $S_{\text{min}}$  определяется условием приемлемого отклонения скребка от перпендикуляра к линии движения цепи на угол  $\alpha$ . Сопротивление оказывает порция массой  $m$  перемещаемого груза с коэффициентом трения  $f$ :

$$S_{\text{min}} \geq mgf \frac{h_{\text{скр}}}{p \cdot tg\alpha} \approx (20 \dots 30)mgf \frac{h_{\text{скр}}}{p}$$

Обычно  $\alpha = 3^{\circ} \dots 2^{\circ}$  и  $S_{\text{min}} = 3 \dots 10 \text{ кН}$  — повышенное первоначальное натяжение является недостатком конвейера с высокими скребками.

*Тележечные конвейеры* – состоят из замкнутого контура тяговой цепи с постоянно прикрепленными к ней тележками, движущимися по направляющему пути, в том числе по сложной трассе.

*Грузоведущие конвейеры* – под действием тягового элемента (обычно цепь) грузы транспортируются на собственном колёсном ходу, на тележках, скольжением по настилу или качением по стационарным неприводным роликам. В отличие от тележечного конвейера здесь тяговый элемент не крепится постоянно, а перемещение происходит при помощи толкателя или захвата. По расположению цепи могут быть замкнуты вертикально, горизонтально или пространственно, а также с напольным и подпольным размещением.

*Подвесные конвейеры* – перемещают груз по сложной трассе разного уровня (до 500 м одноприводной, более – многоприводной), цепи являются тяговыми и связаны с каретками (тележками, кошками), которые движутся по подвесному пути на катках. Рационально используется производственная площадь, груз загружается и разгружается на ходу, возможно проведение технологических операций при транспортировке, малый расход энергии, скорость 0,1...45 м/мин. Различают:

- подвесной грузонесущий (имеет каретки с подвесками для груза);
- подвесной толкающий (каретки с толкателями упираются в тележки с подвешенным грузом. Цепь с толкающими каретками движется по тяговому подвесному пути, а каретки с грузами – по отдельному грузовому подвесному пути, в том числе по ответвлениям выполняют отвод кареток с грузами в сторону);
- подвесной грузоведущий или грузотянувший (имеет передвигающиеся по полу тележки для транспортировки груза. Каждая тележка штангой связана с ведущей кареткой толкателем или захватом, при этом может отводиться в сторону от трассы конвейера);
- возможно сочетание подвесных конвейеров.

*Штанговые конвейеры* – рабочим тяговым элементом является штанга с толкателями, которая совершает возвратно-поступательное движение, перемещая груз за рабочий ход на один шаг (5-30 м). Штанга соединена на концах с отрезками цепи, огибающими приводную и натяжную звёздочки. Отрезки цепи обратной ветви связаны тягой из проката или каната – образуется замкнутый тяговый контур.

3. Элеваторы – служат для подъёма груза по вертикали или с большим наклоном (более  $60^{\circ}$ . Не путать с сооружениями для хранения зерна). Различают ковшовые элеваторы для сыпучих грузов – норрии, и полочные и люлечные для штучных, последние допускают промежуточную загрузку и разгрузку груза.

Нория имеет вертикально замкнутый тяговый элемент (лента, цепь или две цепи) с прикреплёнными ковшами, тяговый элемент огибает верхний приводной барабан и нижний натяжной (или звёздочки). Ходовая часть размещается в закрытом металлическом корпусе, состоящем из башмака с натяжным устройством, средних секций и верхней части (головки) с приводом и останом для предохранения от обратного движения. Насыпной груз подаётся в загрузочный патрубок (носок башмака), ковши наполняются насыпанием и зачерпыванием, груз поднимается и разгружается на барабане (или звёздочке) в патрубок головки под действием центробежных сил, самотёком или их сочетании – смешанная разгрузка.

Достоинства:

- подъём на значительную высоту (до 75 м),
- большой диапазон производительности (5...500 м<sup>3</sup>/ч и более),
- герметичность.

Недостатки:

- необходимость обеспечения равномерной загрузки ковшей,
- необходимы ловители на случай обрыва тягового элемента.

Тип ковша (глубокий, мелкий, остроугольный...) и скорость  $v$  ленты (0,4...3,2 м/с) или цепи (0,4...2 м/с) назначают в зависимости от груза. Производительность  $Q$ , т/ч, определяет линейный объём ковшей, л/м:

$$\frac{i_0}{p} = \frac{Q}{3,6v\gamma\psi}$$

Тяговый расчёт выполняют методом обхода по контуру, наименьшее усилие  $S_{min} \geq 0,5 \dots 1$  кН.

Соппротивление при зачерпывании, Н:

$$W_{зач} = K_{зач}q_{г} = (1,5 \dots 5)q_{г}$$

Линейная нагрузка от ленты  $q_{л}$ , Н/м и ковшей  $q_{к}$ , Н/м принимается по данным завода-изготовителя или эмпирическим зависимостям.

Вращающий момент останова, Н·мм:

$$M_{ост} = 0,5Dq_{г}h$$

где  $D$  – диаметр приводного барабана, (125...150)  $Z$ , мм;

$Z$  – число прокладок ленты;

$h$  – высота подъёма, м.

Ход натяжного устройства (0,03...0,05)  $h$ , м.

4. Винтовые конвейеры – рабочим органом является расположенный внутри кожуха шнек (вращающийся вал с укрепленными на нём винтовыми витками), перемещающий обычно сыпучий груз в осевом направлении.

Просты по устройству и в уходе, имеют небольшие габаритные размеры, герметичны, возможна промежуточная загрузка и разгрузка через окна в кожухе. При транспортировке груз частично перемешивается. Недостатки – высокий удельный расход энергии, сыпучий груз дополнительно измельчается.

Выполняют тихоходными горизонтальными и с небольшим углом наклона ( $\leq 20^\circ$ ) или быстроходными крутонаклонными и вертикальными, и они коренным образом отличаются по принципу действия.

а) в горизонтальном или с малым наклоном тихоходном винтовом конвейере груз силой трения о стенки жёлоба, а также под собственным весом удерживается от вращения вместе со шнеком и, являясь как бы гайкой для винта, перемещается вдоль оси в жёлобе (обычно с полуцилиндрическим днищем). Спираль винта выполняют сплошной для сухих мелкозернистых грузов; ленточной, лопастной и фасонной – для слёживающихся материалов, причём последние две интенсивно перемешивают груз. Зазор между спиралью и кожухом от 2 до 8 мм. В зависимости от груза вал по длине поддерживается закреплёнными вверху промежуточными опорами (подшипники скольжения или качения с уплотнениями) ориентировочно через 3 м и соответственно кожух и шнек делают секционными. Концевые подшипники укрепляют в торцевых стенках жёлоба (щитах), один из подшипников упорный, обычно со стороны, в которую перемещается груз, для восприятия осевой растягивающей силы вдоль вала.

Производительность конвейера, т/ч:

$$Q = 3600 \frac{\pi D^2}{4} \gamma \psi \frac{np}{60} K_{\beta}$$

где  $D$  – диаметр шнека, м (обычно 0,1..0,8). Он связан с наибольшей допустимой частотой вращения  $n_{max}$ , об/мин, эмпирической зависимостью из условия спокойного продвижения груза без пересыпания через вал:

$$n_{max} = \frac{K_{перес}}{\sqrt{D}}$$

$K_{перес}$  – коэффициент, 30...60 соответственно для тяжёлого и абразивного и лёгкого и неабразивного материала;

$\gamma$  – насыпная масса груза, т/м<sup>3</sup>;

$\psi$  – коэффициент заполнения соответственно для указанного выше тяжёлого и лёгкого материала 0,12...0,40;

$n$  – частота вращения, об/мин;

$p$  – ход винта, м (обычно  $p = D$ );

$K_{\beta}$  – учитывает угол наклона, 1...0,6 соответственно для 0°...20°.

Мощность на перемещение груза (на валу шнека), кВт:

$$P = \frac{Q}{367} (h + L_{гор} w)$$

где  $h$  – высота подъёма груза, м;

$L_{гор}$  – перемещение по горизонтали, м (горизонтальная проекция длины конвейера);

$w$  – эмпирический общий коэффициент сопротивления, зависит от свойств перемещаемого груза, соответственно для указанного выше тяжёлого и лёгкого материала, 4...1,2.

Крутящий момент на валу шнека, Нм:

$$T = \frac{10^3 P}{\omega} = \frac{10^3 P}{\frac{\pi n}{30}} = \frac{30 \cdot 10^3 P}{\pi n}$$

Действующая на шнек продольная сила (по аналогии с усилием вдоль болта), Н:

$$F_a = \frac{T}{r \cdot \operatorname{tg}(\alpha_r + \varphi_{ш})}$$

где  $r$  – радиус, на котором действует сила  $F_a$ , м (ориентировочно 0,3D);

$\alpha_r$  – угол подъёма винтовой линии на радиусе  $r$ :

$$\alpha_r = \operatorname{arctg} \frac{p}{2\pi r}$$

$\varphi_{ш}$  – угол трения груза о шнек:

$$\varphi_{ш} = \operatorname{arctg} f_{ш}$$

$f_{ш}$  – коэффициент трения груза о шнек.

б) Быстроходный вертикальный винтовой конвейер состоит из подвешенного на упорном подшипнике шнека со сплошными винтовыми витками (с промежуточными опорами при большой длине), вращающегося в цилиндрическом кожухе (трубе). Груз подаётся непрерывно с подпором в нижнюю часть конвейера.



За счёт сил трения о шнек груз приводится во вращение и под действием центробежной силы прижимается к поверхности кожуха. Совместное действие силы трения груза о кожух и силы тяжести приводит к отставанию в движении груза от винтовой поверхности, то есть груз за счёт притормаживания вращается с меньшей, чем шнек, угловой скоростью и получает относительное движение вдоль оси. Высота подъёма до 15 м.

В противоположность горизонтальным шнекам, для которых ограничивается максимальная частота вращения, на вертикальных конвейерах частота вращения не должна быть ниже критической  $n_{кр}$ , об/мин, для создания необходимой центробежной силы:

$$n_{кр} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g \cdot \operatorname{tg}(\alpha_D + \varphi_{ш})}{D f_{кож}}}$$

где  $\alpha_D$  – угол подъёма винтовой линии на радиусе  $\frac{D}{2}$ :

$$\alpha_D = \operatorname{arctg} \frac{p}{\pi D}$$

$f_{кож}$  – коэффициент трения груза о кожух.

## ВНИМАНИЕ

Материал лекции прорабатывается и дополняется по источникам, приведённым в «Детали машин» (**программные вопросы по разделу «Подъёмно-транспортные машины»**) для студентов очного обучения. Не исключаются и другие источники, в том числе и ИНТЕРНЕТ, как добавление.

Проработка подтверждается представлением письменных ответов на вопросы 11,12,15,19а вышеупомянутых ... **программные вопросы по разделу** ...

Ответы рукописные, выполняются на листах формата А4 (по «зёбре» с шагом 1 см или листы в клетку) **аккуратно и разборчиво**, ориентация книжная. Все поля по 20 мм (можно писать с обеих сторон листа). *На левом поле каждого листа вдоль по центру указывается группа, фамилия и дата написания (лист повернуть, чтобы поле оказалось вверху)*. Обязательно записывается вопрос, затем приводится ответ. Листы нумеруются, соединяются скрепкой и представляются на занятиях и консультации (во время карантина сдаются лаборанту, ауд. 310). Срок сдачи – конец следующей недели после лекции по расписанию.

Ответы следует сопровождать рукописными схемами и рисунками в карандаше, при необходимости можно заимствовать сложные фигуры из ИНТЕРНЕТА с рукописным добавлением позиций с наименованиями непосредственно на поле рисунка.

ВАША оценка будет складываться как суммарная, в том числе регулярность работы, полнота и качество ответов, тестирование, выполнение расчётов... . Успеха в учёбе!