

5 Определение технических параметров конвейерной цепи

5.1 Расчетные данные

Наименование	Символ	Единица измерения	Наименование	Символ	Единица измерения
Общее тяговое усилие цепи	F	Н	Степень заполнения	φ	---
Тяговое усилие цепи по периметру, общее	F_g	Н	Кoeffициент трения между втулкой и роликом	μ_3	---
Тяговое усилие цепи по периметру, на ветвь	F_i	Н	Провисание холостой ветви	f	м
Поддерживающее тяговое усилие цепи (зависит от провисания)	F_s	Н	Кoeffициент трения (транспортируемый материал о сталь)	μ_4	---
Центробежное тяговое усилие цепи	F_f	Н	Интервал между штучным грузом	l_s	м
Сила предварительного натяга цепи	F_v	Н	Кoeffициент сопротивления качению колес	μ_2	---
Предел прочности цепи	F_b	Н	Скорость движения цепи	v	м/с
Число ветвей цепи	i	---	Кoeffициент трения скольжения	μ_1	---
Высота подачи	H	м	Площадь шарниров цепи	A_K	см ²
Дальность подачи, горизонтальная	B	м	Интервал между провисаниями	a_d	м
Межосевое расстояние	a	м	Кoeffициент запаса прочности	k	---
Угол подъема транспортера	α	°(град)	Длина провисающей холостой ветви цепи	l_d	м
Масса цепи на метр цепи	M_K	кг/м	Удельное давление на шарниры, эффективное	P_{eff}	Н/мм ²
Масса транспортируемого материала, на метр цепи	M_F	кг/м	Удельное давление на шарниры, допустимое	P_{zul}	Н/мм ²
Производительность (шт.) транспортера	Q_S	шт./ч	Шаг цепи	p	м
Производительность (масса) транспортера	Q_M	т/ч	Угловая скорость	ω	с ⁻¹
Внутренняя ширина подачи	b	м	Число зубьев	z	---
Внутренняя высота подачи	h	м	Диаметр делительной окружности	d_0	м
Площадь сечения транспортера	A_M	м ²	Мощность привода	P	кВт
Масса насыпного транспортируемого груза	γ	т/м ³	Кoeffициент полезного действия привода	η	---

5.2 Тип транспортирующей установки

Транспортирующие установки подразделяются на две главные категории:

- скользящие конвейерные цепи
- конвейерные цепи на роликах

Кроме того, следует различать следующие схемы транспортировки:

- горизонтальная транспортировка
- транспортировка под наклоном
- вертикальная транспортировка
- комбинированная транспортировка

5.3 Общая масса транспортируемого груза

Под этим понимается общая масса транспортируемого груза, находящаяся или перемещаемая на транспортных элементах (пластинах, поперечных балках, траверсах, шарнирных петлях и т. д.)

В соответствии с распределением нагрузок на конвейерной цепи следует различать местную, сосредоточенную и равномерно распределенную нагрузку. При расчете сосредоточенной нагрузки конвейерной цепи на уменьшенную площадь валиков цепи и ходовых роликов необходимо дополнительно учитывать изгиб и давление смятия.

5.4 Нагрузка на ходовые ролики

Нагрузка на ходовые ролики зависит от их материала, вида опоры, скорости движения цепи, температуры и смазки. Нагрузка на ходовые ролики из стали, поверхность которых подверглась закалке, при небольшой скорости движения цепи ($< 0,25$ м/с) и достаточном удельном давлении допускается до 800 Н/см².

Ходовые ролики из улучшенной или незакаленной стали, из серого чугуна или пластмассы обладают пониженными допустимыми нагрузками на опорную поверхность (см. нижеследующие таблицы).

Преимущества ходовых роликов из пластмассы:

- не требующееся техобслуживание,
- легкая конструкция,
- не создающее шума движение,
- отличная химическая стойкость.

Кроме того, можно улучшить свойства скольжения ходовых роликов благодаря опорным втулкам подшипников. Подходящими материалами для опорных поверхностей являются содержащие свинец виды оловянной бронзы (удельные давления до 300 Н/см²), а также специальные материалы для обеспечения не требующей техобслуживания эксплуатации.

В нижеследующих таблицах 3а и 3б представлены допустимые нагрузки на ролики конвейерных цепей согл. DIN 8165 и DIN 8167, которые следует умножить в соответствии с приведенной формулой на соответствующие поправочные коэффициенты из таблиц 4 - 8:

Допустимая нагрузка на ходовой ролик = табличное значение $\cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$

Цепь согл. DIN 8165	Подбор материалов Втулка / ролик C15E/C15E C15E/9SMn28E	Цепь согл. DIN 8167	Подбор материалов Втулка / ролик C15E/C15E C15E/9SMn28E
FVT 40	2000	MT 20	1050
FVT 63	3000	MT 28	1350
FVT 90	3800	MT 40	1900
FVT 112	5100	MT 56	2750
FVT 140	7050	MT 80	3850
FVT 180	10550	MT 112	5200
FVT 250	15550	MT 160	7200
FVT 315	21500	MT 224	10050
FVT 400	23900	MT 315	13500
FVT 500	31200	MT 450	18450
FVT 630	39400	MT 630	26000
		MT 900	36450

Табл. 3: Нагрузка на ходовые ролики (Н/ролик) для втулочно-роликовых грузовых цепей согл. DIN 8165 и DIN 8167

Вид роликов	f_1
Ходовой ролик	1,0
Ходовой ролик с буртиком	0,9

Табл. 4: Коэффициент f_1 : Вид ролика

Материал роликов (втулка из закаленной цементуемой стали)	f_2
Закаленная цементуемая сталь	1,00
Нержавеющая закаленная сталь	0,60
Нержавеющая незакаленная сталь	0,30
Стандартная незакаленная сталь	0,20
Серый чугун	0,12

Табл. 5: Коэффициент f_2 : Материал ролика

Условия смазки	f_3
Достаточная смазка, без загрязнений или жесткого режима работы	1,0
Недостаточная смазка, без загрязнений или жесткого режима работы	0,4 - 0,6
Без смазки, с большими загрязнениями и жестким режимом работы	0,2 - 0,35

Табл. 6: Коэффициент f_3 : Смазка

Скорость движения ленты в м/с	f_4
0,10	1,15
0,25	1,00
0,50	0,85
1,00	0,50

Табл. 7: Коэффициент f_4 : Скорость движения ленты

Температура в °C	f_5
20 - 200	1,00
200 - 260	0,50
260 - 285	0,25
285 - 300	0,15

Табл. 8: Коэффициент f_5 : Температура

Подбор материалов		Макс. удельное давление на опорные поверхности в Н/см ²
Ролик	Втулка	
Закаленная цементуемая сталь	Закаленная цементуемая сталь	800
Улучшенная сталь	" "	300
Незакаленная сталь	" "	160
Серый чугун	" "	100
Бронза	" "	300
Полиамид 6	" "	50

Табл. 9: Максимальные допустимые значения удельного давления

5.5 Коэффициент трения

5.5.1 Трение скольжения цепей по опорам в режиме длительной эксплуатации

Материал направляющей	μ_1	
	Недостаточная смазка	Хорошая смазка
Сталь	0,35	0,25
Пластмасса	0,20	0,15
Твердая древесина	0,30	0,25

Табл. 10: Коэффициент трения скольжения

5.5.2 Трение качения цепей по стальным направляющим

$$\mu_2 = \frac{2 \cdot c + \mu_3 \cdot d_3}{d_5} \quad \mu_2 = 0,08 \dots 0,12 \dots 0,18$$

d_3 = диаметр втулки [мм]

d_5 = диаметр ролика [мм]

c = экспериментальный коэффициент, который зависит от материала и шероховатости контактных поверхностей

Условия направляющих c

0,5 - стальной ролик на стальной направляющей с гладкой поверхностью

0,6 - среднее значение

1,0 - стальной ролик на стальной направляющей с шероховатой поверхностью

Табл. 11: Коэффициент c в зависимости от материала и контактной поверхности

Подбор материалов Ролик/втулка	μ_3	
	Недостаточная смазка	Хорошая смазка
Стальной ролик, на стальной втулке	0,30	0,20
Ролик с бронзовой втулкой, на стальной втулке	-	0,15
Ролик из Раб, на стальной втулке	0,15	0,10
Ролик с подшипником качения, на стальной втулке	0,03	0,015 ... 0,005

Табл. 12: Коэффициент трения между роликом и втулкой μ_3

5.5.3 Коэффициент трения транспортируемого груза о сталь μ_4 насыпной вес γ и степень заполнения φ

Вид транспортируемого груза	Коэффициент трения μ_4	Насыпной вес γ т/м ³	Степень заполнения φ
Зола	0,85	0,50	0,70
Руда	1,20	2,25	0,60
Зерно	0,50	0,65	0,80
Деревянные стружки	0,80	0,25	0,75
Гравий	1,00	1,75	0,65
Уголь	0,90	0,80	0,50
Кокс	1,00	0,45	0,60
Суглинок	0,75	1,25	0,70
Мука	0,50	0,60	0,70
Песок	0,80	1,55	0,60
Щебень	0,65	1,80	0,65
Торф	0,70	0,40	0,80
Цемент	0,65	1,20	0,70

Табл. 13: Коэффициент трения транспортируемого груза о сталь, насыпной вес и степень заполнения

5.6 Расчет общего тягового усилия цепи F

Общее тяговое усилие цепи F вытекает из суммы общего тягового усилия по периметру F_g , поддерживающего тягового усилия цепи F_s и центробежного тягового усилия цепи F_f .

$$F = F_g + F_s + F_f$$

5.6.1 Поддерживающее тяговое усилие цепи F_s

Поддерживающее тяговое усилие цепи возникает при свободном провисании цепи и зависит от собственного веса цепи и длины провисшей холостой ветви.

$$F_s = \frac{M_K \cdot 9,81 \cdot a_d^2}{8 \cdot f} \cdot \sqrt{1 + 16 \cdot \frac{f^2}{a_d^2}}$$

причем провисание f определяется по следующему уравнению:

$$f = \sqrt{0,375 \cdot a_d \cdot (l_d - a_d)} \quad (f \text{ должно быть выбрано} \approx 10\% \text{ от } a_d)$$

5.6.2 Центробежное тяговое усилие цепи F_f

Центробежное тяговое усилие цепи представляет собой зависимое от скорости движения цепи v и диаметра звездочки тяговое усилие, которое в качестве компонента общего тягового усилия цепи следует учитывать прежде всего при повышенных скоростях движения цепи.

$$F_f = M_K \cdot v^2$$

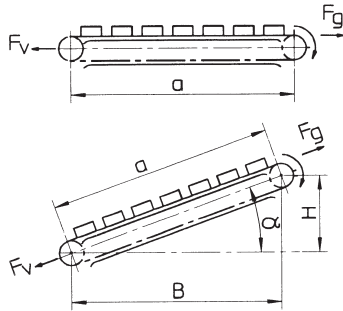
причем считается: $v = \omega \cdot \frac{d_0}{2}$; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ (n = число оборотов звездочки в s^{-1})

5.6.3 Тяговое усилие цепи по периметру F_g

Тяговое усилие по периметру (полезная сила) вытекает из передаваемого, зависимого от эксплуатационных нагрузок момента вращения звездочки. Ниже в зависимости от типа транспортирующей установки представлено несколько расчетных формул для определения общего тягового усилия по периметру F_g . В транспортирующих установках, состоящих из нескольких ветвей, тяговое усилие по периметру на ветвь F_i определяется по соотношению:

$$F_i = \frac{F_g}{i}$$

Трение скольжения



$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot \mu_1 \cdot 9,81 \cdot (2 \cdot M_K + M_F)$$

$$Q_S = \frac{3600 \cdot v}{l_s}$$

$$F_v = 2,2 \cdot (F_s + a \cdot \mu_1 \cdot 9,81 \cdot M_K)$$

$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot 9,81 \cdot [(M_K + M_F) \cdot (\mu_1 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + M_K \cdot (\mu_1 \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)]$$

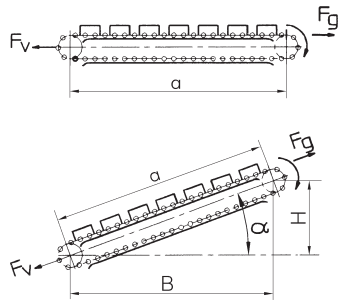
если $(\mu_1 \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) < 0$:

$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot 9,81 \cdot (M_K + M_F) \cdot (\mu_1 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$F_v = 2,2 \cdot F_s \quad \dots \quad \text{если } H/B > \mu_1$$

$$F_v = 2,2 \cdot [F_s + 9,81 \cdot M_K \cdot (B \cdot \mu_1 - H)] \quad \dots \quad \text{если } H/B < \mu_1$$

Трение качения



$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot \mu_2 \cdot 9,81 \cdot (2 \cdot M_K + M_F)$$

$$Q_S = \frac{3600 \cdot v}{l_s}$$

$$F_v = 2,2 \cdot (F_s + a \cdot \mu_2 \cdot 9,81 \cdot M_K)$$

$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot 9,81 \cdot [(M_K + M_F) \cdot (\mu_2 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + M_K \cdot (\mu_2 \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)]$$

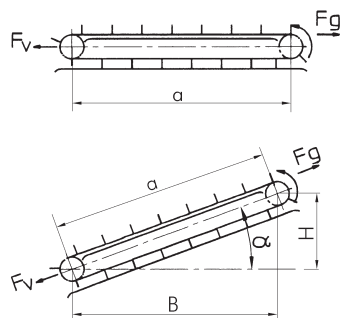
если $(\mu_2 \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) < 0$:

$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot 9,81 \cdot (M_K + M_F) \cdot (\mu_2 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$F_v = 2,2 \cdot F_s \quad \dots \quad \text{если } H/B > \mu_2$$

$$F_v = 2,2 \cdot [F_s + 9,81 \cdot M_K \cdot (B \cdot \mu_2 - H)] \quad \dots \quad \text{если } H/B < \mu_2$$

Конвейер с погруженными скребками



$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot 9,81 \cdot \left(2 \cdot M_K \cdot \mu_1 + \frac{Q_M}{3,6 \cdot v} \cdot \mu_4 \right)$$

$$F_v = 2,2 \cdot (F_s + a \cdot \mu_1 \cdot 9,81 \cdot M_K)$$

$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot 9,81 \cdot \left[M_K \cdot (\mu_1 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + \frac{Q_M}{3,6 \cdot v} \cdot (\mu_4 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + M_K \cdot (\mu_2 \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \right]$$

если $(\mu_1 \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) < 0$:

$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot 9,81 \cdot \left[M_K \cdot (\mu_1 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + \frac{Q_M}{3,6 \cdot v} \cdot (\mu_4 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \right]$$

$$F_v = 2,2 \cdot F_s \quad \dots \quad \text{если } H/B > \mu_1$$

$$F_v = 2,2 \cdot [F_s + 9,81 \cdot M_K \cdot (B \cdot \mu_1 - H)] \quad \dots \quad \text{если } H/B < \mu_1$$

5.7 Определение необходимого предела прочности цепи F_b

$$F_b = k \cdot F_i$$

Коэффициент запаса прочности $k = 5 \dots \underline{7} \dots 12$

Коэффициент запаса прочности k прежде всего зависит от условий эксплуатации и числа зубьев цепной звездочки. В общем k составляет 6 - 7.

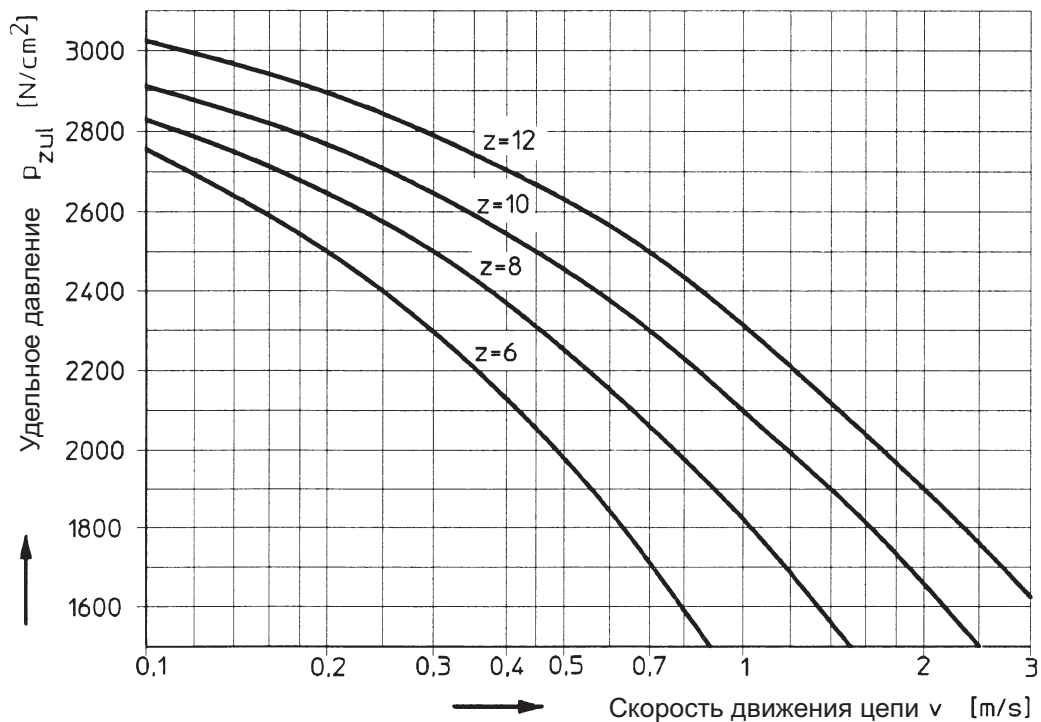
5.8 Определение мощности привода P

$$P = \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta} ; \quad c \eta = 0,75 \dots \underline{0,8} \dots 0,9$$

5.9 Определение удельного давления на шарниры P_{eff}

$$P_{\text{eff}} = \frac{F}{A_K}$$

Диаграмма для $P_{\text{доп}}$.



Изобр. 7: Удельное давление на шарниры

5.10 Примеры расчетов

Пример 1: Конвейер с погруженными скребками, горизонтальными

Транспортируемый материал	: Деревянные стружки
Дальность подачи	: 40 м
Производительность подачи	: 25 т/ч
Внутренняя ширина подачи	: 400 мм
Внутренняя высота подачи	: 300 мм
Число ветвей цепи	: 1
Число зубьев цепной звездочки	: 8

а) Определение скорости движения цепи

$$Q_M = 3600 \cdot v \cdot A_M \cdot \gamma \quad A_M = b \cdot h \cdot \varphi \quad Q_M = 25 \frac{t}{h}$$
$$v = \frac{Q_M}{3600 \cdot A_M \cdot \gamma} \quad A_M = 0,4 \cdot 0,3 \cdot 0,75 \quad \gamma = 0,25 \text{ (см. раздел 4.5.3)}$$
$$v = \frac{25}{3600 \cdot 0,09 \cdot 0,25} = \underline{\underline{0,31 \frac{m}{s}}} \quad A_M = 0,09 \text{ m}^2 \quad \varphi = 0,75 \text{ (см. раздел 4.5.3)}$$
$$b = 0,4 \text{ m}$$
$$h = 0,3 \text{ m}$$

б) Определение тягового усилия цепи

$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot 9,81 \cdot \left(2 \cdot M_K \cdot \mu_1 + \frac{Q_M}{3,6 \cdot v} \cdot \mu_4 \right) \quad a = 40 \text{ m}$$
$$F_g = 1,1 \cdot 40 \cdot 9,81 \cdot \left(2 \cdot 8 \cdot 0,35 + \frac{25}{3,6 \cdot 0,31} \cdot 0,8 \right) \quad M_K = 8 \frac{kg}{m}$$
$$F_g = \underline{\underline{10150 \text{ N}}} \quad \mu_1 = 0,35 \text{ (см. раздел 4.5.1)}$$
$$\mu_4 = 0,8 \text{ (см. раздел 4.5.3)}$$
$$i = 1$$
$$k = 7$$
$$F_i = \frac{F_g}{i} = \frac{10150}{1} = F \text{ (можно пренебречь значениями } F_s \text{ и } F_t)$$

$$F_b = k \cdot F = 7 \cdot 10150 = \underline{\underline{71050 \text{ N}}}$$

⇒ 1-е предположение: выбор цепи с погруженными скребками Tf90 по таблице на стр. 50
Стандартный шаг: $p = 125 \text{ мм}$

б) Определение тягового усилия цепи

$$P_{\text{eff}} = \frac{F}{A_K} \leq P_{\text{zul}} \quad F = 10150 \text{ N}$$
$$P_{\text{eff}} = \frac{10150}{5} = \underline{\underline{2030 \frac{N}{cm^2}}} < 2500 \frac{N}{cm^2} \quad A_K = 5 \text{ cm}^2 \text{ (см. таблицу на стр. 50)}$$
$$P_{\text{zul}} = 2500 \frac{N}{cm^2} \text{ (см. раздел 4.9)}$$

Размер цепи Tf90 выбран правильно!

Пример 1: Конвейер с погруженными скребками, горизонтальный - продолжение

d) Определение силы предварительного натяга цепи (предварительный натяг пружины)

$$F_v = 2,2 \cdot (F_s + a \cdot \mu_1 \cdot 9,81 \cdot M_K)$$

$$F_s = 0 \text{ (так как ветвь имеет подпорку)}$$

$$a = 40 \text{ m}$$

$$F_v = 2,2 \cdot (0 + 40 \cdot 0,35 \cdot 9,81 \cdot 8)$$

$$M_K = 8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\mu_1 = 0,35 \text{ (см. раздел 4.5.1)}$$

$$F_v = \underline{\underline{2420 \text{ N}}}$$

e) Необходимая мощность привода

$$P = \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta}$$

$$F = 10150 \text{ N}$$

$$v = 0,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = \frac{10150 \cdot 0,31}{1000 \cdot 0,8} = \underline{\underline{3,9 \text{ kW}}}$$

$$\eta = 0,8$$

Пример 2: Транспортировка поддонов

Транспортируемый груз	: поддоны
Дальность транспортировки	: 30 м
Размер поддонов	: длина: 1200 мм, ширина: 800 мм
Общий вес на поддон	: 600 кг
Число ветвей цепи	: 2
Скорость движения цепи	: 0,2 м/с
Число зубьев звездочки	: 10
Макс. число поддонов	: 20 шт.
Избранный тип цепи	: втулочно-роликовая грузовая цепь согл. DIN 8165

a) Определение тягового усилия цепи

$$F_g = 1,1 \cdot a \cdot \mu_2 \cdot 9,81 \cdot (2 \cdot M_K + M_F)$$

$$a = 30 \text{ m}$$

$$F_g = 1,1 \cdot 30 \cdot 0,12 \cdot 9,81 \cdot (2 \cdot 11 + 400)$$

$$\mu_2 = 0,12 \text{ (оценочно, см. раздел 4.5.2)}$$

$$F_g = \underline{\underline{16400 \text{ N}}}$$

$$M_K = 2 \cdot 5,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \underline{\underline{11 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$F_i = \frac{F_g}{i} = \frac{16400}{2} = \underline{\underline{8200 \text{ N}}}$$

$$M_F = \frac{20 \text{ St} \cdot 600 \frac{\text{kg}}{\text{St}}}{30 \text{ m}}$$

$$F_b = k \cdot F_i$$

$$M_F = \underline{\underline{400 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$F_b = 7 \cdot 8200 = \underline{\underline{57400 \text{ N}}}$$

$$k = 7$$

⇒ Выбор цепи FVT 63, с минимальным пределом прочности 63 кН (см. таблицу на стр. 44)

Пример 2: Транспортировка поддонов - продолжение

б) Дополнительный расчет цепи с учетом удельного давления на шарниры

$$P_{\text{eff}} = \frac{F_i}{A_K} \leq P_{\text{zul}}$$

$$F_i = 8200 \text{ N}$$

$$A_K = 3,7 \text{ cm}^2 \quad (\text{см. таблицу на стр. 44 и 45})$$

$$P_{\text{zul}} = 2780 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \quad (\text{см. раздел 4.9})$$

$$P_{\text{eff}} = \frac{8200}{3,7} = \underline{\underline{2220 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}} \leq 2780 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

с) Дополнительный расчет нагрузки на ходовые ролики

Число несущих роликов	: 4 шт.
Шаг цепи	: 100 мм
Вес поддона	: 600 кг

$$\text{Существующая нагрузка на ролики} = \frac{600 \cdot 9,81}{4} = \underline{\underline{1472 \frac{\text{H}}{\text{ролик}}}} \approx \underline{\underline{1500 \frac{\text{H}}{\text{ролик}}}}$$

Допустимая нагрузка на ролики : см. раздел 4.4

$$\text{Втулочно-роликовая грузовая цепь FVT 63} : 3000 \frac{\text{H}}{\text{ролик}} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$$

- Ходовой ролик	$f_1 : 1,0$
- Закаленная цементуемая сталь	$f_2 : 1,0$
- Недостаточная смазка, без загрязнений или жесткого режима работы	$f_3 : 0,4 \dots 0,6$
- Скорость движения цепи = 0,2 м/с	$f_4 : 1,0$
- температура помещения 10 - 25 °C	$f_5 : 1,0$

$$\Rightarrow \text{Допустимая нагрузка на ролики} = 3000 \frac{\text{H}}{\text{ролик}} \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \underline{\underline{1200 \frac{\text{H}}{\text{ролик}}}}$$

$$\Rightarrow \text{Существующая нагрузка на ролики} = 1500 \frac{\text{H}}{\text{ролик}} > \underline{\underline{1200 \frac{\text{H}}{\text{ролик}}}}$$

В зависимости от смазки цепи (коэффициент f_3) можно превысить допустимую нагрузку на ролики. Поэтому целесообразнее выбрать следующую по размеру цепь. \Rightarrow FVT90

д) Необходимая мощность привода

$$P = \frac{F_g \cdot v}{1000 \cdot \eta}$$

$$F_g = 16400 \text{ H}$$

$$v = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$P = \frac{16400 \cdot 0,2}{1000 \cdot 0,8} = \underline{\underline{4,1 \text{ кВт}}}$$

$$\eta = 0,8$$