

Стан 2800
ООО «Уральская Сталь»

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ УЧАСТКА НОЖНИЦ №2
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Жуков И.Б.
ibzh@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ

1	ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ	3
2	РОЛЬАНГ ПЕРЕД НОЖНИЦАМИ	6
3	УСТРОЙСТВО ДЛЯ УСТАНОВКИ ЛИСТА ПЕРЕД РЕЗАНИЕМ	21
4	МЕХАНИЗМ РЕЗАНИЯ.	29
5	МЕХАНИЗМ РЕГУЛИРОВКИ БОКОВОГО ЗАЗОРА.	37
6	РОЛЬАНГ КАЧАЮЩИЙСЯ.	40
7	РОЛЬАНГ ЗА НОЖНИЦАМИ	57
8	УПОР ПЕРЕДВИЖНОЙ.	60
9	УСТРОЙСТВО ДЛЯ УБОРКИ ОБРЕЗИ.....	63
	АКТ О ВНЕДРЕНИИ.....	80

1 ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Ножницы с катящимся резом со станиной закрытого типа оснащены механизмом регулирования горизонтального бокового зазора между ножами, механизмом уравнивания, механизмом крепления и смены кассет.

Характеристика раскатов (листов), поступающих на участок ножниц №2:

– толщина, мм	7...50
– ширина, мм	1400...2750
– длина (наибольшая), мм	18000
– температура листа (наибольшая), °С	500

Через участок ножниц №2 могут транспортироваться раскаты шириной до 2750мм без выполнения операций по обрезке их кромок.

Предел прочности в холодном состоянии, МПа (кг/мм²)

– при толщине 7...36 мм	1200 (120)
– при толщине 37...40 мм	1000 (100)
– при толщине 41...45 мм	800 (80)
– при толщине 46...50 мм	700 (70)

На ножницах раскаты режутся на мерные длины в пределах 4,5...12,5 м.

Раскаты поступают на рольганг перед ножницами и транспортируются за линию реза для зачистки переднего конца раската (убирается возможная косина переднего конца раската). За время указанной транспортировки осуществляется установка раската перед порезкой с помощью устройства для установки листа. Указанным устройством боковая кромка раската прижимается к борту. Этим обеспечивается перпендикулярность торцев листа к боковым кромкам после резки.

Перед зачисткой (или сразу за ней) ролик мерительный перед ножницами опускается на раскат.

Раскаты рольгангом (с помощью мерительного ролика) задаются в ножницы для обрезки переднего конца (в случае необходимости и взятия пробной планки). Ножницы включаются на рез. Отрезанный конец падает на транспортер обрезки. После обрезки переднего конца (пробной планки) раскат режется ножницами на мерные длины.

Отрезанный лист транспортируется от ножниц качающимся рольгангом и рольгангом за ножницами.

Оставшийся на столе задний конец размером не более 500 мм сбрасывается при помощи сталкивателя на транспортер обрезки, убирается из-под ножниц и сбрасывается в короб.

Оборудование участка ножниц включает следующие механизмы с электроприводами:

- рольганга перед ножницами, предназначенного для подачи листов к ножницам для порезки их на мерные длины, а также подачи листов для порезки переднего и заднего концов раската в обреш;
- устройства для установки листа перед ножницами;
- рольганга со сталкивателем у ножниц, предназначенного для подачи листа к ножницам поперечной резки и для сталкивания обрезка, остающегося на столе ножниц;
- ножниц поперечной резки для резки листов на мерные длины, а также порезки переднего и заднего концов раската в обреш;
- рольганга качающегося, предназначенного для приема отрезанного листа и транспортировки его от ножниц поперечной резки;
- рольганга за ножницами, предназначенного для транспортировки отрезанного листа от ножниц поперечной резки;
- упора передвижного, установленного за ножницами поперечной резки и предназначенного для остановки раската на рольганге с целью порезки его ножницами на листы заданной длины и точности, а также свободного пропуска отрезанного листа или раската по рольгангу;

- устройства для уборки обрезки от ножниц, устройство служит для приема обрезаемых на ножницах передних и задних концов раскатов (пробных планок), передачи их и сброса соответственно в короб и карман.

Кинематические схемы, технические данные и режимы работы приведены в пояснительной записке по электрооборудованию 729.20.000ПЗ.

2 РОЛЬГАНГ ПЕРЕД НОЖНИЦАМИ

1 Рольганг перед ножницами №2 предназначен для транспортирования листов к ножницам поперечной резки и для транспортировки их через ножницы при резке.

Кинематическая схема приведена на листе 7. Рольганг включает в себя три секции. Первая секция состоит из девяти существующих роликов с индивидуальным приводом от двигателей АР73–10 через редукторы с передаточным числом $u=8,9$. Вторая и третья секции рольганга состоят из 16 вновь проектируемых цельных роликов по 8 штук в каждой. Привод роликов индивидуальный от рольганговых двигателей АРМ73–10У3, 5 кВт, 545 об/мин, 380 В через редуктор с передаточным числом $u=10,9$.

Третья секция включает в себя рольганг со сталкивателем, предназначенный для подачи листа к ножницам поперечной резки и для сталкивания обрезка, остающегося на столе ножниц. Кинематическая схема рольганга со сталкивателем и техническая характеристика приведены на листе 8.

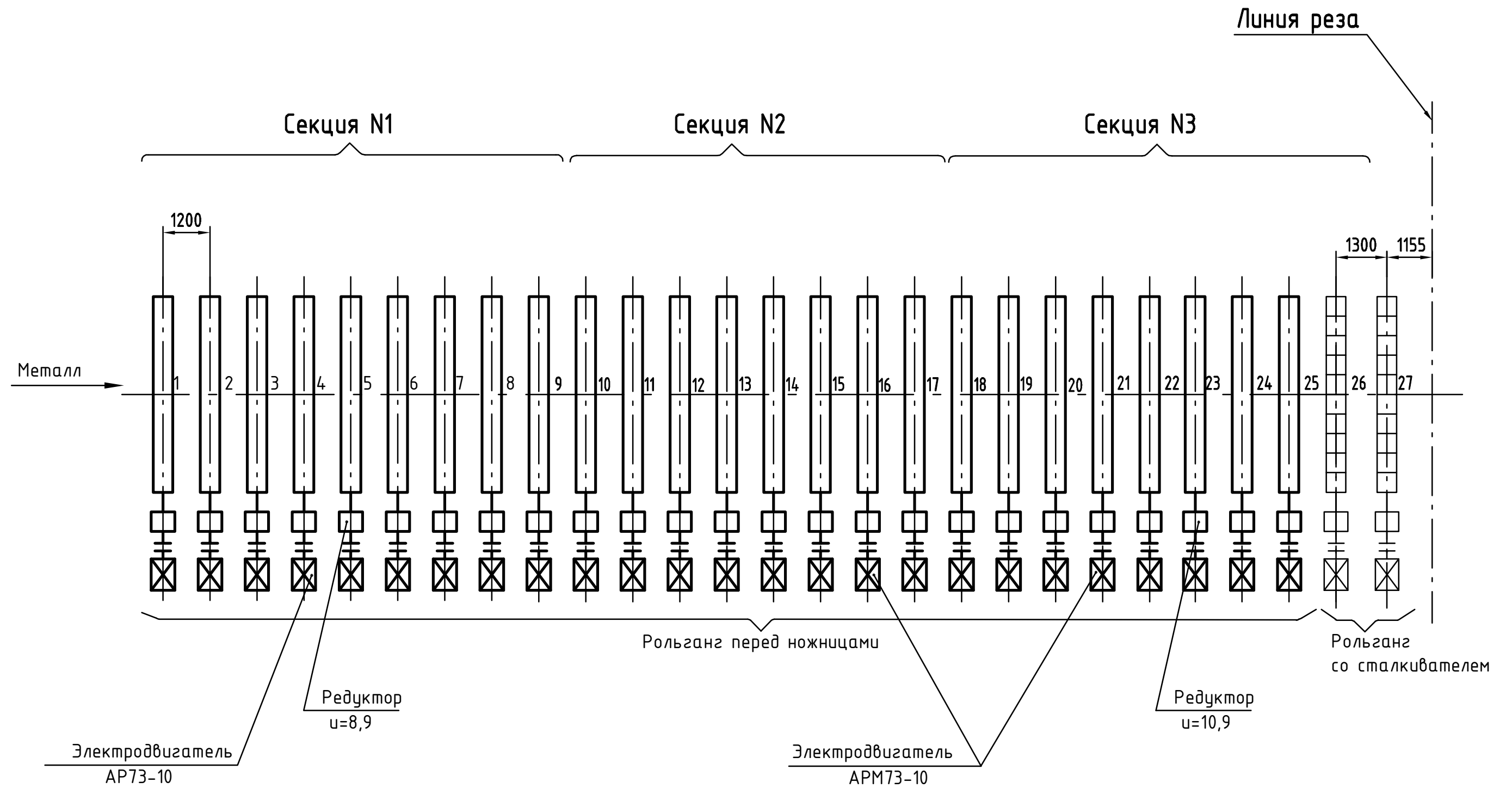
Оба ролика рольганга имеют индивидуальный привод от двигателей АРМ73–10У3 через редукторы с передаточным числом $u=9,8$.

Техническая характеристика рольганга:

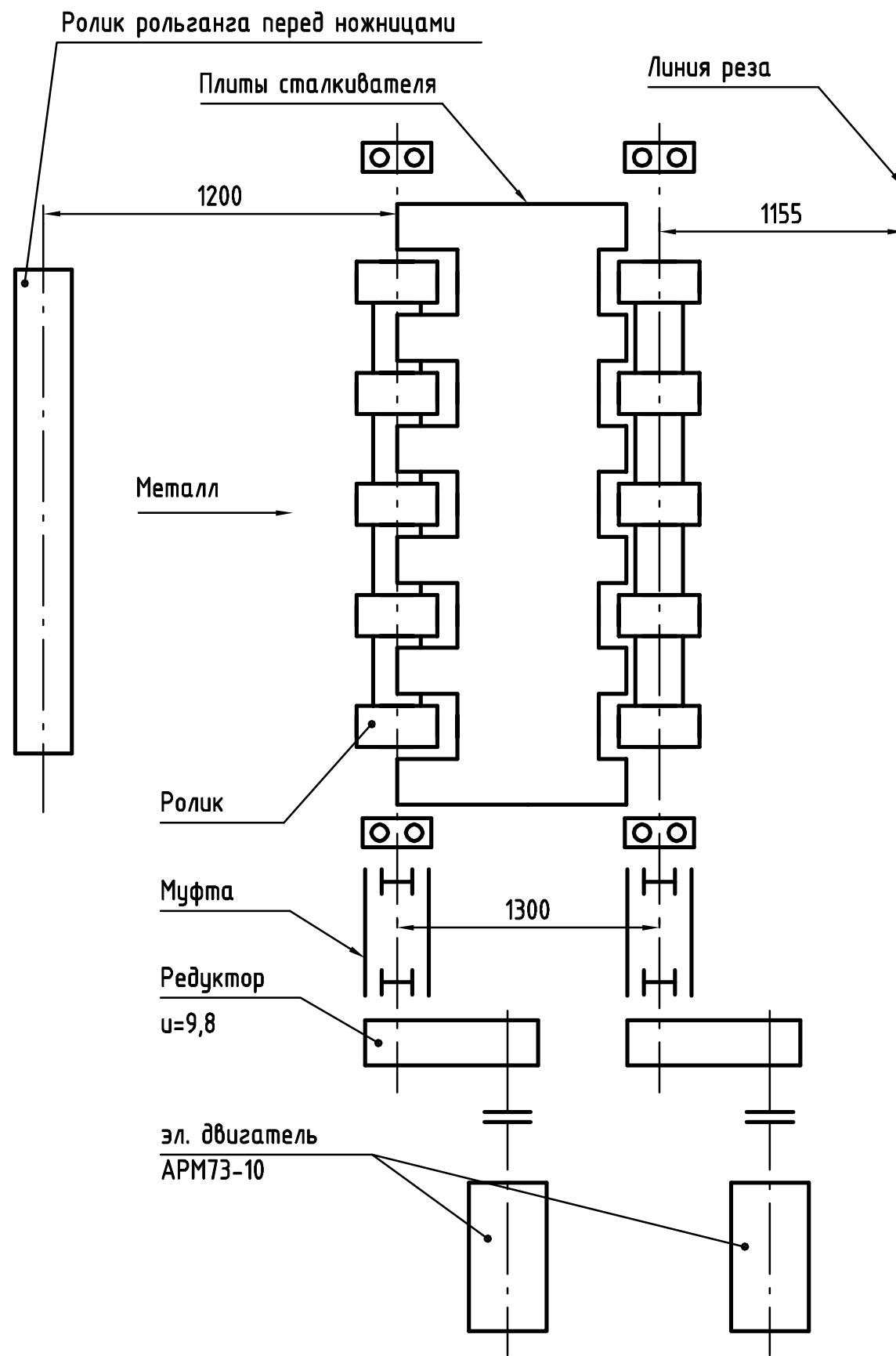
Количество роликов, шт.

первая секция	9
вторая секция	8
третья секция	8
Шаг роликов, мм	1200
Масса роликов	
первой секции, кг	1645
второй и третьей секций, кг	1600
Диаметр бочки ролика, мм	300
Длина бочки ролика, мм	2800

Кинематическая схема рольганга перед ножницами



Кинематическая схема рольганга со сталкивателем



Техническая характеристика

Номинальная скорость рольганга, м/с	1
Количество роликов, шт	2
Шаг роликов	1300
Масса ролика, кг	1070
Диаметр ролика, мм	300
Диаметр цапфы ролика, мм	130
Передаточное число редуктора	9,8

Моменты инерции, приведённые к валу двигателя, кг·м²

Ротор двигателя	0,8
Редуктор	0,1
Муфта	0,0006
Ролик	0,092
Для массы проката, приходящаяся на ролик	0,49
Суммарный при хол. ходе	0,993
Суммарный с прокатом максимальной принятой массы $G = 2090$ кг	1,483

Диаметр цапфы ролика		
	существующего, мм	105
	вновь проектируемого, мм	110
Передаточное число редуктора		
	первой секции	8,9
	второй и третьей секций	10,9
Номинальная скорость рольганга, м/с		1

Моменты инерции, приведённые к валу электродвигателя существующих роликов

$J_{\text{ротора}}$	=0,8	кг·м ²	
$J_{\text{Муфты быстроходной}}$	=0,12	кг·м ²	
$J_{\text{редуктора}}$	=0,05	кг·м ²	
$J_{\text{Муфты тихоходной}}$	=0,006	кг·м ²	
$J_{\text{ролика}}$	=0,227	кг·м ²	
$J_{\text{проката}}$	=0,744	кг·м ²	
Суммарный:	$J_{\Sigma х}=1,204$ кг·м ²		— при холостом ходе
	$J_{\Sigma}=1,948$ кг·м ²		— с прокатом

Моменты инерции, приведённые к валу электродвигателя вновь проектируемых роликов

$J_{\text{ротора}}$	=0,8	кг·м ²	
$J_{\text{Муфты быстроходной}}$	=0,12	кг·м ²	
$J_{\text{редуктора}}$	=0,05	кг·м ²	
$J_{\text{Муфты тихоходной}}$	=0,004	кг·м ²	
$J_{\text{ролика}}$	=0,121	кг·м ²	
$J_{\text{проката}}$	=0,496	кг·м ²	
Суммарный:	$J_{\Sigma х}=1,095$ кг·м ²		— при холостом ходе
	$J_{\Sigma}=1,592$ кг·м ²		— с прокатом

2 Проверочный расчёт двигателей АР73–10 на перегрузочную способность по моменту при транспортировании листа с принятой массой 2621 кг, приходящейся на один ролик.

2.1.1 Проверочный расчёт электродвигателей существующих роликов.

Статический момент при холостом ходе

$$M_x = \frac{G_p \cdot 0,5 \cdot d_{ц} \cdot m \cdot g}{u \cdot h_x} = \frac{1645 \cdot 0,5 \cdot 0,105 \cdot 0,01 \cdot 9,8}{8,9 \cdot 0,55} = 1,7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $G_p = 1645$ кг – масса ролика;
 $d_{ц} = 0,105$ м – диаметр цапфы;
 $\mu = 0,01$ – коэффициент трения в подшипниках;
 $u = 8,9$ – передаточное число редуктора;
 $\eta_x = 0,55$ – к. п. д. редуктора при холостом ходе.

Статический момент при транспортировании листа

$$M_c = M_x \cdot \frac{h_x}{h_1} + \frac{G_{л} \cdot (0,5 \cdot d_{ц} \cdot m + f) \cdot g}{u \cdot h_1} =$$

$$= 1,7 + \frac{2621 \cdot (0,5 \cdot 0,105 \cdot 0,01 + 0,002) \cdot 9,8}{8,9 \cdot 0,55} = 14,98 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $G_{л} = 2621$ кг – принятая масса проката, приходящаяся на 1 ролик;
 $f = 0,002$ м – коэффициент трения качения проката по роликам;
 $\eta_1 = 0,55$ – к. п. д. редуктора при загрузке привода менее 10%.

Загрузка по моменту составляет

$$\frac{M_c}{M_H} = \frac{15,2}{91,7} = 16,3\%$$

где $M_H = 91,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$, — номинальный момент двигателя.

Статический момент при буксовании проката.

$$M_b = M_x \cdot \frac{h_x}{h_1} + \frac{G_{л} \cdot (0,5 \cdot d_{ц} \cdot m + 0,5 \cdot D_p \cdot m_b) \cdot g}{u \cdot h_1} =$$

$$= 1,7 \cdot \frac{0,55}{0,95} + \frac{2621 \cdot (0,5 \cdot 0,105 \cdot 0,01 + 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,25) \cdot 9,8}{8,9 \cdot 0,95} = 116,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $D_p = 0,3$ м – диаметр ролика;
 $\mu_b = 0,25$ – коэффициент трения при буксовании проката по роликам;
 $\eta = 0,95$ – номинальный к. п. д. редуктора.

Загрузка двигателя по максимальному статическому моменту

$$\frac{M_B}{M_H} = \frac{116,5}{91,7} = 1,27 < I = 2,137,$$

где $I = \frac{M_{МАКС}}{M_H} = \frac{196}{91,7} = 2,137$ — перегрузочная способность двигателя по моменту (максимальный принят равным начальному пусковому моменту);

$M_{МАКС} = 196 \text{ Н}$ — опрокидывающий момент двигателя.

2.1.2 Проверочный расчёт двигателя AP73–10 на нагрев.

В расчёте принимаем, что линейные ускорение и замедление проката при разгонах и торможениях постоянны и равны $a=1 \text{ м/с}^2$, при этом угловое ускорение (замедление) электродвигателя рольганга составляет величину

$$e = \frac{a \cdot u}{0,5 \cdot D_p} = \frac{1 \cdot 8,9}{0,5 \cdot 0,3} = 59,3 \text{ рад/с}^2.$$

Определим предельно-оправдываемые моменты двигателя при разгоне и торможении.

$$M_{ПОР} = \frac{2 \cdot J_{\Sigma}}{d_p} \cdot g \cdot u \cdot m_B + M_C = \frac{2 \cdot 1,948}{0,3} \cdot 9,8 \cdot 8,9 \cdot 0,25 + 14,98 = 298,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{ПОТ} = \frac{2 \cdot J_{\Sigma}}{d_p} \cdot g \cdot u \cdot m_B - M_C = \frac{2 \cdot 1,948}{0,3} \cdot 9,8 \cdot 8,9 \cdot 0,25 - 14,98 = 268,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $J_{\Sigma}=1,948 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ — суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя.

При этом момент двигателя не превысит величины

$$M_{Д.макс.} = J_{\Sigma} \cdot e + M_C = 1,948 \cdot 59,3 + 14,98 = 130,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент, развиваемый двигателем, меньше предельно-оправдываемого момента, и, следовательно, при выбранном ускорении прокат буксовать не будет.

Время разгона и торможения электродвигателя

$$t_p = t_T = \frac{v}{a} = \frac{1}{1} = 1 \text{ с}.$$

Динамический момент при пуске (торможении) при транспортировании проката

$$M_{\text{дин. п}} = M_{\text{дин. т}} = J_{\Sigma} \cdot \varepsilon = 1,948 \cdot 59,3 = 115,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Динамический момент при пуске (торможении) в холостую

$$M_{\text{дин. пх}} = M_{\text{дин. тх}} = J_{\Sigma\text{х}} \cdot \varepsilon = 1,204 \cdot 59,3 = 71,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Моменты двигателя при разгоне и торможении при транспортировании проката

$$M_{\text{п}} = M_{\text{дин. п}} + M_{\text{с}} = 115,6 + 15,0 = 130,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$M_{\text{т}} = M_{\text{дин. т}} - M_{\text{с}} = 115,6 - 15,0 = 100,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Моменты двигателя при разгоне и торможении при холостом ходе

$$M_{\text{пх}} = M_{\text{дин. пх}} + M_{\text{х}} = 71,4 + 1,7 = 73,1 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$M_{\text{тх}} = M_{\text{дин. тх}} - M_{\text{х}} = 71,4 - 1,7 = 69,7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

На нагрев проверяется первый по ходу металла ролик первой секции. У остальных роликов первой секции режим работы аналогичен. В расчёте принимаем, что первая секция управляется совместно со второй и третьей секциями рольганга см. далее. При этом, при порезке листа длиной 17000 мм на мерные длины по 4000 мм рольганг работает в следующем режиме.

1 Рольганг разгоняется до скорости $v=1$ м/с в холостую за $t_{\text{п1}}=1$ с.

2 Принимаем, что после этого рольганг работает в холостую со скоростью $v=1$ м/с в течение $t_{\text{х1}}=1$ с;

3 Ролик участвует в транспортировании раската со скоростью $v=1$ м/с до ножниц в течение

$$t_1 = \frac{l_{\text{п}}}{v} = \frac{17}{1} = 17 \text{ с},$$

где $l_{\text{п}}=17$ м — длина транспортируемого раската.

4. После того, как прокат сходит с ролика, первый ролик работает в холостую в течение

$$t_{\text{х2}} = \frac{25 \cdot t - l_{\text{п}}}{v} = \frac{25 \cdot 1,2 - 17}{1} = 13 \text{ с},$$

где $t=1,2$ м — шаг ролика.

5 После приёма раската третьим роликом от линии реза рольганг тормозится до скорости $v_1=0,5$ м/с за $t_{T1}=0,5$ с.

6 Рольганг работает в холостую со скоростью $v_1=0,5$ м/с в течение $t_2=6,6$ с.

7 Рольганг тормозится в холостую до полной остановки за $t_{T2}=0,5$ с.

8 После зачистки переднего конца начинается разгон до принятой скорости 0,5 м/с в течение $t_{P3}=0,5$ с.

9 Производится торможение за $t_{T3}=0,5$ с

10 Производится обрезка второго переднего конца шириной 250 мм в об-
резь. Начинается разгон до принятой скорости 0,45 м/с в течение $t_{P4}=0,45$ с.

11 Производится торможение за $t_{T4}=0,45$ с

12 Производится обрезка планки шириной 200 мм в об-
резь. Начинается раз-
гон рольганга в холостую до принятой скорости 1 м/с в течение $t_P=1$ с.

13 Раскат работает в холостую в течение $t_4=2,52$ с ,

14 При контакте раската с щупом скорость рольганга автоматически снижа-
ется до $v_{Ty}=0,3$ м/с за время $t_{T5}=0,7$ с.

15 В дальнейшем рольганг работает в холостую в течение

$$t_5 = t_{yn} + t_6 = 1,75 + 1 = 2,75 \text{ с} ,$$

где $t_{yn}=1,75$ с — время транспортирования проката до упора;

$t_6=1$ с — время буксования проката у упора.

16 Рольганг тормозится в холостую до полной остановки за $t_{T6}=0,3$ с.

17 Осуществляется рез, после чего раскат разгоняется в холостую для сле-
дующего реза за $t_P=1$ с.

Пункты с 13 по 17 повторяются 4 раза.

Суммарное время работы электродвигателя за цикл

$$\begin{aligned} t_{\Sigma} &= t_{P1} + t_{X1} + t_1 + t_{X2} + t_{T1} + t_2 + t_{T2} + t_{P3} + t_{T3} + t_{P4} + t_{T4} + t_P + 4 \cdot (t_4 + t_{T5} + t_5 + t_{T6} + t_P) + t_D = \\ &= 1 + 1 + 17 + 13 + 0,5 + 6,6 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,45 + 0,45 + 1 + \\ &\quad + 4 \cdot (2,52 + 0,7 + 2,75 + 0,3 + 1) + 2,5 = 74,1 \text{ с} , \end{aligned}$$

где $t_D=2,5$ с — принятое время работы рольганга в режимах кратковременных пусков и торможений при установке листа для обрезки переднего конца.

Относительная продолжительность включения электродвигателя за цикл

$$ПВ\% = \frac{t_{\Sigma}}{t_{ц}} \cdot 100\% = \frac{74,1}{118} \cdot 100\% = 62,8\% ,$$

где $t_{ц}=118$ с — длительность цикла работы рольганга при порезке раскатов длиной 17 м на листы по 4 м.

Эквивалентный момент, приведённый к ПВ=100%

$$M_{\Sigma} = \left(\frac{M_{ПХ}^2 \cdot (t_{p1} + t_{p3} + t_{p4} + 5t_p) + M_X^2 \cdot (t_{X1} + t_{X2} + t_2 + 4 \cdot t_4 + 4t_5)}{t_{ц}} + \frac{M_{ТХ}^2 \cdot (t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} + 4t_{T5} + 4t_{T6}) + M_C^2 \cdot t_1}{t_{ц}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{73^2 \cdot (1 + 0,5 + 0,45 + 5 \cdot 1)}{118} + \frac{1,7^2 \cdot (1 + 13 + 6,6 + 4 \cdot 2,75 + 4 \cdot 2,75) + 69,7^2 \cdot (0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,45 + 4 \cdot 0,7 + 4 \cdot 0,3) + 15^2 \cdot 17}{118} \right)^{\frac{1}{2}} = 30,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Загрузка двигателя по нагреву

$$\frac{M_{\Sigma}}{M_H} \cdot 100\% = \frac{30,9}{91,7} \cdot 100\% = 33,7\%.$$

Существующий электродвигатель АР73–10 удовлетворяет заданным режимам работы.

2.2 Проверочный расчёт электродвигателей АРМ73–10 вновь проектируемых роликов.

2.2.1 Проверочный расчёт на перегрузочную способность по моменту при транспортировании листа с принятой массой 2621 кг, приходящейся на один ролик.

Статический момент при холостом ходе

$$M_X = \frac{G_P \cdot 0,5 \cdot d_{ц} \cdot m \cdot g}{u \cdot h_X} = \frac{1600 \cdot 0,5 \cdot 0,11 \cdot 0,01 \cdot 9,8}{10,9 \cdot 0,55} = 1,44 \text{ Н} \cdot \text{м} ,$$

где $G_P=1600$ кг — масса ролика;
 $d_{ц}=0,11$ м — диаметр цапфы;
 $\mu=0,01$ — коэффициент трения в подшипниках;

- $u=10,9$ – передаточное число редуктора;
 $\eta_X=0,55$ – к. п. д. редуктора при холостом ходе.

Статический момент при транспортировании листа

$$M_C = M_X \cdot \frac{h_X}{h_1} + \frac{G_{II} \cdot (0,5 \cdot d_{II} \cdot m + f) \cdot g}{u \cdot h_1} =$$

$$= 1,44 + \frac{2621 \cdot (0,5 \cdot 0,11 \cdot 0,01 + 0,002) \cdot 9,8}{10,9 \cdot 0,55} = 12,36 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

- где $G_{II}=2621$ кг – принятая масса проката, приходящаяся на 1 ролик;
 $f=0,002$ м – коэффициент трения качения проката по роликам;
 $\eta_1=0,55$ – к. п. д. редуктора при загрузке привода менее 10%.

Загрузка по моменту составляет

$$\frac{M_C}{M_H} = \frac{12,36}{87,6} = 14,1\%$$

- где $M_H = 9550 \cdot \frac{P}{n_H} = 9550 \cdot \frac{5}{545} = 87,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$, — номинальный момент двигателя.

Статический момент при буксовании проката.

$$M_B = M_X \cdot \frac{h_X}{h_1} + \frac{G_{II} \cdot (0,5 \cdot d_{II} \cdot m + 0,5 \cdot D_P \cdot m_B) \cdot g}{u \cdot h_1} =$$

$$= 1,44 \cdot \frac{0,55}{0,95} + \frac{2621 \cdot (0,5 \cdot 0,11 \cdot 0,01 + 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,25) \cdot 9,8}{10,9 \cdot 0,95} = 95,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

- где $D_P=0,3$ м – диаметр ролика;
 $\mu_B=0,25$ – коэффициент трения при буксовании проката по роликам;
 $\eta=0,95$ – номинальный к. п. д. редуктора.

Загрузка двигателя по максимальному статическому моменту

$$\frac{M_B}{M_H} = \frac{95,2}{87,6} = 1,09 < I = 3,25,$$

- где $I = \frac{M_{МАКС}}{M_H} = \frac{285}{87,6} = 3,25$ — перегрузочная способность двигателя по моменту (максимальный принят равным начальному пусковому моменту);

$M_{МАКС} = 285 \text{ Н}$ — опрокидывающий момент двигателя.

2.2.2 Проверочный расчёт двигателя на нагрев.

В расчёте принимаем, что линейные ускорение и замедление проката при разгонах и торможениях постоянны и равны $a=1 \text{ м/с}^2$, при этом угловое ускорение (замедление) электродвигателя рольганга составляет величину

$$e = \frac{a \cdot u}{0,5 \cdot D_p} = \frac{1 \cdot 10,9}{0,5 \cdot 0,3} = 72,7 \text{ рад/с}^2.$$

Определим предельно-оправдываемые моменты двигателя при разгоне и торможении.

$$M_{ПОР} = \frac{2 \cdot J_{\Sigma}}{d_p} \cdot g \cdot u \cdot m_B + M_C = \frac{2 \cdot 1,592}{0,3} \cdot 9,8 \cdot 10,9 \cdot 0,25 + 12,36 = 295,7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{ПОТ} = \frac{2 \cdot J_{\Sigma}}{d_p} \cdot g \cdot u \cdot m_B - M_C = \frac{2 \cdot 1,592}{0,3} \cdot 9,8 \cdot 10,9 \cdot 0,25 - 12,36 = 271,0 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $J_{\Sigma}=1,592 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ — суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя.

При этом момент двигателя не превысит величины

$$M_{Д.макс.} = J_{\Sigma} \cdot e + M_C = 1,592 \cdot 72,7 + 12,36 = 128,0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент, развиваемый двигателем, меньше предельно-оправдываемого момента, и, следовательно, при выбранном ускорении прокат буксовать не будет.

Время разгона и торможения электродвигателя

$$t_p = t_T = \frac{v}{a} = \frac{1}{1} = 1 \text{ с}.$$

Динамический момент при пуске (торможении) при транспортировании проката

$$M_{\text{дин. п}} = M_{\text{дин. т}} = J_{\Sigma} \cdot \varepsilon = 1,592 \cdot 72,7 = 115,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамический момент при пуске (торможении) в холостую

$$M_{\text{дин. пх}} = M_{\text{дин. тх}} = J_{\Sigma х} \cdot \varepsilon = 1,095 \cdot 72,7 = 79,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Моменты двигателя при разгоне и торможении при транспортировании проката

$$M_{\text{п}} = M_{\text{дин. п}} + M_{\text{с}} = 115,7 + 12,4 = 128,1 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{\text{т}} = M_{\text{дин. т}} - M_{\text{с}} = 115,7 - 12,4 = 103,3 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Моменты двигателя при разгоне и торможении при холостом ходе

$$M_{\text{пх}} = M_{\text{дин. пх}} + M_{\text{х}} = 79,6 + 1,44 = 81,0 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{\text{тх}} = M_{\text{дин. тх}} - M_{\text{х}} = 79,6 - 1,44 = 78,1 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

На нагрев проверяется третий ролик от линии реза. У остальных роликов рольганга режим работы аналогичен. В расчёте принимаем, что при порезке раската длиной 17 м на мерные длины по 4 м за цикл $t_{\text{ц}} = 118$ с:

1 Рольганг разгоняется до скорости $v = 1$ м/с в холостую за $t_{\text{р1}} = 1$ с.

2 Принимаем, что после этого рольганг работает в холостую со скоростью $v = 1$ м/с в течение $t_{\text{х1}} = 1$ с;

3 После того, как прокат поступает на первый по ходу металла ролик первой секции рольганга, третий ролик от линии реза работает в холостую в течение

$$t_{\text{х2}} = \frac{25 \cdot t}{v} = \frac{25 \cdot 1,2}{1} = 30 \text{ с.},$$

где $t = 1,2$ м — шаг ролика.

4 После приёма раската третьим роликом от линии реза рольганг тормозится до скорости $v_1 = 0,5$ м/с за

$$t_{\text{т1}} = \frac{v - v_1}{a} = \frac{1 - 0,5}{1} = 0,5 \text{ с.}$$

5 Раскат транспортируется скоростью $v = 0,5$ м/с до ножниц в течение

$$t_1 = \frac{1}{v_1} \cdot \left(l_1 + l_2 - t_{\text{т1}} \cdot \frac{v + v_1}{2} - t_{\text{т2}} \cdot \frac{v_1}{2} \right) = \frac{1}{0,5} \cdot \left(3,65 + 0,15 - 0,5 \cdot \frac{1 + 0,5}{2} - 0,5 \cdot \frac{0,5}{2} \right) = 6,6 \text{ с.},$$

где $l_1 = 3,650$ м — расстояние от оси третьего ролика до линии реза;

$l_2 = 0,150$ м — длина зачищаемого переднего конца.

6 Раскат тормозится до полной остановки за $t_{\text{т2}} = 0,5$ с.

7 Производятся опускание мерительного ролика, прижима и качающегося рольганга, рез переднего конца раската, подъём прижима. Начинается разгон до принятой скорости 0,5 м/с в течение $t_{\text{р3}} = 0,5$ с.

8 Производится торможение за $t_{T3}=0,5$ с.

9 Производится обрезка второго переднего конца шириной 250 мм в обрезь. Начинается разгон до принятой скорости 0,45 м/с в течение $t_{p4}=0,45$ с.

10 Производится торможение за $t_{T4}=0,45$ с

11 Производится обрезка планки шириной 200 мм в обрезь. Начинается разгон до принятой скорости 1 м/с в течение $t_p=1$ с.

12 Раскат транспортируется с номинальной скоростью в течение

$$t_4 = \frac{l - s_p - l_{\text{ш}}}{v} = \frac{4 - 0,5 - 0,98}{1} = 2,52 \text{ с},$$

где $l=4$ м — мерная длина раската;

$s_p=0,5$ м — расстояние, проходимое раскатом при разгоне от нулевой скорости до 1 м/с;

$l_{\text{ш}}=0,98$ м — расстояние, от щупа упора до щита.

13 При контакте раската с щупом скорость автоматически снижается до $v_{Ty}=0,3$ м/с за время

$$t_{T5} = \frac{v - v_{my}}{a} = \frac{1 - 0,3}{1} = 0,7 \text{ с};$$

при этом раскат проходит расстояние

$$l_{T5} = \frac{v + v_{my}}{2} \cdot t_{T5} = \frac{1 + 0,3}{2} \cdot 0,7 = 0,45 \text{ м}.$$

14 В дальнейшем раскат транспортируется до упора в течение

$$t_{yn} = \frac{l_{\text{ш}} - l_{m1}}{v_{my}} = \frac{0,98 - 0,45}{0,3} = 1,75 \text{ с}.$$

15 Принимаем, что после удара об упор прокат буксует в течение $t_{\delta}=1$ с.

16 После этого привод рольганга тормозится за

$$t_{m\delta} = \frac{u \cdot v_{my}}{e_{BX} \cdot 0,5 \cdot d_p} = \frac{10,9 \cdot 0,3}{2,7 \cdot 0,5 \cdot 0,3} \approx 0,25 \text{ с},$$

где $u=10,9$ м — передаточное число редуктора;

$d_p=0,3$ м/с — скорость рольганга;

$$e_{BX} = \frac{M_B}{J_{\Sigma X}} = \frac{95,2}{1,095} = 86,9 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \quad \text{— замедление привода во время буксования проката у упора.}$$

17 Осуществляется рез, после чего раскат разгоняется для следующего реза за $t_p=1$ с.

Пункты с 12 по 17 повторяются 4 раза. Кроме того, учтём, что в процессе установки листа для обрезки переднего конца возможны кратковременные пуски и торможения двигателя. Время работы в этом режиме принимаем 20% от всей работы в режимах разгона и торможения

$$t_D = 0,2 \cdot [t_{p1} + t_{T1} + t_{T2} + t_{p3} + t_{T3} + t_{p4} + t_{T4} + t_{p1} + 4 \cdot (t_{T5} + t_{TB} + t_{p1})] = \\ = 0,2 \cdot [1 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,45 + 0,45 + 1 + 4 \cdot (0,7 + 0,25 + 1)] = 2,5 \text{ с.}$$

Суммарное время работы электродвигателя за цикл

$$t_{\Sigma} = t_{p1} + t_{x1} + t_{x2} + t_{T1} + t_1 + t_{T2} + t_{p3} + t_{T3} + t_{p4} + t_{T4} + t_{p1} + 4 \cdot (t_4 + t_{T5} + t_{yII} + t_B + t_{TB} + t_{p1}) + t_D = \\ = 1 + 1 + 30 + 0,5 + 6,6 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,45 + 0,45 + 1 + \\ + 4 \cdot (2,52 + 0,7 + 1,75 + 1 + 0,25 + 1) + 2,5 = 73,9 \text{ с}$$

Относительная продолжительность включения электродвигателя за цикл

$$ПВ\% = \frac{t_{\Sigma}}{t_{ц}} \cdot 100\% = \frac{73,9}{118} \cdot 100\% = 62,4\%.$$

Эквивалентный момент, приведённый к ПВ=100%

$$M_{\Sigma} = \left(\frac{M_{II}^2 \cdot t_{p1} + M_X^2 \cdot (t_{x1} + t_{x2}) + M_T^2 \cdot (t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} + 4t_{T5}) + M_C^2 \cdot (t_1 + 4t_4 + 4t_{yn})}{t_{ц}} + \right. \\ \left. + \frac{M_{II}^2 \cdot (t_{p3} + t_{p4} + 5t_{p1}) + 4M_B^2 \cdot t_B + 4M_{TX}^2 \cdot t_{TB}}{t_{ц}} \right)^{\frac{1}{2}} = \\ = \left(\frac{81,03^2 \cdot 1 + 1,44^2 \cdot (1 + 30) + 103,3^2 \cdot (0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,45 + 4 \cdot 0,7) + 12,36^2 \cdot (6,6 + 4 \cdot 2,52 + 4 \cdot 1,75)}{118} + \right. \\ \left. + \frac{128,03^2 \cdot (0,5 + 0,45 + 5 \cdot 1) + 4 \cdot 95,21^2 \cdot 1 + 4 \cdot 78,16^2 \cdot 0,208}{118} \right)^{\frac{1}{2}} = 45,3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Загрузка двигателя по нагреву

$$\frac{M_{\Sigma}}{M_H} \cdot 100\% = \frac{45,3}{87,6} \cdot 100\% = 51,7\%.$$

Электродвигатель АРМ73–10 удовлетворяет заданным режимам работы.

2.3 Рольганг со сталкивателем работает в режиме, аналогичном режиму третьей секции рольганга перед ножницами. Поэтому, проверочный расчёт электродвигателей АРМ73–10 рольганга со сталкивателем не производится.

3 УСТРОЙСТВО ДЛЯ УСТАНОВКИ ЛИСТА ПЕРЕД РЕЗАНИЕМ

1. Устройство для установки листа у ножниц №2 предназначено для выравнивания раската на рольганге перед его порезкой без остановки раската на рольганге. Кинематическая схема приведена на листе 22.

Привод механизма осуществляется от короткозамкнутого двигателя МТКН311–6 (N=11 кВт, n=945 об/мин) через двухступенчатый редуктор с передаточным числом $u=40$.

Техническая характеристика устройства

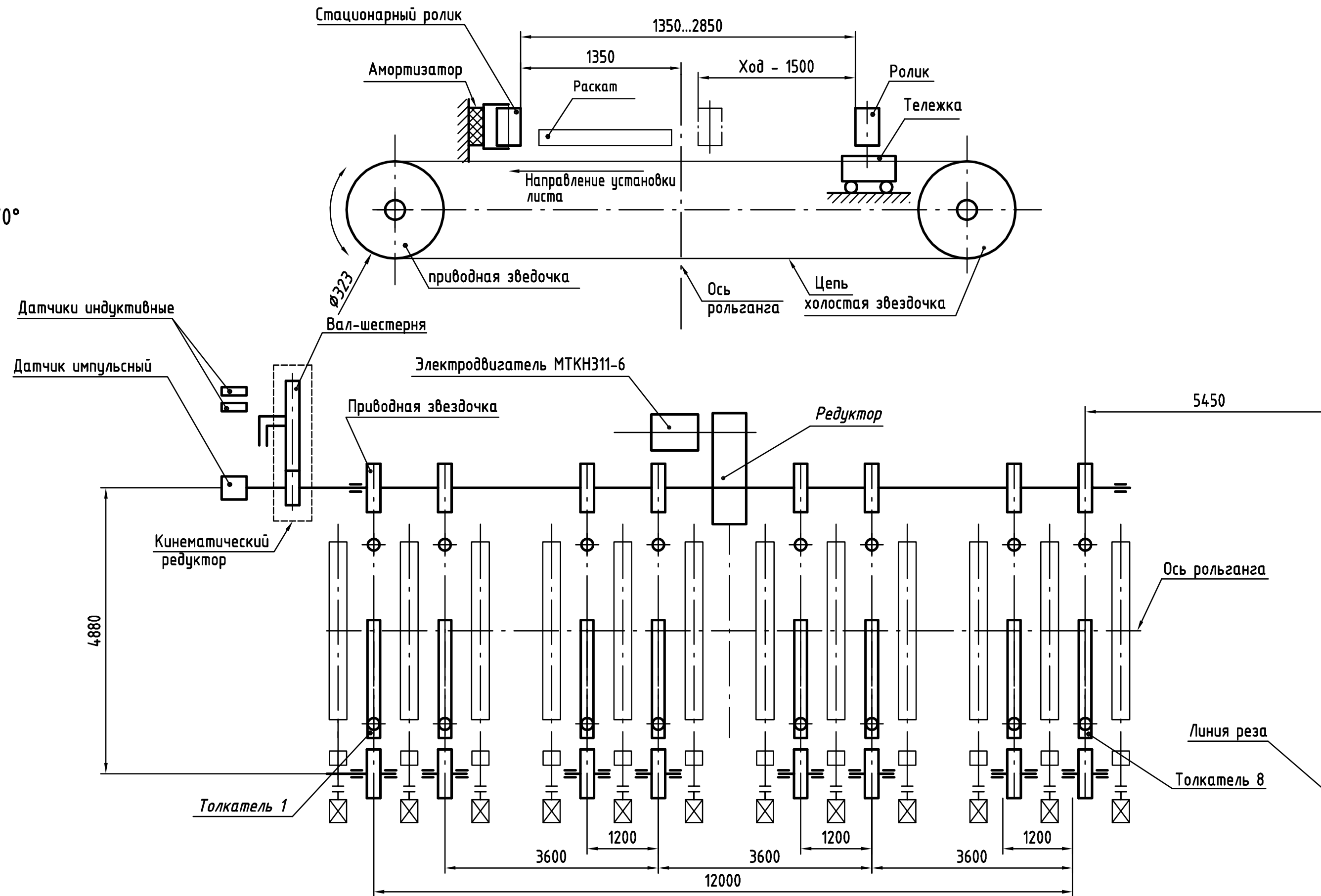
Количество толкающих роликов,	шт.	8
Усилие на толкающих роликах, наибольшее рабочее,	кН	15
Усилие на толкающих роликах, суммарное наибольшее,	кН	18
Ход толкающих роликов,	мм	
Скорость перемещения толкающих роликов		
при установке раската	м/с	0,2
обратного хода	м/с	0,4
Передаточное число редуктора		40

Моменты инерции механизма, приведённые к валу двигателя

двигателя	$J_D =$	0,213	кг·м ²	
муфты быстроходной	$J_{MB} =$	0,068	кг·м ²	
редуктора	$J_P =$	0,043	кг·м ²	
муфты зубчатой	$J_{MT} =$	0,001	кг·м ²	
валопровода	$J_{ВП} =$	0,002	кг·м ²	
цепи	$J_{Ц} =$	0,001	кг·м ²	
тележки	$J_T =$	0,005	кг·м ²	
проката	$J_{ПР} =$	0,098	кг·м ²	
суммарный	холостого хода	$J_{\Sigma_{xx}} =$	0,376	кг·м ²
	с прокатом	$J_{\Sigma} =$	0,474	кг·м ²

Кинематическая схема устройства установки листа перед ножницами

Передаточное число
 кинематического редуктора
 к датчикам BES M30MI $\mu=2$
 Угол поворота вал-шестерни,
 при полном ходе толкающих
 роликов 1500 мм, составляет 270°



2 Проверочный расчёт двигателя МТКН311-6 на перегрузочную способность по моменту при выравнивании листа с максимальной массой 6000кг.

Статический момент при холостом ходе механизма на валу двигателя

$$M_x = \frac{i_m \cdot F_{mx} \cdot (0.5 \cdot d_{цзв} \cdot \mu + 0.5 \cdot d_{зв})}{u \cdot \eta_x} =$$

$$= \frac{8 \cdot 130.803 \cdot (0.5 \cdot 0.09 \cdot 0.01 + 0.5 \cdot 0.323)}{40 \cdot 0.55} = 7.703 \text{ Н}\cdot\text{м} ,$$

где $i_m = 8$ - число тележек;

$$F_{mx} = G_m \cdot g \cdot \left(\frac{d_{цк}}{d_k} \cdot \mu + \frac{2 \cdot f}{d_k} \right) \cdot k_p =$$

- сила сопротивления тележки при холостом ходе

$$= 310 \cdot 9.8 \cdot \left(\frac{0.11}{0.18} \cdot 0.01 + \frac{2 \cdot 0.001}{0.18} \right) \cdot 2.5 =$$

$$= 130.803 \text{ Н}$$

$$G_m = 310 \text{ кг} \quad \text{- масса тележки;}$$

$$g = 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \text{- ускорение свободного падения;}$$

$$d_{цк} = 0.11 \text{ м} \quad \text{- диаметр цапфы катка;}$$

$$d_k = 0.18 \text{ м} \quad \text{- диаметр катка;}$$

$$\mu = 0.01 \text{ м} \quad \text{- коэффициент трения в подшипниках качения;}$$

$f = 0.001 \quad \text{м}^{-1}$ - коэффициент трения качения колёс по рельсам;

$k_p = 2.5$ - коэффициент, учитывающий трение в ребордах;

$d_{цзв} = 0.09 \quad \text{м}$ - диаметр цапфы приводной звёздочки;

$d_{зв} = 0.323 \quad \text{м}$ - диаметр приводной звёздочки;

$u = 40$ - передаточное число редуктора;

$\eta_x = 0.55$ - КПД редуктора при холостом ходе.

Статический момент при выравнивании листа

$$M_c = \frac{i_m \cdot F_{mx} \cdot (0.5 \cdot d_{цзв} \cdot \mu + 0.5 \cdot d_{зв}) + 0.5 \cdot d_{зв} \cdot G_l \cdot g \cdot m_l}{u \cdot \eta_H} =$$
$$= \frac{8 \cdot 130.803 \cdot (0.5 \cdot 0.09 \cdot 0.01 + 0.5 \cdot 0.323) + 0.5 \cdot 0.323 \cdot 6000 \cdot 9.8 \cdot 0.2}{40 \cdot 0.95} =$$
$$= 54,44 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где

$G_l = 6000 \quad \text{кг}$ - максимальная масса листа;

$m_l = 0.2$ - коэффициент трения листа по рольгангу;

$\eta_H = 0.95$ - коэффициент полезного действия редуктора при номинальной нагрузке.

Загрузка по моменту

$$\frac{M_c}{M} = \frac{54.44}{115} = 0.473 < \lambda = 3.3 ,$$

где $M = 115 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - номинальный момент двигателя.

В расчёте принимаем ускорение (замедление) привода $a = b = 1800$ об/мин/с, что соответствует времени разгона (торможения) привода до номинальной скорости

$$t_p = t_m = \frac{n}{a} = \frac{910}{1800} = 0.506 \text{ с.}$$

Динамический момент при пуске (торможении) двигателя в холостую

$$M_{\text{дин.пх}} = M_{\text{дин.тх}} = \frac{J_x \cdot a}{9.55} = \frac{0.376 \cdot 1800}{9.55} = 70.869 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

где $J_x = 0.376 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ - момент инерции механизма при холостом ходе.

$$M_{\text{пх}} = M_{\text{дин.тх}} + M_x = 70.848 + 7.703 = 78.551 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{\text{тх}} = M_{\text{дин.пх}} - M_x = 70.848 - 7.703 = 63.145 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Динамический момент при пуске двигателя с прокатом

$$M_{\text{дин.п}} = M_{\text{дин.т}} = \frac{J \cdot a}{9.55} = \frac{0.474 \cdot 1800}{9.55} = 89.34 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

где $J = 0.474 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ - момент инерции механизма при разгоне с прокатом.

$$M_n = M_{\text{дин.т}} + M_c = 89.34 + 54.44 = 143.78 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Скорость двигателя, соответствующая скорости выравнивания листа $v_g = 0.2 \text{ м/с}$

$$n_g = \frac{9.55 \cdot v_g \cdot u}{0.5 \cdot d_{3g}} = \frac{9.55 \cdot 0.2 \cdot 40}{0.5 \cdot 0.323} = 473.065 \text{ об/мин.}$$

Время разгона до скорости выравнивания проката

$$t_{p1} = \frac{n_g}{a} = \frac{473}{1800} = 0.263 \text{ с.}$$

Скорость двигателя, соответствующая скорости холостого хода
 $v = 0.4$ м/с

$$n_x = \frac{9.55 \cdot v \cdot u}{0.5 \cdot d_{зв}} = \frac{9.55 \cdot 0.4 \cdot 40}{0.5 \cdot 0.323} = 946.13 \text{ об/мин.}$$

Время разгона до скорости холостого хода

$$t_{p2} = t_{m2} = \frac{n_x}{a} = \frac{946}{1800} = 0.526 \text{ с.}$$

Угол поворота валшестерни при торможении в исходном положении тележки составляет

$$j_m = \frac{0.5 \cdot v \cdot t_{m2}}{0.5 \cdot d_{зв} \cdot u_g} \cdot \frac{180}{p} = \frac{0.5 \cdot 0.4 \cdot 0.526}{0.5 \cdot 0.323 \cdot 2} \cdot \frac{180}{p} = 18.7^\circ,$$

где $u_g = 2$ передаточное число от вал-шестерни к звездочке.

3 Проверочный расчёт двигателя МТКНЗ11-6 на нагрев.

При проверке на нагрев принимаем, что за цикл подачи раскатов $t_{ц} = 118$ с:

1) Тележки разгоняются в холостую до скорости выравнивания $v_g = 0.2 \frac{м}{с}$ за $t_{p1} = 0.263$ с.

2) Принимаем, что производится выравнивание раската в течение

$$t_g = \frac{l_1 - l_{мин} - t_{p1} \cdot \frac{v_g}{2}}{v_g} = \frac{2.85 - 1.4 - 0.263 \cdot \frac{0.2}{2}}{0.2} = 7.119 \text{ с,}$$

где

$l_1 = 2.85$ м - расстояние между стационарными роликами и роликами, установленными на тележках, когда тележки находятся в исходном положении;

$l_{мин} = 1.4$ м - минимальная ширина проката.

3) Принимаем, что прокат прижимается к роликам тележками в течение $t_y = 1$ с.

4) Тележки разгоняются в холостую до скорости $v = 0.4 \frac{м}{с}$ за $t_{p2} = 0.526$ с.

5) Тележки перемещаются вхолостую в течение

$$t_{x2} = \frac{l_1 - l_{мин} - t_{p2} \cdot \frac{v}{2} - t_{m2} \cdot \frac{v}{2}}{v} =$$
$$= \frac{2.85 - 1.4 - 0.526 \cdot \frac{0.4}{2} - 0.526 \cdot \frac{0.4}{2}}{0.4} = 3.099 \text{ с}$$

6) Тележки тормозятся в холостую до полной остановки за

$$t_{m2} = 0.526 \text{ с}$$

Продолжительность работы механизма за цикл составляет

$$t_x = t_{p1} + t_{\epsilon} + t_y + t_{p2} + t_{x2} + t_{m2} =$$
$$= 0.263 + 7.119 + 1 + 0.526 + 3.099 + 0.526 = 12.533 \text{ с}$$

Продолжительность включений двигателя составляет

$$ПВ\% = \frac{t_x}{t_{\psi}} \cdot 100 \cdot \% = \frac{12.533}{118} \cdot 100 \cdot \% = 10.621\% .$$

Эквивалентный момент двигателя

$$M_{\Theta} = \sqrt{\frac{t_{p1} \cdot M_n^2 + t_{\epsilon} \cdot M_c^2 + t_y \cdot M^2 + t_{p2} \cdot M_{nx}^2 + t_{x2} \cdot M_x^2 + t_{m2} \cdot M_{mx}^2}{t_{\psi} \cdot ПВ}} =$$

$$= \left(\frac{0.263 \cdot 143.7^2 + 7.119 \cdot 54.44^2 + 1 \cdot 115.4^2 + 0.526 \cdot 78.551^2}{118 \cdot 0.4} + \frac{3.099 \cdot 7.703^2 + 0.526 \cdot 63.144^2}{118 \cdot 0.4} \right)^{1/2} = 31,01 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Загрузка двигателя эквивалентным моментом составляет

$$\frac{M_{\text{Э}}}{M} \cdot 100\% = \frac{31.01}{115} \cdot 100\% = 26.97\%$$

Т. к. эквивалентный момент не превышает номинальный момент двигателя, то выбранный двигатель МТКН311-6 удовлетворяет заданным режимам работы.

4 МЕХАНИЗМ РЕЗАНИЯ

1 Ножницы поперечной резки предназначены для порезки раската на мерные длины, а также переднего и заднего концов.

Суппорт ножниц имеет пять фиксированных положений. Диаграмма приведена на листе 30. За время каждого включения суппорт ножниц переходит из I-го исходного положения во II-ое и наоборот с фиксированной остановкой. Направление вращения кривошипного вала при каждом последующем резе противоположно направлению вращения при предыдущем резе. Угол поворота эксцентрикового вала за один цикл резания, включая разгон, рез и остановку составляет 213° . III-е и IV-е положения используются для задачи в ножницы листа с повышенной коробоватостью. V-ое положение используется для смены кассет.

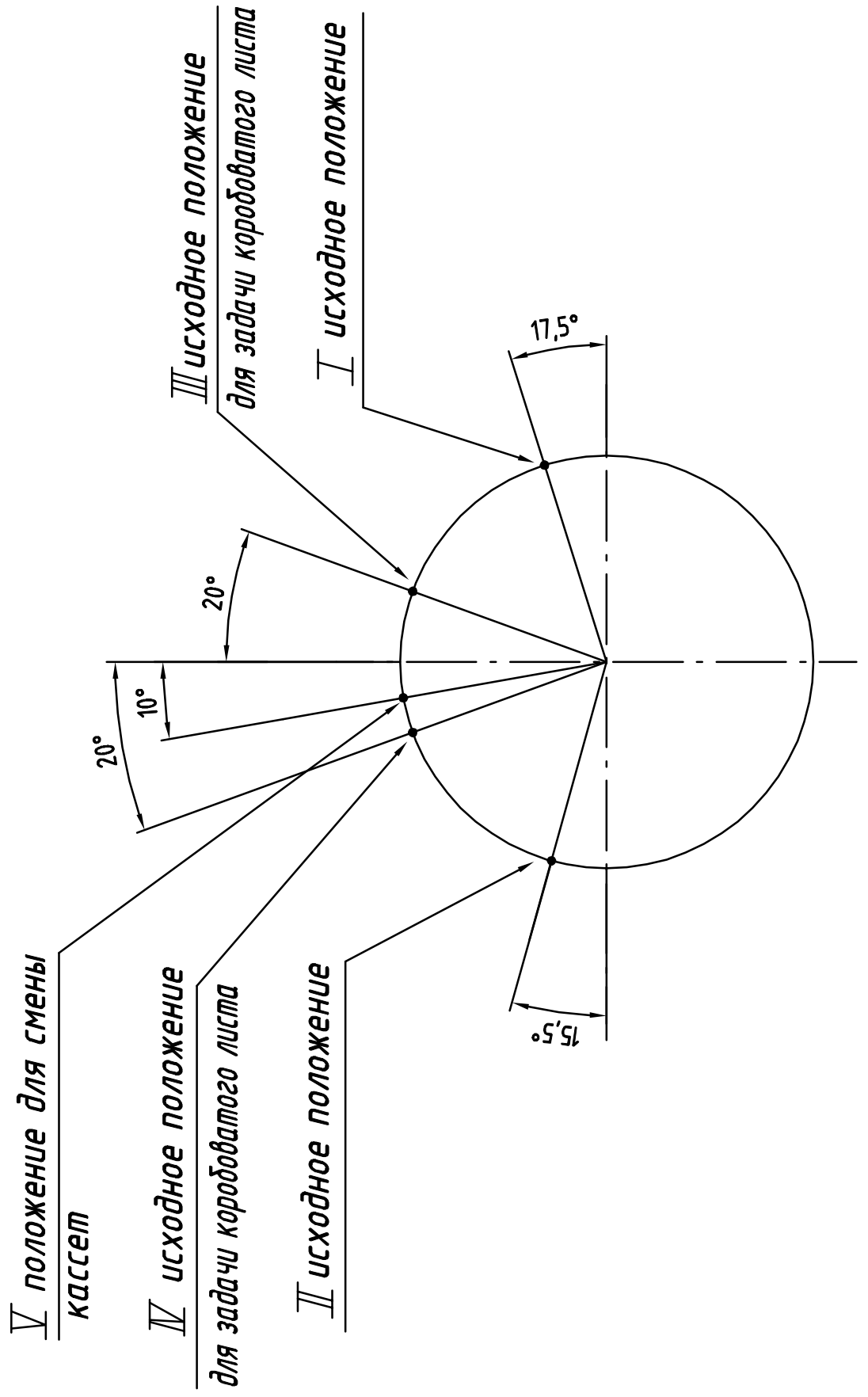
Привод поворота эксцентрикового вала (главный привод) осуществляется от двух асинхронных короткозамкнутых двигателей ДАЗ0–400–0,38–1000–У2, суммарной мощностью 2×400 кВт, через двухпоточный трёхступенчатый суммирующий цилиндрический редуктор с передаточным числом $u=93,7$.

Кинематическая схема главного привода и моменты инерции, приведённые к быстроходным валам редуктора, приведены на листе 31.

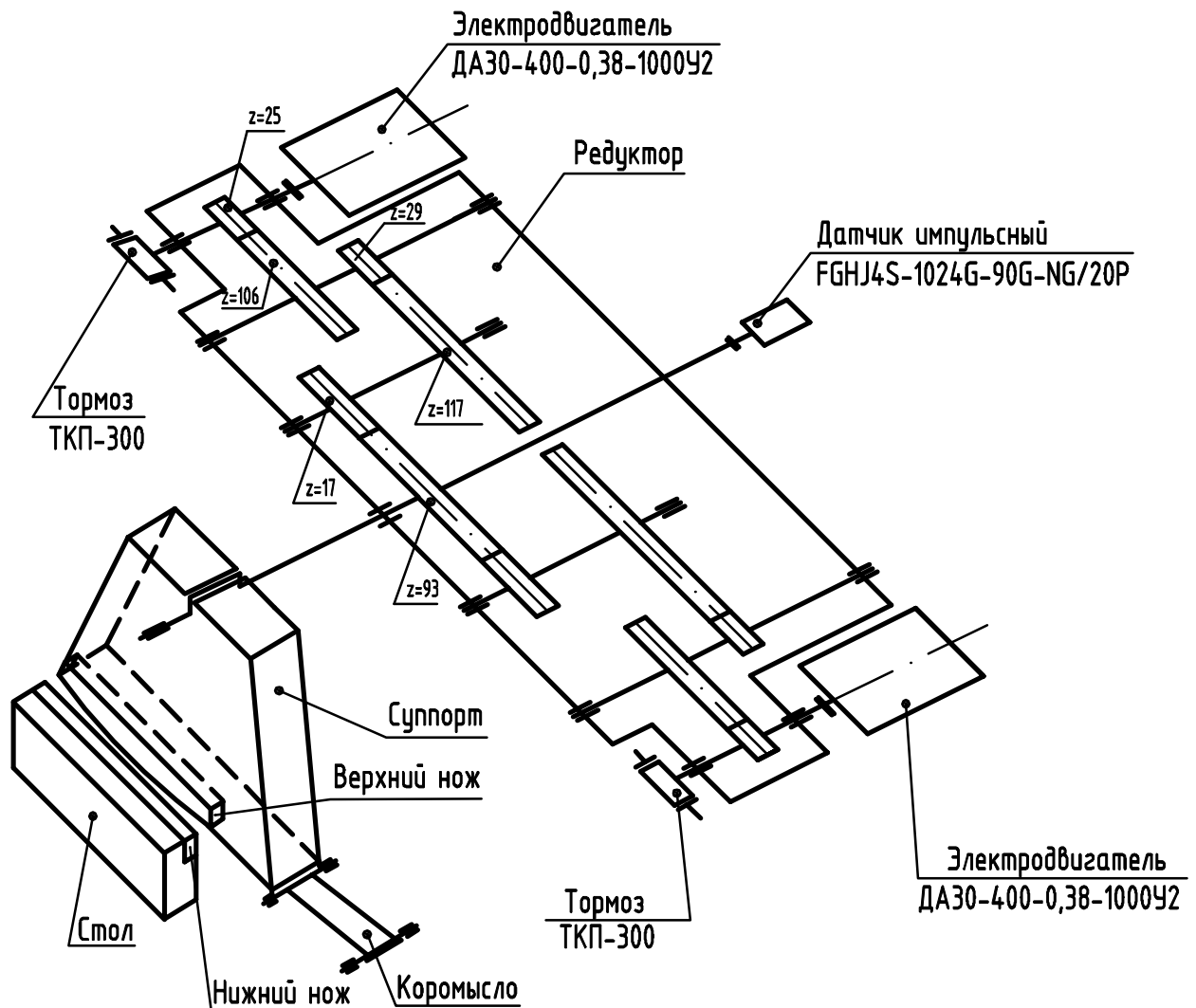
Характеристика ножниц

Усилие резания, наиб., кН	9000
Число ходов в мин.	15
Число резов в мин.	8
Угол резания	$2^\circ 30'$
Общее передаточное число редукторов	93,7
Крутящий момент на эксцентриковом валу, наиб., кН·м	1100
Число оборотов кривошипного вала, об/мин	10,67
Время одного хода суппорта, с	4

Диаграмма фиксированных положений эксцентрикового вала



Механизм резания ножниц поперечной резки



Моменты инерции, приведенные к быстроходному валу редуктора

Ротор двигателя	19
Муфта быстроходная	0,56
Шкив тормоза	0,18
Редуктор	14,8
Эксцентриковый вал с суппортом	0,00003
Доля момента инерции механизма, приходящаяся на один двигатель	27,23

2 Проверка двигателя на нагрев.

Двигатель проверяется на нагрев при работе с минимальным циклом реза $t_{цил}=7,5$ с (8 резов в мин).

Проверочный расчёт электродвигателей производится для режима реза проката с максимальным усилием (зависимость статического момента при резе от угла поворота эксцентрика приведена на листе 28).

В расчёте принимаем ускорение (замедление) привода $a=b=2,4 \cdot 10^3$ об/мин/с, что соответствует времени разгона (торможения) при основной скорости

$$t_p = t_m = \frac{n}{a} = \frac{987}{2,4 \cdot 10^3} \approx 0,41 \text{ с},$$

где $n=993$ об/мин — номинальная скорость двигателя.

Путь, проходимый эксцентриком при разгоне (торможении)

$$\varphi_p = \varphi_m = \frac{3nt_p}{u} = \frac{3 \cdot 987 \cdot 0,41}{93,7} = 13^\circ,$$

где $u=93,7$ — передаточное число редуктора.

При угле реза $\varphi_{рез}=76^\circ$ время реза составит

$$t_{рез} = \frac{\varphi_{рез} \cdot u \cdot p}{\omega_H \cdot 180^\circ} = \frac{76^\circ \cdot 93,7 \cdot 3,14}{104,7 \cdot 180^\circ} = 1,20 \text{ с},$$

где $\omega_N=103,4$ рад/с — номинальная скорость двигателя.

Время холостого хода за один ход ножей

$$t_X = \frac{pu}{180 \cdot \omega_H} \cdot (213^\circ - \varphi_{рез} - \varphi_p - \varphi_T) = \frac{3,14 \cdot 93,7}{180^\circ \cdot 103,4} (213^\circ - 76^\circ - 13^\circ - 13^\circ) = 1,76 \text{ с}.$$

Общее время хода ножа при одном резе

$$t_\Sigma = t_p + t_{рез} + t_X + t_T = 0,41 + 1,20 + 1,76 + 0,41 = 3,78 \text{ с}.$$

Число ходов в минуту

$$z = \frac{60}{t_\Sigma} = \frac{60}{3,78} = 15,8 \text{ с}$$

Момент двигателя при разгоне (торможении) суппорта ножниц при холостом ходе ($M_x \approx 0$):

$$M_p = M_T = \frac{J \cdot a}{9,55} = \frac{27,225 \cdot 2,4 \cdot 10^3}{9,55} = 6842 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $J=27,225$ кг·м² — суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя.

С сайта <http://ibzh.16mb.com/procat/calcs1.htm>

Загрузка двигателя динамическим моментом при разгоне и торможении составляет

$$\frac{M_p}{M_H} = \frac{6842}{3870} = 1,77 < I = 2,5,$$

где $M_H=3870$ Н·м — номинальный момент двигателя;
 $\lambda=2,5$ — перегрузочная способность двигателя по моменту.

Расчёт динамики реза производится в программном пакете MATHCAD по системе уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} M_H = \int_0^t (w_3 - w) dt \\ \frac{dM}{dt} = 54450 \cdot (w_0 - w) + 13438 \cdot M_H - 50 \cdot M \\ \frac{dw}{dt} = 0,03673 \cdot (M - M_c(\varphi)) \\ \frac{d\varphi}{dt} = 0,01067 \cdot w \\ A = \int_0^t M^2 dt \end{array} \right.$$

Эквивалентный момент при 8-ти резах в минуту с максимальным усилием (цикл реза $t_{ц}=7,5$ с)

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{A}{t_{ц}}} = \sqrt{\frac{6,367 \cdot 10^7}{7,5}} = 2914 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Загрузка двигателя по нагреву

$$\frac{M_{\text{э}}}{M_H} \cdot 100\% = \frac{2914}{3870} \cdot 100\% \approx 75,3\% .$$

Выбранные двигатели удовлетворяют заданным условиям работы.

Статический момент на валу эксцентрика от усилия реза.

$$\varphi_{kr} := \begin{pmatrix} 13.5 \\ 21.5 \\ 25 \\ 30 \\ 35 \\ 40 \\ 45 \\ 50 \\ 55 \\ 60 \\ 65 \\ 70 \\ 75 \\ 80 \\ 84 \\ 89.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \quad M_{kr} := \begin{pmatrix} 0 \\ 841.6 \\ 792.5 \\ 774.9 \\ 757.2 \\ 758 \\ 758.9 \\ 772.5 \\ 786.1 \\ 809.7 \\ 833.3 \\ 864.9 \\ 896.6 \\ 917.2 \\ 944.5 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot 10^3$$

$$M_{spl1} := lspline(\varphi_{kr}, M_{kr})$$

$$M_{m1}(\varphi) := if\left[\left(\varphi < \varphi_{kr_0}\right) + \left(\varphi > \varphi_{kr_{10}}\right), 0, interp\left(M_{spl1}, \varphi_{kr}, M_{kr}, \varphi\right)\right]$$

Статический момент холостого хода принимается равным 5% номинального момента двигателя $M_{xx} = 3870 \cdot 0.05 = 193.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

КПД редуктора

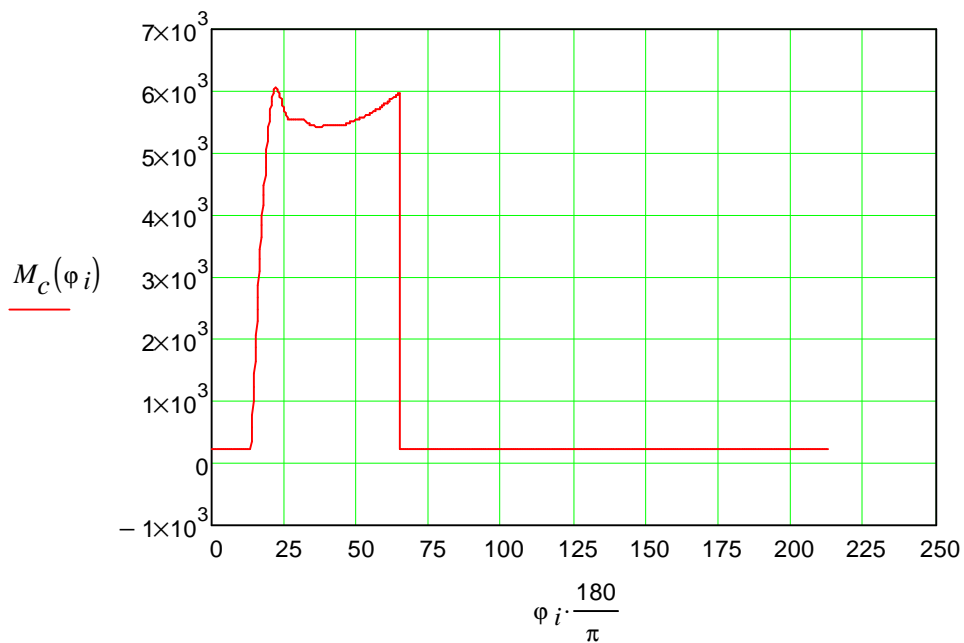
$$\eta_{ред} = 0.85$$

Передаточное число редуктора

$$u = 93.7$$

$$M_c(\varphi) := 1.1 \cdot \left(\frac{M_{kr1}(\varphi)}{2 \cdot u \cdot \eta_{ред}} + M_{xx} \right)$$

- статический момент, приведённый к валу электродвигателя



Система уравнений в MATHCAD

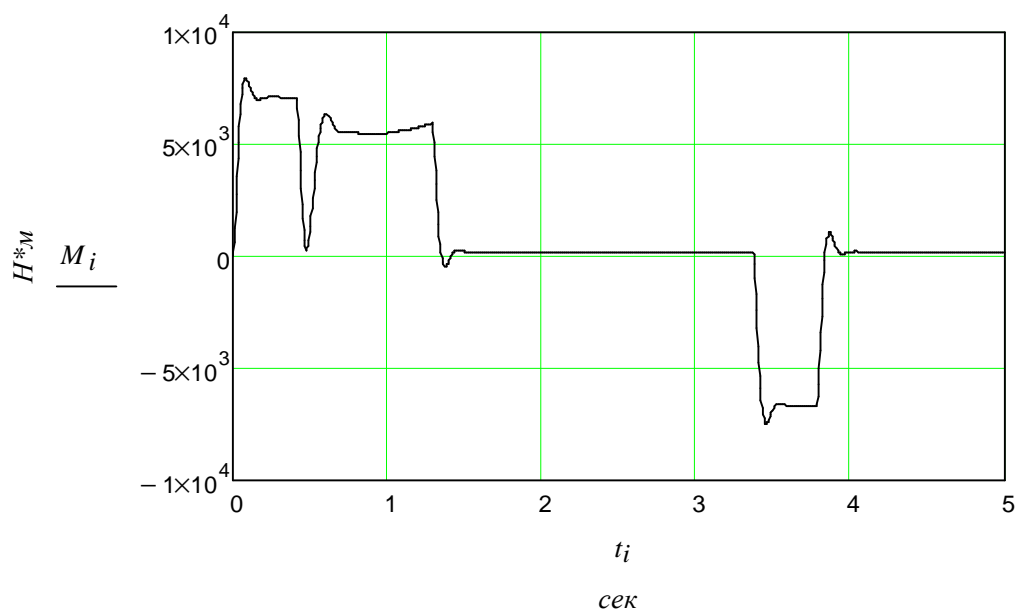
$$D(t, y) := \begin{bmatrix} \omega_3(t) - y_2 \\ 54450 \cdot (\omega_3(t) - y_2) + 13438 \cdot y_0 - 50 \cdot y_1 \\ 0.03673 \cdot (y_1 - M_c(y_3)) \\ 0.01067 \cdot y_2 \\ (y_1)^2 \end{bmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$Z := rkfixed(y, 0, 5, 1000, D)$$

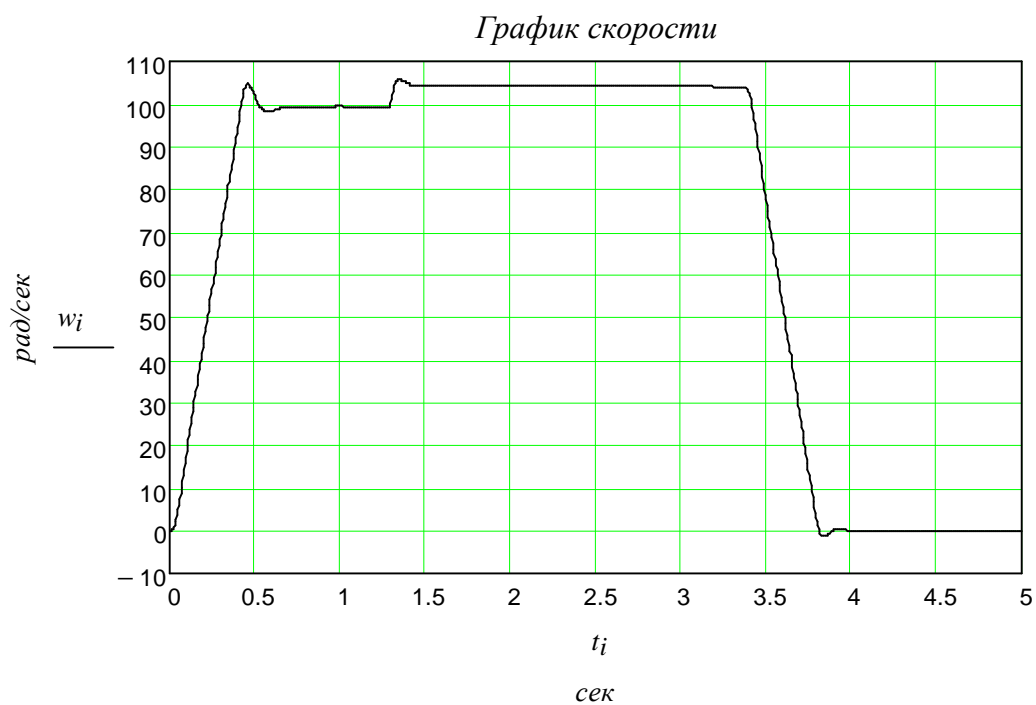
$$t := Z^{(0)} \quad M := Z^{(2)} \quad w := Z^{(3)} \quad f := Z^{(4)} \quad A := \max(Z^{(5)})$$

Результаты расчёта:

1. Момент двигателя



2. Скорость вращения двигателя



3.
$$A = \int_0^t M^2 dt \quad A = 6.367 \times 10^7$$

5 МЕХАНИЗМ РЕГУЛИРОВКИ БОКОВОГО ЗАЗОРА

1 Механизм предназначен для изменения величины бокового (горизонтального) зазора между ножами в зависимости от толщины разрезаемого листа.

Привод механизма регулировки бокового зазора производится через два червячно-винтовых редуктора, связанных между собой валом. Каждый редуктор приводится от отдельного электродвигателя АИР100L8 (1,5 кВт, 750 об/мин) и соединён шарнирно с одним из двух двуплечих рычагов. Кинематическая схема и характеристика механизма приведены на листе 38.

На механизме регулировки бокового зазора предусмотрена также установка кинематического редуктора указателя зазора между ножами. Указатель зазора имеет циферблат, который показывает величину бокового зазора, а также арретир с приводом от электродвигателя типа АИР56А4, 0,12кВт, 1500об/мин для установки стрелки в исходное положение. Для предотвращения самоотдачи стрелки, на червячном валу установлен постоянно действующий тормоз.

Ввиду того, что двигатель арретира выбран из конструктивных соображений с запасом, статический момент не значителен, а режим работы — кратковременный, проверка на перегрузочную способность и проверка на нагрев не производятся.

2 Проверочный расчёт электродвигателя.

В виду кратковременного режима работы механизма проверочный расчёт электродвигателя АИР100L8 производится только по моменту для наиболее тяжёлого режима работы механизма.

Статический момент на валу электродвигателя

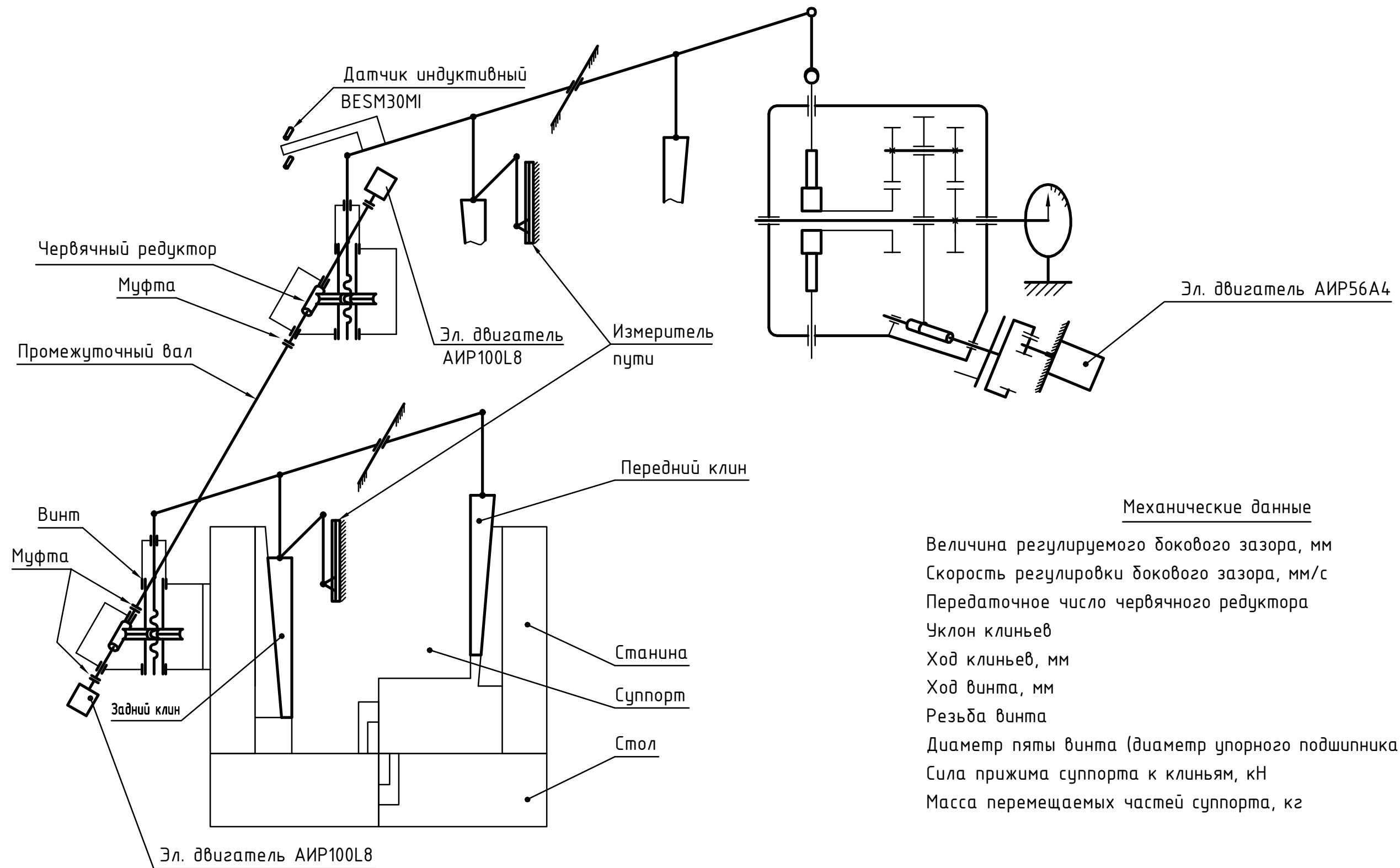
$$M_c = \frac{M_{чк}}{u_p \cdot \eta_p} = \frac{29,183}{40 \cdot 0,4} = 1,824 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $u_p=40$ — передаточное число червячного редуктора;

$\eta_p=0,4$ — КПД червячного редуктора;

$$M_{чк} = \frac{F_{пп}}{u_B h_B} + M_{зп} = \frac{5863}{785 \cdot 0,34} + 7,228 = 29,183 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ — момент на колесе червяч-}$$

Кинематическая схема механизма регулировки докового зазора



Механические данные

Величина регулируемого докового зазора, мм	0,35...4
Скорость регулировки докового зазора, мм/с	0,04
Передаточное число червячного редуктора	40
Уклон клиньев	1:30
Ход клиньев, мм	109,5
Ход винта, мм	154
Резьба винта	Tr 50x4
Диаметр пяты винта (диаметр упорного подшипника), мм	115
Сила прижима суппорта к клиньям, кН	100
Масса перемещаемых частей суппорта, кг	37000

ного редуктора;

$u_B = 2\pi/s_B = 2\pi/0,008 = 785 \text{ м}^{-1}$ — передаточное отношение винтовой передачи;

$s_B = 0,008$ — шаг винта;

$\eta_B = 0,34$ — КПД винтовой передачи;

$$F_{\text{пр}} = \frac{1,1 \cdot m \cdot F \cdot \cos \alpha}{2} \cdot \frac{h_K}{h_B} = \frac{1,1 \cdot 0,15 \cdot 100000 \cdot \cos 1,91^\circ}{2} \cdot \frac{0,1095}{0,154} = 5863 \text{ Н} \text{ — сила привода}$$

да на поступательно движущемся конце винтовой передачи.

коэффициент 2 учитывает, что на грузка распределяется между двумя двигателями;

коэффициент 1,1 учитывает неравномерность загрузки привода;

$\mu = 0,15$ — коэффициент трения в клиньях;

$F = 100 \text{ кН}$ — сила, с которой суппорт давит на клинья;

$\alpha = \arctg(1/u_K) = \arctg(1/30) = 1,91^\circ$ — угол наклона клиньев;

$u_K = 30$ — уклон клиньев;

$h_K = 0,1095 \text{ м}$ — плечо силы трения;

$h_B = 0,154 \text{ м}$ — плечо силы привода;

$$M_{\text{тр}} = K \cdot F_{\text{пр}} \cdot 0,5 \cdot d_{\text{CP}} \cdot \text{tg}(r_B - a_B) = 1,1 \cdot 5863 \cdot 0,5 \cdot 0,048 \cdot \text{tg}(5,7^\circ - 3^\circ) = 7,228 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ — момент трения в винтовой передаче.}$$

$K = 1,1$ — коэффициент, учитывающий трение подушек о направляющие, трение в опорных подшипниках и прочие неучтённые сопротивления.

$d_{\text{CP}} = 48 \text{ мм}$ — средний диаметр нарезки резьбы;

$\rho_B = \arctg(0,1) \approx 5,7^\circ$ — фиктивный угол трения;

$$a_B = \arctg\left(\frac{s_B \cdot m}{p \cdot d_{\text{CP}}}\right) = \arctg\left(\frac{0,008 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,048}\right) \approx 3^\circ \text{ — угол подъёма витков по делительному цилиндру;}$$

$m = 1$ — число заходов резьбы.

Загрузка двигателя статическим моментом составляет

$$\frac{M_C}{M_H} = \frac{1,824}{20,6} = 8,83\%$$

Выбранный двигатель АИР100L8 удовлетворяет заданному режиму работы.

6 РОЛЬГАНГ КАЧАЮЩИЙСЯ

1 Рольганг качающийся установлен за ножницами поперечной резки и предназначен для приёма отрезанного листа и транспортировки его от ножниц. Рольганг включает привод роликов и привод механизма качания.

Параметры механизма (привода)

Скорость рольганга, м/с	0,3...1
Диаметр бочки ролика, мм	300
Длина бочки ролика, мм	2800
Диаметр цапфы ролика, мм	110
Количество роликов рольганга с индивидуальным приводом, шт.	3
Количество роликов рольганга с групповым приводом, шт.	3
Масса рольганга и листа, воспринимаемая механизмом качания (эксцентриковым валом) кг	27000
Эксцентриситет вала, мм	29
Максимальное опускание первого ролика рольганга, мм	90
Масса качающегося рольганга, кг	37500
Диаметр цапф подшипников качения, мм	260
Средний диаметр подшипников качения, мм	300
Масса эксцентрикового вала с бандажом, кг	1143
Моменты инерции механизма качания, приведённые к валу двигателя, кг·м ²	
редуктор	0,07
соединение промежуточное	0,0019
муфта зубч. быстроходная	0,12
вал эксцентриковый	0,0097
ротор двигателя	0,638
шкив тормоза	0,238

2 Электропривод роликов рольганга.

2.1 Привод первых трёх роликов рольганга групповой от электродвигателя переменного тока АРМ74–10 (N=6,7 кВт, n=537 об/мин) через редуктор с передаточным числом $u=9,8$ и паразитные шестерни. Привод остальных трёх роликов рольганга индивидуальный от электродвигателей переменного тока АРМ73–10УЗ через редукторы с передаточным числом $u=9,8$.

Кинематическая схема рольганга и приведённые к валу двигателя моменты инерции приведены на листе 42.

2.2 Проверка электродвигателя АРМ74–10 с групповым приводом на перегрузочную способность по моменту и на нагрев.

Статический момент на валу электродвигателя при холостом ходе:

$$M_x = \frac{z \cdot G_p \cdot 0,5 \cdot d_{ц} \cdot m}{u \cdot h_x} \cdot g = \frac{3 \cdot 1120 \cdot 0,5 \cdot 0,11 \cdot 0,01}{9,8 \cdot 0,55} \cdot 9,8 = 3,36 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $z=3$ — число роликов в секции;

$u=9,8$ — передаточное число редуктора;

$\mu=0,01$ — Коэффициент трения в подшипниках качения;

$g=9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения;

$\eta_x=0,55$ — к. п. д. редуктора при загрузке привода на 10%;

$d_{ц}=0,11 \text{ мм}$ — диаметр цапфы ролика;

$G_p=1120 \text{ кг}$ — масса ролика.

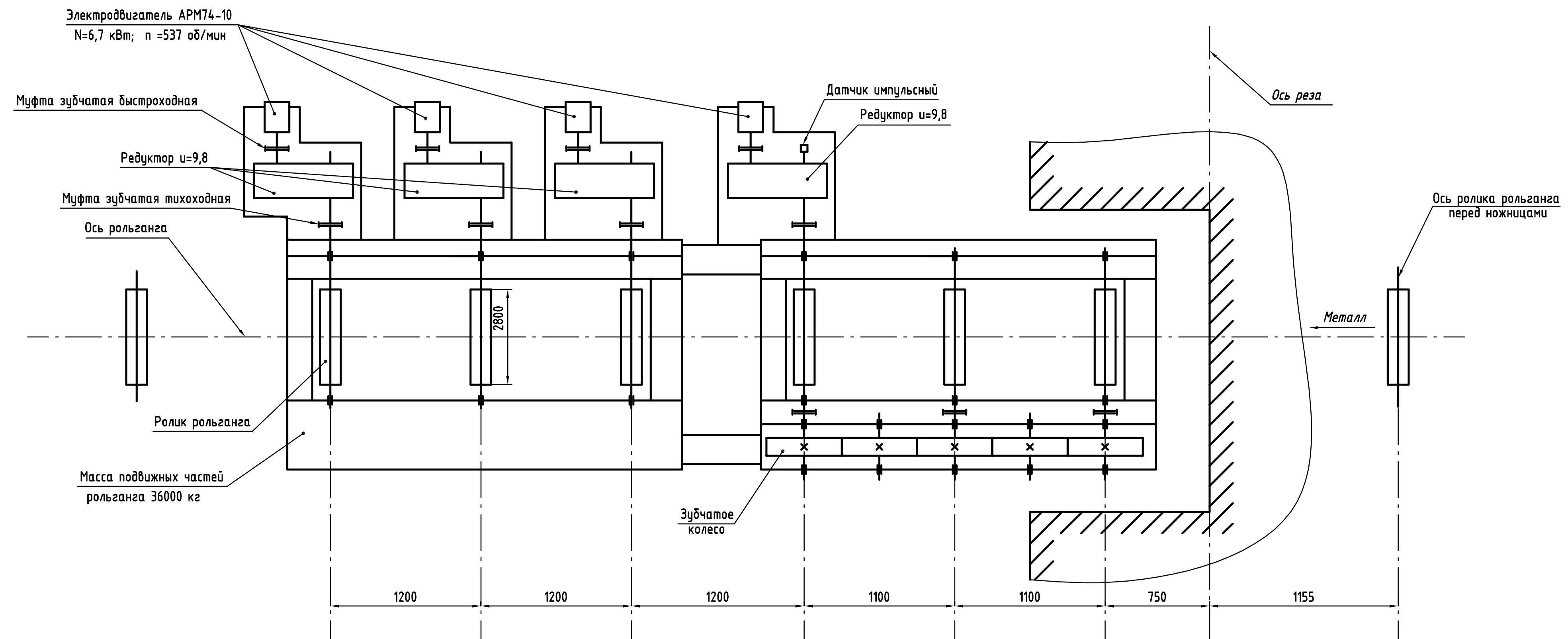
Статический момент на валу электродвигателя при транспортировании листа $50 \times 2700 \times 5300 \text{ мм}$ максимальной массой, приходящейся на секцию с групповым приводом, $G_{\max}=5586 \text{ кг}$

$$\begin{aligned} M_{c1} &= M_x \cdot \frac{h_x}{h_1} + \frac{G_{\max} \cdot (0,5 \cdot d_{ц} \cdot m + f)}{u \cdot h_1} \cdot g = \\ &= 3,36 \cdot \frac{0,55}{0,63} + \frac{5586 \cdot (0,5 \cdot 0,11 \cdot 0,01 + 0,002)}{9,8 \cdot 0,63} \cdot 9,8 = 25,5 \text{ Н} \cdot \text{м}, \end{aligned}$$

где $f=0,002 \text{ м}$ — Коэффициент трения качения горячего металла по роликам рольганга;

$\eta_1=0,63$ — к. п. д. редуктора при загрузке на 15%.

Кинематическая схема электропривода роликов рольганга качающегося



Моменты инерции, приведенные к валу двигателя

Редуктор	0,05
Муфта зубчатая тихоходная	0,0052
Муфта зубчатая быстроходная	0,12
Ролик рольганга	0,097
Колесо зубчатое	0,047
Момент инерции ротора двигателя	1,015
Момент инерции от доли массы проката, приходящейся на ролики	
- при индивидуальном приводе	0,151
- при групповом приводе	0,343
Момент инерции суммарный при холостом ходе	
- при индивидуальном приводе	1,287
- при групповом приводе	1,717
Момент инерции суммарный с прокатом	
- при индивидуальном приводе	1,438
- при групповом приводе	2,06

Статический момент на валу электродвигателя при буксовании листа максимальной массы:

$$M_B = M_X \cdot \frac{h_X}{h_2} + \frac{G_{MAX} \cdot (0,5 \cdot d_{Ц} \cdot m + 0,5 \cdot d_P \cdot m_B)}{u \cdot h_2} \cdot g =$$

$$= 3,36 \cdot \frac{0,55}{0,9} + \frac{5586 \cdot (0,5 \cdot 0,11 \cdot 0,01 + 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,25)}{9,8 \cdot 0,9} \cdot 9,8 = 238,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $\mu_B=0,25$ — коэффициент трения при буксовании проката;
 $d_P=300$ мм — диаметр бочки вала;
 $\eta_2=0,9$ — к. п. д. редуктора при загрузке на 100%.

Загрузка электродвигателя АРМ74–10 по максимальному моменту:

$$\frac{M_B}{M_H} = \frac{238,2}{119} = 2,0 < I = 3,5$$

Электродвигатель удовлетворяет условиям буксовки проката по роликам рольганга.

Статический момент на валу электродвигателя при транспортировании листа $17 \times 2700 \times 17000$ мм массой 6 т при порезке листа на мерные длины по 4 м,

$$M_C = M_X + \frac{G_{II} \cdot (0,5 \cdot d_{Ц} \cdot m + f)}{u \cdot h_1} \cdot g =$$

$$= 3,36 + \frac{1465 \cdot (0,5 \cdot 0,11 \cdot 0,01 + 0,002)}{9,8 \cdot 0,55} \cdot 9,8 = 10,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $G_{II}=q \cdot t=$ — доля массы проката, приходящаяся на один ролик;
 $=353 \cdot 4,15=1465$ кг
 $q=353$ кг/м — масса погонного метра проката сечением 2700×17 мм;
 $t=4,15$ м — принятая часть проката, находящаяся над роликами группового привода.

Статический момент на валу электродвигателя при буксовании листа максимальной массы:

$$M_B = M_X \cdot \frac{h_X}{h_2} + \frac{G_{II} \cdot (0,5 \cdot d_{II} \cdot m + 0,5 \cdot d_P \cdot m_B)}{u \cdot h_3} \cdot g =$$

$$= 3,36 \cdot \frac{0,55}{0,85} + \frac{1465 \cdot (0,5 \cdot 0,11 \cdot 0,01 + 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,25)}{9,8 \cdot 0,85} \cdot 9,8 = 67,7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $\eta_3=0,85$ — к. п. д. редуктора при загрузке на 54%.

Проверочный расчёт электродвигателя на нагрев.

За расчётный режим принимается порезка листа $17000 \times 2700 \times 17$ мм, весом 6 т на мерные длины по 4 метра.

Определим предельно-оправдываемые моменты двигателя при разгоне и торможении.

$$M_{\text{пор}} = \frac{2 \cdot J_{\Sigma}}{d_p} \cdot g \cdot u \cdot m_B + M_C = \frac{2 \cdot 2,06}{0,3} \cdot 9,8 \cdot 9,8 \cdot 0,25 + 10,2 = 339,9 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\text{тот}} = \frac{2 \cdot J_{\Sigma}}{d_p} \cdot g \cdot u \cdot m_B - M_C = \frac{2 \cdot 2,06}{0,3} \cdot 9,8 \cdot 9,8 \cdot 0,25 - 10,2 = 319,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $J_{\Sigma}=2,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ — суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя.

В расчёте принимаем, что линейные ускорение и замедление проката при разгонах и торможениях постоянны и равны $a=1 \text{ м/с}^2$, при этом угловое ускорение (замедление) электродвигателя рольганга составляет величину

$$e = \frac{a \cdot u}{0,5 \cdot D_p} = \frac{1 \cdot 9,8}{0,5 \cdot 0,3} = 65,3 \text{ рад/с}^2.$$

При этом момент двигателя не превысит величины

$$M_{\text{д.макс.}} = J_{\Sigma} \cdot e + M_C = 2,06 \cdot 65,3 + 10,2 = 144,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент, развиваемый двигателем, меньше предельно-оправдываемого момента, и, следовательно, при выбранном ускорении прокат буксовать не будет.

Время разгона и торможения электродвигателя

$$t_p = t_T = \frac{v}{a} = \frac{1}{1} = 1 \text{ с}.$$

При разгоне и торможении прокат проходит расстояние

$$s_p = s_T = \frac{a \cdot t_p^2}{2} = \frac{1 \cdot 1^2}{2} = 0,5 \text{ м.}$$

Динамический момент при пуске (торможении в холостую).

$$M_{\text{дин.пх}} = M_{\text{дин.тх}} = J_x \cdot e = 1,72 \cdot 65,3 = 112,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Динамический момент при пуске (торможении) при транспортировании проката принятой массы 1,465 т, приходящейся на секцию с групповым приводом.

$$M_{\text{дин.п}} = M_{\text{дин.т}} = J_{\Sigma} \cdot e = 2,06 \cdot 65,3 = 134,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Моменты двигателя при разгоне и торможении при транспортировании проката

$$M_{\text{п}} = M_{\text{дин.п}} + M_{\text{с}} = 134,6 + 10,2 = 144,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{т}} = M_{\text{дин.т}} - M_{\text{с}} = 134,6 - 10,2 = 124,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Моменты двигателя при разгоне и торможении при холостом ходе

$$M_{\text{пх}} = M_{\text{дин.пх}} + M_{\text{х}} = 112,1 + 3,4 = 115,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_{\text{тх}} = M_{\text{дин.тх}} - M_{\text{х}} = 112,1 - 3,4 = 108,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

В расчёте принят следующий режим работы электродвигателя:

- 1) разгоняется до скорости $v=1$ м/с в холостую для приёма раската $t_p=1$ с;
- 2) принимаем, что рольганг работает в холостую со скоростью $v=1$ м/с в течение $t_x=1$ с;
- 3) транспортирует раскат до щупа с номинальной скоростью в течение

$$t_4 = \frac{l - l_{\text{щ}}}{v} = \frac{4 - 0,98}{1} = 3,02 \text{ с,}$$

где $l=4$ м — мерная длина;

$l_{\text{щ}}=0,98$ м — расстояние от щупа до щита упора;

- 4) при контакте с щупом автоматически снижается скорость до $v_{\text{ту}}=0,3$ м/с за

$$t_{\text{т1}} = \frac{v - v_{\text{ту}}}{a} = \frac{1 - 0,3}{1} = 0,7 \text{ с,}$$

при этом раскат проходит

$$l_{T1} = \frac{v + v_{TY}}{2} \cdot t_{T1} = \frac{1 + 0,3}{2} \cdot 0,7 = 0,455 \text{ м};$$

5) в дальнейшем раскат транспортируется до упора в течение

$$t_{yn} = \frac{l_{ш} - l_{T1}}{v_{TY}} = \frac{0,98 - 0,455}{0,3} = 1,75 \text{ с};$$

6) принимаем, что после удара об упор прокат буксует в течение $t_B=1$ с;

7) после этого, привод рольганга тормозится за $t_{T2}=0,5$ с;

8) производится, рез после чего начинается разгон до номинальной скорости в течение $t_p=1$ с;

9) Транспортирует отрезанный лист с номинальной скоростью в течение

$$t_6 = \frac{l_{OT} - s_P}{v} = \frac{3 - 0,5}{1} = 2,5 \text{ с},$$

где $l_{OT}=3$ м — принятое расстояние, на которое отрезанный лист должен быть отведён перед началом подачи проката для следующего реза;

10) раскат транспортируется с номинальной скоростью в течение

$$t'_4 = \frac{l - s_P - l_{ш}}{v} = \frac{4 - 0,5 - 0,98}{1} = 2,52 \text{ с};$$

11) при контакте с щупом автоматически снижается скорость до $v_{TY}=0,3$ м/с за

$$t_{T1} = \frac{v - v_{TY}}{a} = \frac{1 - 0,3}{1} = 0,7 \text{ с},$$

12) в дальнейшем раскат транспортируется до упора в течение

$$t_{yn} = \frac{l_{ш} - l_{T1}}{v_{TY}} = \frac{0,98 - 0,455}{0,3} = 1,75 \text{ с};$$

13) принимаем, что после удара об упор прокат буксует в течение $t_B=1$ с;

14) после этого, привод рольганга тормозится за $t_{T2}=0,5$ с;

После того, как раскат затормозится, осуществляется рез, после чего раскат разгоняется для следующего реза. Пункты с 8 по 14 повторяются 4 раза.

15) Производится рез. После того, как отрезана последняя мерная длина рольганг разгоняется в течение $t_p=1$ с;

16) отводит лист с номинальной скоростью в течение

$$t_{oms} = \frac{l_{mp} - s_p}{v} = \frac{6,55 - 0,5}{1} = 6,05 \text{ с},$$

где $l_{mp}=6,55$ — расстояние от линии реза до оси крайнего ролика рольганга;

17) после того, как лист сойдёт с рольганга, рольганг тормозится в холостую $t_T=1$ с.

Длительность цикла $t_{ц}=118$ с.

Суммарное время работы электродвигателя за цикл

$$\begin{aligned} t_{\Sigma} &= t_P + t_X + t_4 + t_{T1} + t_{VII} + t_B + t_{T2} + 4 \cdot t_P + 4 \cdot t_6 + 4 \cdot t'_4 + 4 \cdot t_{T1} + 4 \cdot t_{VII} + 4 \cdot t_B + \\ &+ 4 \cdot t_{T2} + t_P + t_{OTB} + t_T = 1 + 1 + 3,02 + 0,7 + 1,75 + 1 + 0,5 + 4 \cdot 1 + 4 \cdot 2,5 + 4 \cdot 2,52 + \\ &+ 4 \cdot 0,7 + 4 \cdot 1,75 + 4 \cdot 1 + 4 \cdot 0,5 + 1 + 6,05 + 1 = 56,9 \text{ с}. \end{aligned}$$

Относительная продолжительность включения электродвигателя за цикл

$$ПВ\% = \frac{t_{\Sigma}}{t_{ц}} \cdot 100\% = \frac{56,9}{118} \cdot 100\% = 48,2\%.$$

Эквивалентный момент электродвигателя

$$\begin{aligned} M_{\text{э}} &= \left(\frac{M_{IIK}^2 t_P + M_X^2 t_X + M_C^2 (t_4 + 4t_6 + 5t_{VII} + 4t'_4 + t_{OTB}) + 5M_T^2 (t_{T1} + t_{T2}) + 5M_B^2 t_B + 5M_{II}^2 t_P +}{t_{ц}} + \right. \\ &+ \left. \frac{M_{TX}^2 t_T}{t_{ц}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{115,5^2 \cdot 1 + 3,4^2 \cdot 1 + 10,2^2 \cdot (3,02 + 4 \cdot 2,5 + 5 \cdot 1,75 + 4 \cdot 2,52 + 6,05)}{118} + \right. \\ &+ \left. \frac{5 \cdot 124,4^2 \cdot (0,7 + 0,5) + 5 \cdot 67,7^2 \cdot 1 + 5 \cdot 144,8^2 \cdot 1 + 108,7^2 \cdot 1}{118} \right)^{\frac{1}{2}} = 46,0 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Загрузка электродвигателя по нагреву

$$\frac{M_{\text{э}}}{M_H} \cdot 100\% = \frac{46,0}{133} \cdot 100\% = 38,6\%$$

Выбранный электродвигатель АРМ74–10 по нагреву удовлетворяет указанному режиму работы рольганга.

Двигатели роликов с индивидуальными приводами работают в более легком режиме, и поэтому проверка на нагрев и перегрузочную способность не производится.

3 Электропривод механизма качания рольганга

3.1 Механизм качания рольганга предназначен для опускания передней (ближней к ножницам) части рольганга при резке раската на ножницах.

Привод механизма качания рольганга осуществляется от двигателя переменного тока МТКН412–6 (N=30 кВт, n=940 об/мин) через двухступенчатый цилиндрический редуктор передаточным числом $u=24,9$.

Кинематическая схема механизма качания рольганга приведена на листе 49.

График изменения момента на тихоходном валу редуктора за один оборот вала с эксцентриками и циклограмма работы механизма приведены на листе 50.

3.2 Проверочный расчёт на перегрузочную способность электродвигателя по моменту и на нагрев для наиболее тяжёлого режима работы механизма качания.

Расчёт на нагрев двигателя проводился с учётом работы ножниц с циклом 6 резов в минуту.

Статический момент на валу электродвигателя при холостом ходе:

$$M_x = \frac{G_p \cdot g \cdot (0,5 \cdot d_{ц} \cdot m - e \cdot \sin(\varphi))}{u \cdot h} = \frac{23370 \cdot 9,8 \cdot (0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,01 - 0,029 \cdot \sin(\varphi))}{24,9 \cdot 0,9} =$$
$$= 15,3 - 296,3 \cdot \sin(\varphi) \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $G_p=23370$ кг — масса рольганга, принятая эксцентриковым валом и самого эксцентрикового вала с бандажом;
 $g=9,8$ м/с² — ускорение свободного падения;
 $d_{ц}=0,3$ м — средний диаметр подшипника качения;
 $\mu =0,01$ — приведённый коэффициент трения в подшипниках;
 $e=0,029$ м — эксцентриситет эксцентрикового вала
 $u=24,9$ — передаточное число редуктора;
 $\eta =0,9$ — к.п.д. редуктора;
 φ — угол поворота эксцентрикового вала.

Кинематическая схема механизма качания роляганга качающегося

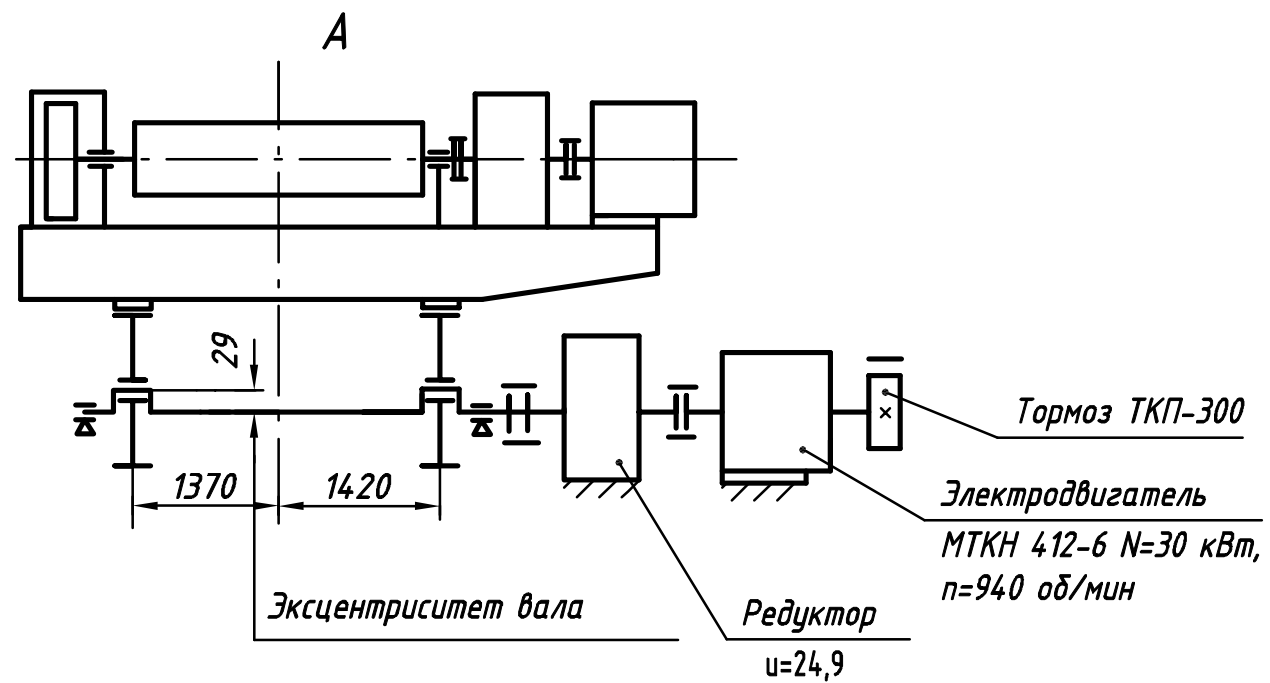
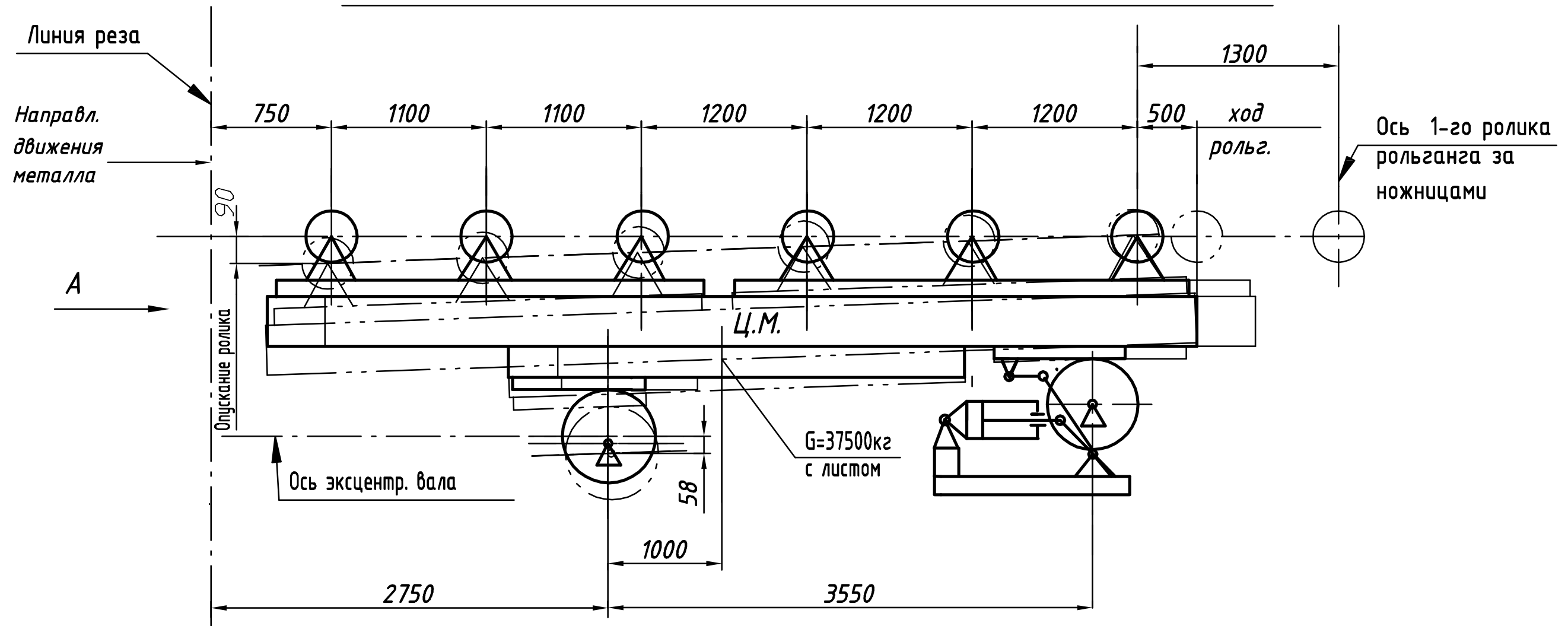
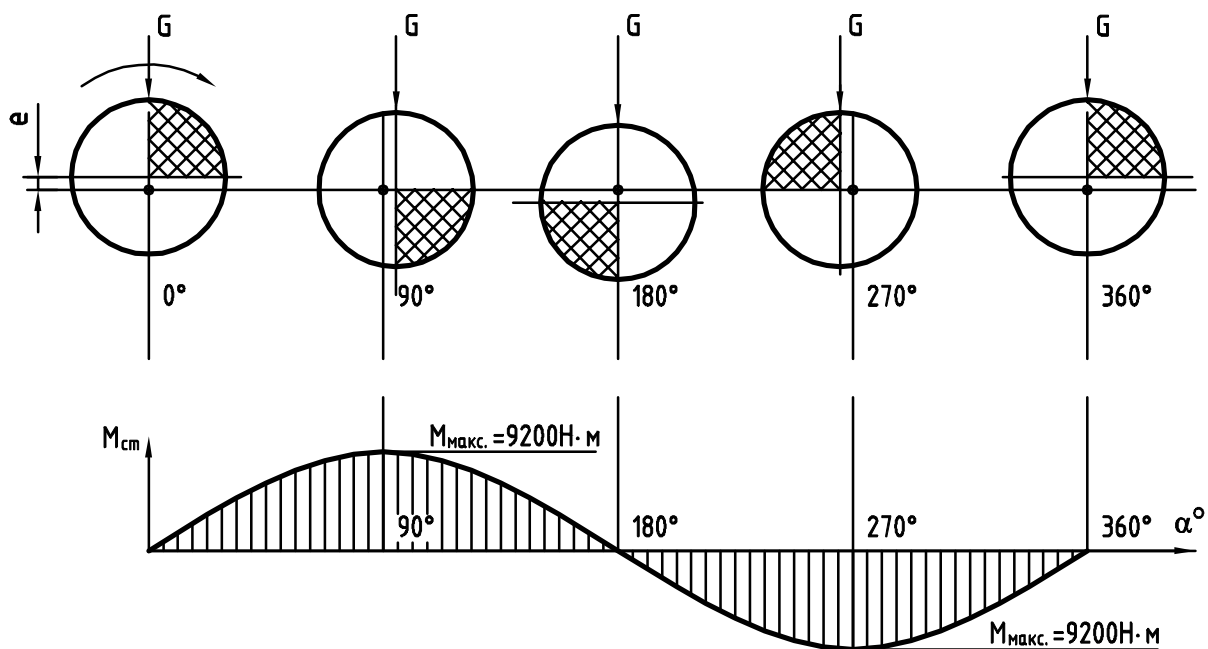
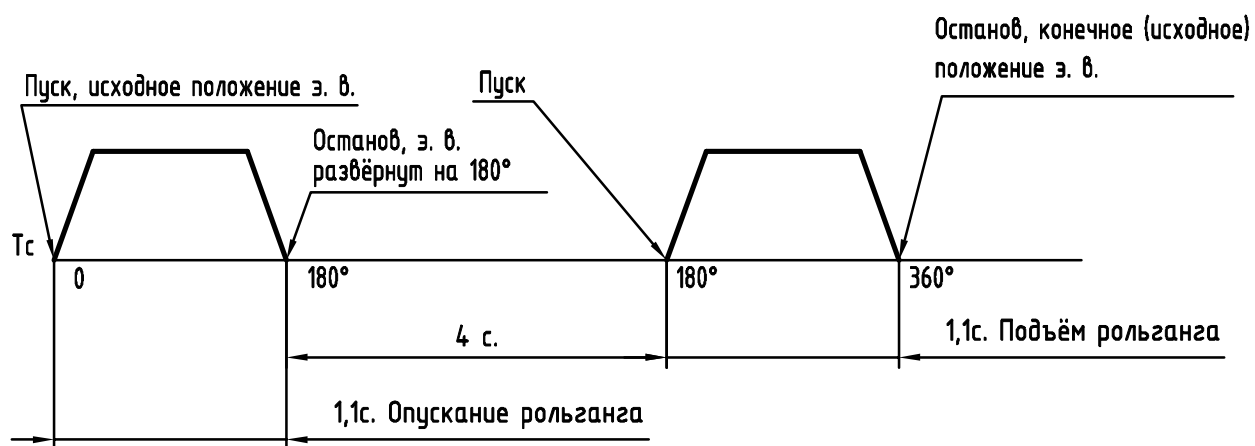


График изменения момента на тихоходном валу редуктора за один оборот вала с эксцентриками



Циклограмма работы механизма качания рольганга



Статический момент на валу электродвигателя с прокатом максимального веса

$$M_C = \frac{(G_P + G_{II}) \cdot g \cdot 0,5 \cdot d_u \cdot m - M_{CT.MAX} \cdot \sin \varphi}{u \cdot h} = \frac{28140 \cdot 9,8 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,01 - 9200 \cdot \sin \varphi}{24,9 \cdot 0,9} =$$

$$= 18,5 - 410,5 \cdot \sin(\varphi) \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $G_P + G_{II} = 28140 \text{ кг}$ — сумма принятой массы проката максимального веса на рольганге, принятой массы рольганга, а также массы эксцентрикового вала с бандажом;

$M_{CT.MAX} = 9200 \text{ Н} \cdot \text{м}$ — максимальный статический момент на тихоходном валу редуктора.

Максимальный статический момент на валу электродвигателя:

$$M_{C \max} = 18,5 + 410,5 = 429,0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Загрузка двигателя статическим моментом

$$\frac{M_{C \max}}{M_H} = \frac{429,0}{304,8} = 1,41 < I = 3,7,$$

где $\lambda = 3,7$ — максимальная перегрузка двигателя по моменту.

Проверка двигателя привода качания рольганга производится для режима работы ножниц при обеспечении 6 резов в минуту ($t_{II} = 10 \text{ с}$).

При времени разгона (торможения) $t_P = t_T = 0,3 \text{ с}$ динамический момент:

$$M_{дин} = J \cdot e = 1,13 \cdot 328,1 = 370,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $e = \frac{n}{9,55 \cdot t_P} = \frac{940}{9,55 \cdot 0,3} = 328,1$ — ускорение (замедление) привода;

$J = 1,13 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ — максимальный суммарный момент инерции на валу двигателя.

Угол поворота эксцентрика при разгоне (торможении)

$$\varphi_P = \varphi_T = \frac{3 \cdot n \cdot t_P}{u} = \frac{3 \cdot 940 \cdot 0,3}{24,9} = 34^\circ$$

Время установившегося движения

$$t_y = \frac{180^\circ - \varphi_P - \varphi_T}{6 \cdot n} \cdot u = \frac{180^\circ - 34^\circ - 34^\circ}{6 \cdot 940} \cdot 24,9 = 0,495 \text{ с}$$

Общее время движения

$$t = t_P + t_y + t_T = 0,3 + 0,495 + 0,3 = 1,095 \text{ с}.$$

Продолжительность включения при шести резах в минуту

$$ПВ_1 = \frac{2t}{t_{ц1}} = \frac{2 \cdot 1,095}{10} = 21,9\%.$$

При длительности цикла $t_{ц2}=12,5$ с

$$ПВ_2 = \frac{t}{t_{ц2}} = \frac{1,095}{12,5} = 17,52\%.$$

Эквивалентный момент при шести резах в минуту

$$M_{э1} = \sqrt{\frac{A}{t_{ц1} \cdot ПВ}} = \sqrt{\frac{2,98 \cdot 10^5}{10 \cdot 0,4}} = 272,9 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где

$$A = \int M^2 dt = 2,98 \cdot 10^5 \text{ Н}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}.$$

Расчёт интеграла квадрата момента двигателя по времени А был выполнен по системе уравнений динамики

$$\left\{ \begin{array}{l} M_H = 0,06 \cdot \int_0^t (w_3 - w) dt \\ \frac{dM}{dt} = 1379 \cdot (w_0 - w) + 68960 \cdot M_H - 50 \cdot M \\ \frac{dw}{dt} = \frac{1}{J(\varphi)} \left(M - M_c(\varphi) - 0,02 \cdot \frac{dJ(\varphi)}{d\varphi} \cdot w^2 \right) \\ \frac{d\varphi}{dt} = 0,04 \cdot w \\ A = \int_0^t M^2 dt \end{array} \right.$$

Загрузка электродвигателя составит

$$\frac{M_{э1}}{M_H} \cdot 100\% = \frac{272,9}{304,8} \cdot 100\% = 89,6\%$$

Эквивалентный момент при цикле 12,5 с

$$M_{э2} = \sqrt{\frac{A}{t_{ц2} \cdot ПВ}} = \sqrt{\frac{2,98 \cdot 10^5}{12,5 \cdot 0,4}} = 244,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Загрузка электродвигателя

$$\frac{M_{\text{э2}}}{M_H} \cdot 100\% = \frac{244,1}{304,8} \cdot 100\% = 80,1\% .$$

Выбранный двигатель удовлетворяет заданным режимам работы.

Исходные данные:

Номинальный момент двигателя $M_N = 304.765$

Передаточное число редуктора $u = 24.9$

Момент инерции качающегося рольганга с листом, приведённый к кривошипному валу

$$J_{\text{рольга}}(j) := \frac{417 \cdot \sin(j)^2}{12.603 - 8.41 \cdot 10^{-4} \cdot \cos(j)^2}$$

Момент инерции вращающейся части рольганга

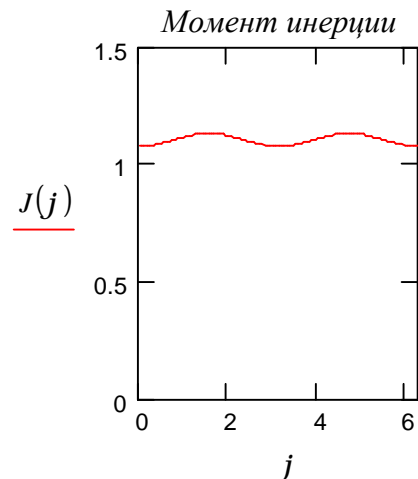
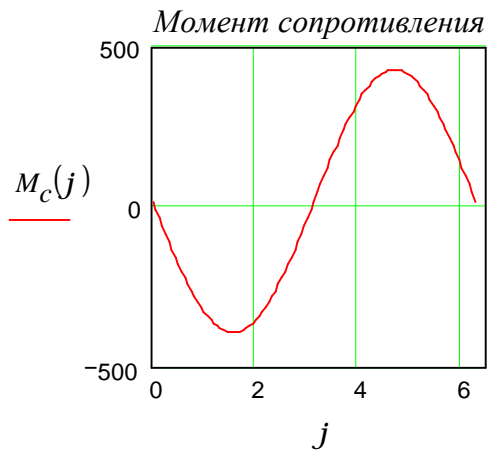
$$J(j) := \frac{J_{\text{рольга}}(j)}{620.01} + 1.077$$

Производная момента инерции по углу поворота эксцентрикового вала

$$dJ(j) := \frac{d}{dj} J(j)$$

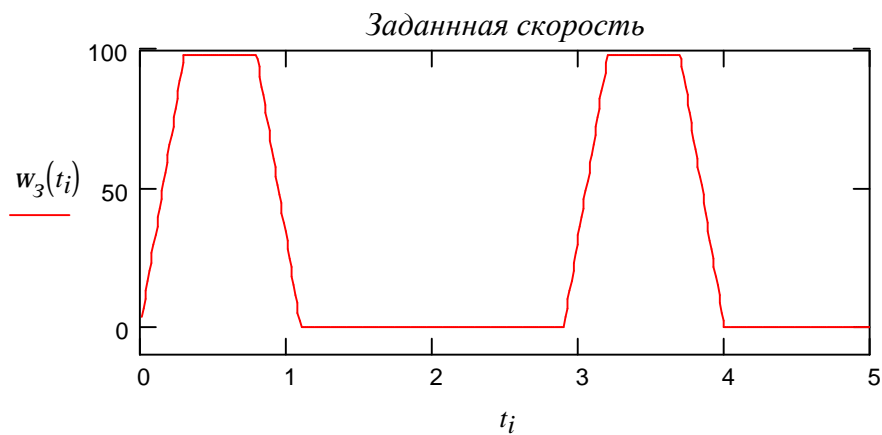
Момент сопротивления

$$M_c(\varphi) := 18.46 - 410.53 \cdot \sin(\varphi)$$



$$\omega_1(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } (t \geq 1.095) + (t \leq 0) \\ \omega_N \cdot \left(\frac{t}{0.3}\right) & \text{if } (t \leq 0.3) \cdot (t \geq 0) \\ \omega_N \cdot \left(\frac{1.095 - t}{0.3}\right) & \text{if } (t \geq 0.795) \cdot (t < 1.095) \\ \omega_N & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$w_3(t) := \text{if}(t < 2.9, \omega_1(t), \omega_1(t - 2.9))$$



Начальные условия

$$y \equiv \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Система уравнений

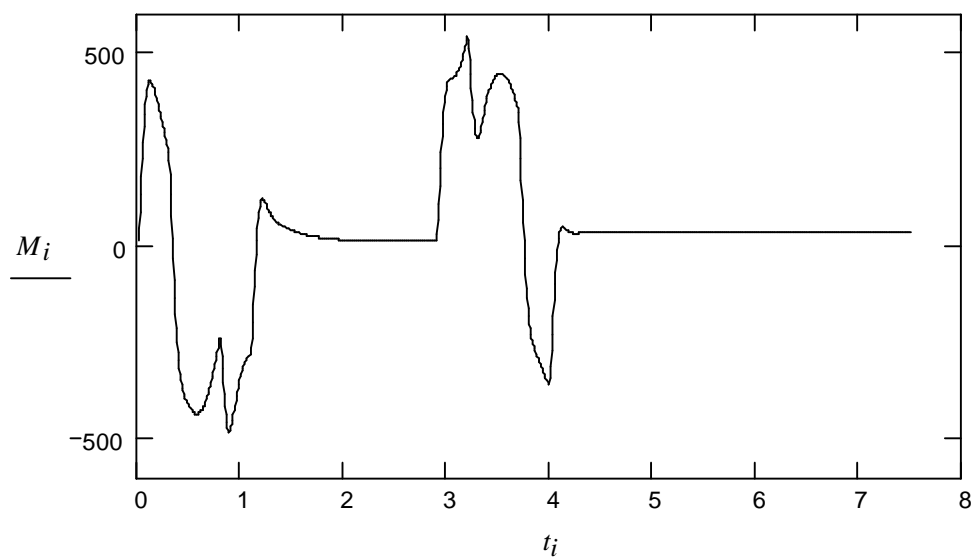
$$D(t, y) := \begin{bmatrix} 0.06 \cdot (w_3(t) - y_2) \\ 1379 \cdot (w_3(t) - y_2) + 68960 \cdot y_0 - 50 \cdot y_1 \\ \frac{1}{J(y_3)} \cdot \left[y_1 - M_c(y_3) - 0.02 \cdot dJ(y_3) \cdot \frac{(y_2)^2}{2} \right] \\ 0.04 \cdot y_2 \\ (y_1)^2 \end{bmatrix}$$

$$Z := \text{rkfixed}(y, 0, 7.5, 1000, D)$$

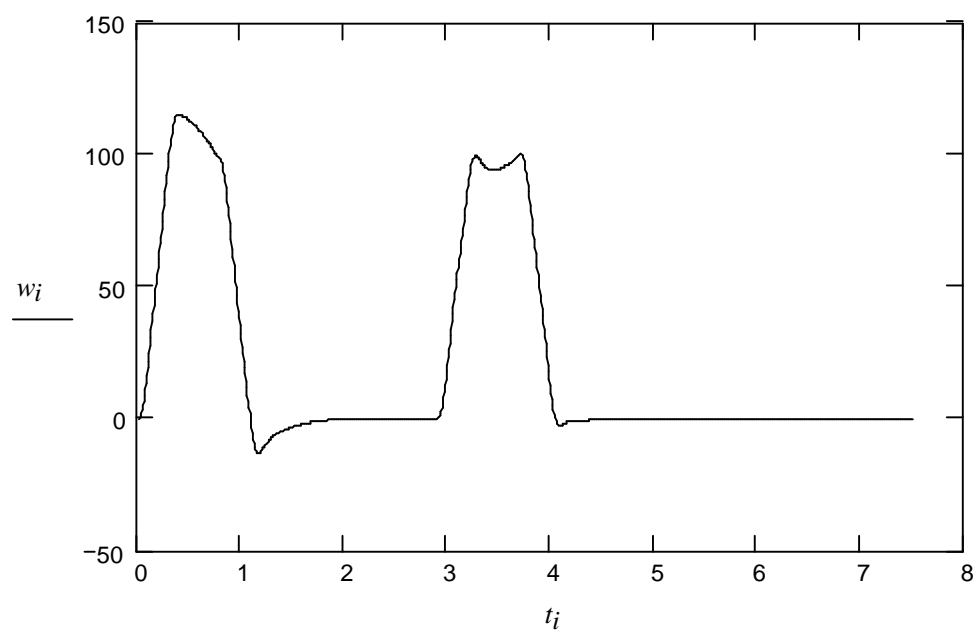
$$t := Z^{(0)} \quad M := Z^{(2)} \quad w := Z^{(3)} \quad f := Z^{(4)} \quad A := Z^{(5)}$$

Результаты расчёта:

1. Момент двигателя



2. Скорость вращения двигателя



$$3. \quad A = \int_0^t M^2 dt \quad \max(A) = 2.98 \times 10^5$$

7 РОЛЬГАНГ ЗА НОЖНИЦАМИ

1 Рольганг за ножницами (существующий) предназначен для отвода отрезанных листов от ножниц поперечной резки и состоит из двадцати трех роликов с индивидуальным приводом каждого ролика от электродвигателя типа АР 73-10УЗ, 5 кВт, 530 об/мин, 380 В через редуктор с передаточным числом $u=8,9$.

Кинематическая схема рольганга за ножницами приведена на листе 58.

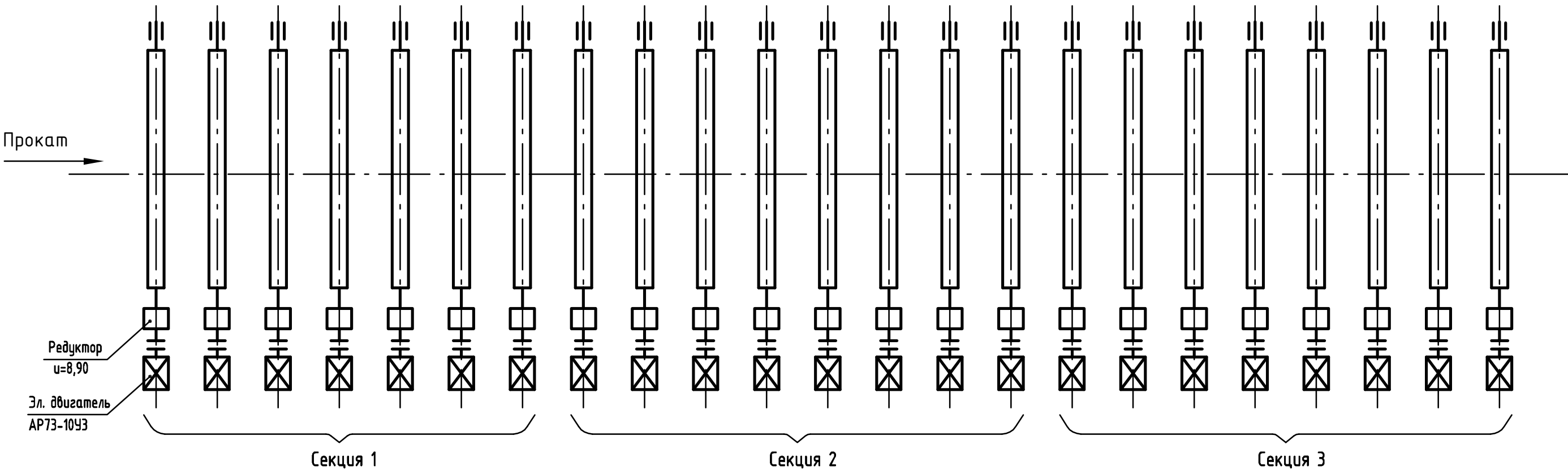
Техническая характеристика рольганга за ножницами:

– Количество роликов,	шт.	23
– Шаг роликов,	мм	1200
– Диаметр бочки ролика,	мм	300
– Длина бочки ролика,	мм	2800
– Передаточное число редуктора		8,9
– Номинальная скорость рольганга,	м/с	1,0
– Масса ролика,	кг	1645

Моменты инерции, приведённые к валу электродвигателя существующих роликов

$J_{\text{ротора}}$	$=0,8$	кг·м ²	
$J_{\text{Муфты быстроходной}}$	$=0,12$	кг·м ²	
$J_{\text{редуктора}}$	$=0,05$	кг·м ²	
$J_{\text{Муфты тихоходной}}$	$=0,006$	кг·м ²	
$J_{\text{ролика}}$	$=0,227$	кг·м ²	
$J_{\text{проката}}$	$=0,744$	кг·м ²	
Суммарный:	$J_{\Sigma x}=1,204$ кг·м ²		— при холостом ходе
	$J_{\Sigma}=1,948$ кг·м ²		— с прокатом

Кинематическая схема рольганга за ножницами



Двигатели и механические данные рольганга за ножницами аналогичны двигателям и данным первой секции рольганга перед ножницами. В расчёте рольганга перед ножницами принималось, что все три секции управляются одинаково. Рольганг за ножницами работает в более легком режиме (см. графики порезки раскатов на мерные длины 729.20.000Д8), т. к. он имеет меньшее число включений (только для отвода отрезанных листов). Поэтому, проверка на нагрев и на перегрузочную способность двигателей рольганга за ножницами не производится.

8 УПОР ПЕРЕДВИЖНОЙ

1 Упор передвижной предназначен для остановки раската на рольганге с целью порезки его ножницами на листы заданной длины и точности, а также свободного пропуска отрезанного листа или раската по рольгангу. Кинематическая приведена на листе 61.

Привод перемещения тележки осуществляется от двигателя ДМКТН111–6 (N=3 кВт, 910 об/мин) через редуктор с передаточным отношением $u=40$.

Техническая характеристика

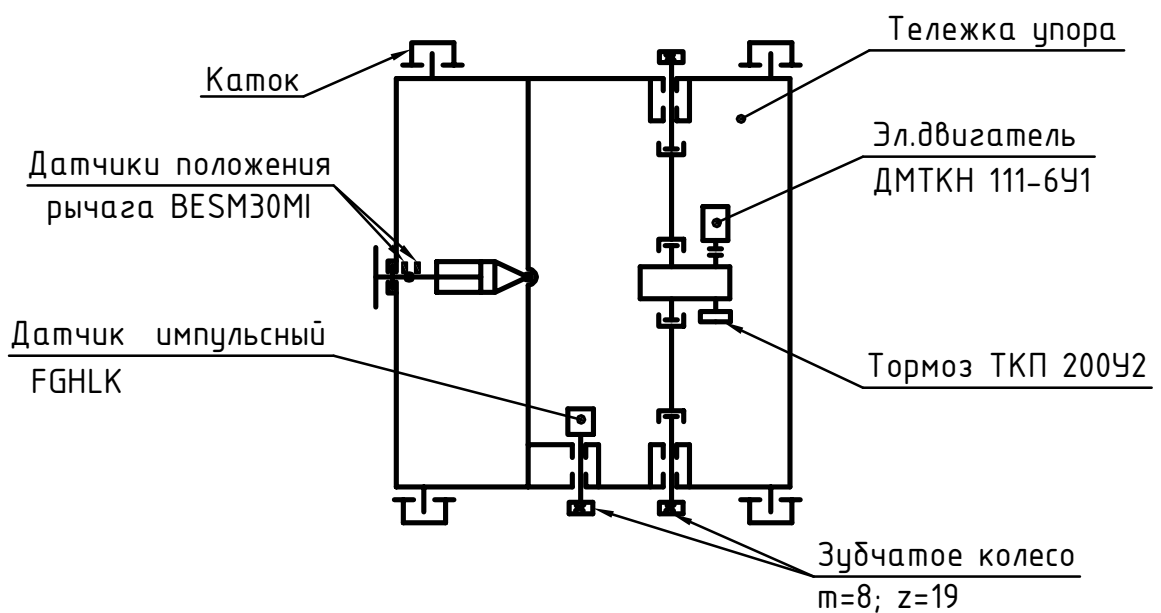
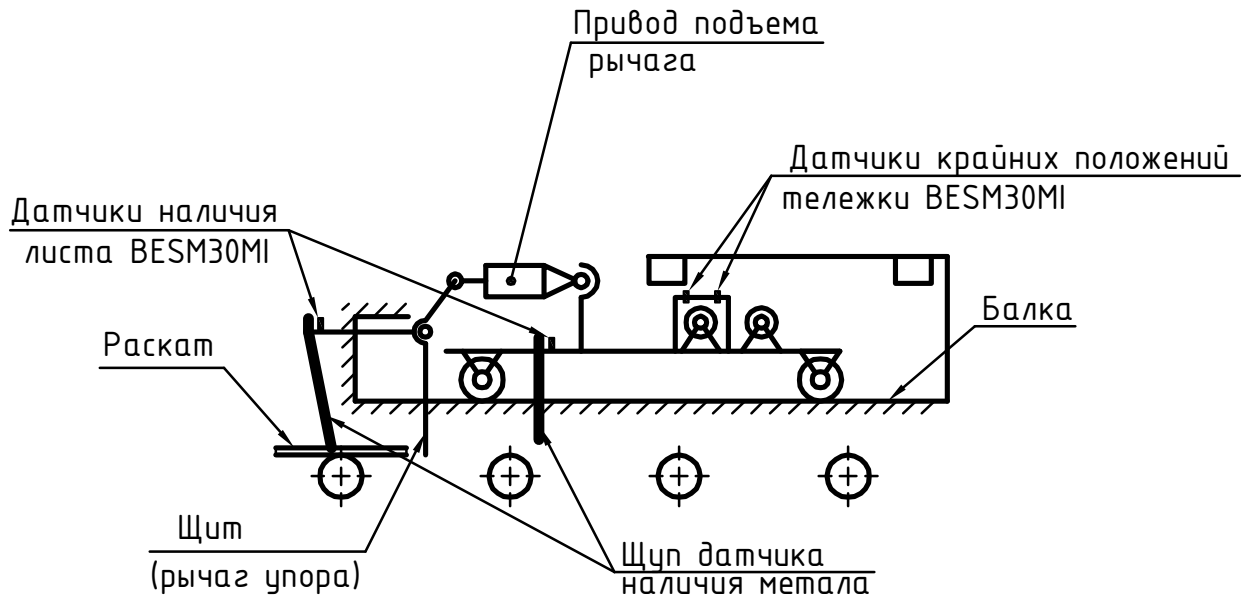
– скорость движения раската при подходе к упору, наибольшая, м/с	0,6
– скорость движения раската по рольгангу, м/с	0,3...1,0
– ход привода перемещения упора, наибольший, мм	9300
– скорость перемещения, наибольшая, мм/с	190
– количество реек, шт.	2
– модуль реечного зацепления, мм	8
– усилие на рейках суммарное, наибольшее, кН	32
Статический момент на тихоходном валу редуктора, наибольший	
– при остановке листа упором, Н·м	2390
– при перемещении тележки упора приводом, Н·м	440
Момент инерции механизма на тихоходном валу редуктора, кг·м ²	90
в том числе момент инерции тележки, кг·м ²	35

2 Проверочный расчёт электродвигателя.

Ввиду отсутствия частых пусков и торможений проверочный расчёт производится только на перегрузочную способность по моменту.

$$M_c = \frac{G_T \cdot (0,5 \cdot d_{ц} \cdot m + f) \cdot g \cdot c}{u \cdot h_1 \cdot h_{рп}} =$$
$$= \frac{6000 \cdot (0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,01 + 0,001) \cdot 9,8 \cdot 1,25}{40 \cdot 0,55 \cdot 0,85} = 5,90 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Кинематическая схема упора передвижного



где	$G_T = 6000$ кг	– масса тележки;
	$d_{ц} = 0,1$ м	– диаметр цапфы катка;
	$\mu = 0,01$	– коэффициент трения в подшипниках;
	$u = 40$	– передаточное число редуктора;
	$\eta_1 = 0,55$	– к. п. д. редуктора при загрузке на 10%.
	$f = 0,001$ м	– коэффициент трения качения катка по рельсам;
	$\eta_{рп} = 0,85$	– к. п. д. реечной передачи;
	$g = 9,8$ м/с ²	– ускорение свободного падения;
	$c = 1,25$	– коэффициент, учитывающий трение в ребордах.

Загрузка по моменту составляет

$$\frac{M_c}{M_H} = \frac{5,9}{31,5} = 0,187 < I = 3,1,$$

где $M_H = \frac{N}{\omega_N} = \frac{3000}{95,3} = 31,5$ Н·м, — номинальный момент двигателя.

$\omega_N = 95,3$ рад/с	— номинальная скорость двигателя;
$N = 3000$ Вт	— мощность двигателя;
$\lambda = 3,1$	— перегрузочная способность двигателя по моменту.

Выбранный двигатель удовлетворяет заданным условиям работы.

9 УСТРОЙСТВО ДЛЯ УБОРКИ ОБРЕЗИ

1 Устройство для уборки обрезки состоит из трех механизмов:

- транспортера обрезки;
- сталкивателя обрезки;
- сталкивателя планок.

2 Транспортёр обрезки.

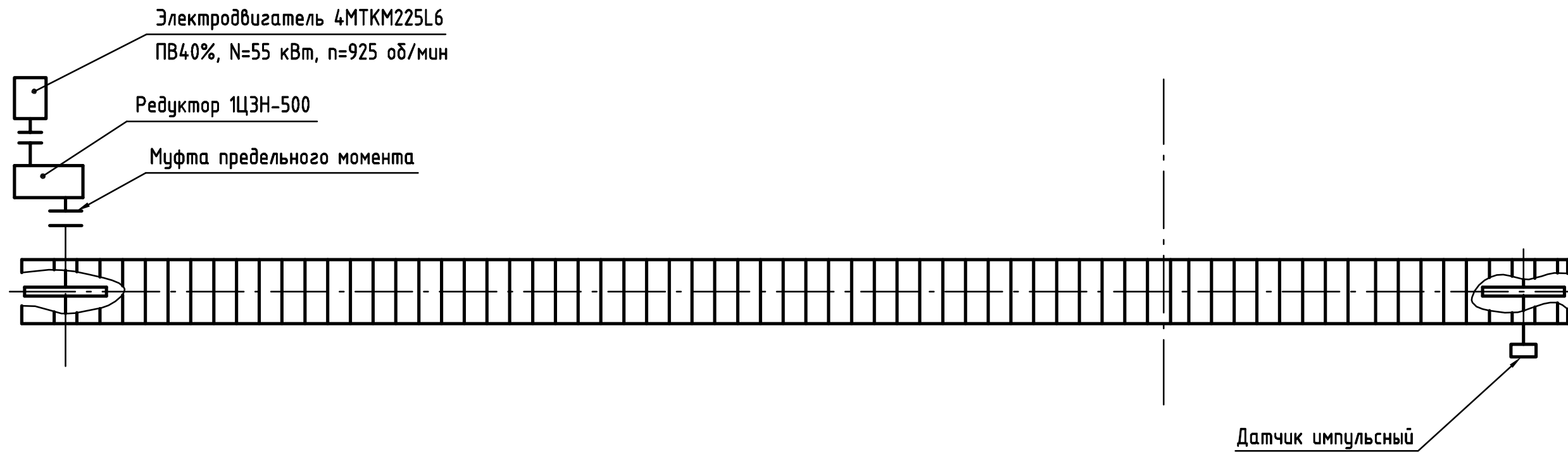
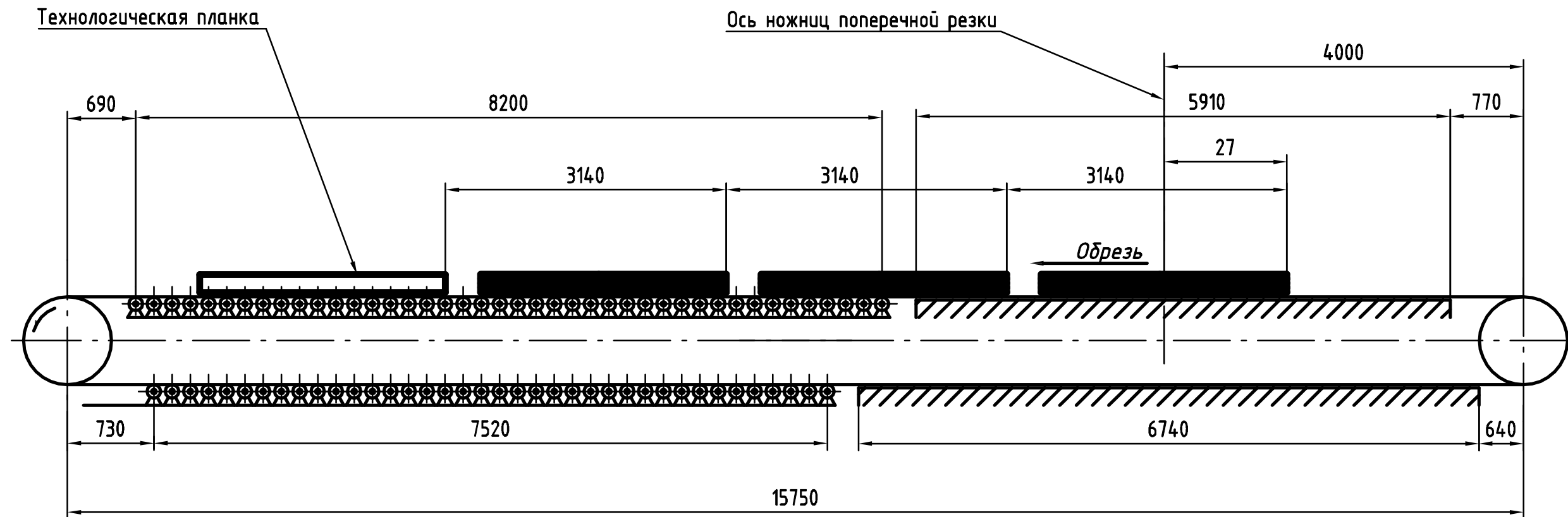
2.1 Транспортёр обрезки предназначен для перемещения обрезки и технологических планок от ножниц поперечной резки в зону сбрасывания: обрезки в специальный короб, а технологических планок – в карман. Кинематическая схема транспортёра обрезки приведена на листе 64. Привод транспортёра осуществляется от двигателя 4МТКМ225L6 (N=55 кВт при ПВ=40%, n=925 об/мин) через редуктор 1ЦЗН–500 с передаточным числом $u=63$.

Транспортер работает в шаговом режиме. Обрезь на выключенном транспортере набирается пакетами по 1... 5 штук, затем происходит включение и перемещение цепи транспортера на один шаг подачи равным 3140мм. Далее цикл работы транспортера повторяется.

Техническая характеристика транспортера обрезки:

- Шаг цепи,	мм	250
- Скорость транспортера,	м/с	0,7
- Масса 1 м цепи,	кг	400
- Делительный диаметр звездочки,	мм	965,92
- Диаметр опорных роликов,	мм	150

Кинематическая схема транспортера обреза



- Шаг опорных роликов,			
верхней ветви	мм	195	
нижней ветви	мм	200	
- Диаметр цапфы опорного ролика,	мм	50	
- Масса опорного ролика,	кг	12	
- Масса технологич. планки, макс,	кг	480	
- Шаг подачи транспортера,	мм	3140	
- Передаточное число редуктора		63	

Транспортируемая обрезь:

- масса одного пакета максимальная,	кг	1000	
- длина одного пакета максимальная,	мм	2700	
- количество одновременно транспортируемых пакетов,	шт.	3	
Ширина обрезки, максимальная	мм	500	
Температура обрезки, максимальная	°С	500	

Моменты инерции, приведённые к валу двигателя:

Момент инерции ротора двигателя	кг·м ²	1,02	
- Момент инерции муфты, соединяющей редуктор с двигателем,	кг·м ²	0,25	
- Момент инерции редуктора,	кг·м ²	0,204	
- Момент инерции муфты, соединяющей редуктор с цепью,	кг·м ²	0,002	
- Момент инерции приводной звездочки,	кг·м ²	0,048	
- Момент инерции холостой звездочки,	кг·м ²	0,047	

- Суммарный момент инерции опорных роликов транспортёра	кг·м ²	0,042
- Момент инерции цепи транспортёра	кг·м ²	0,812
- Суммарный момент инерции трех пакетов обреза,	кг·м ²	0,176
Суммарный момент инерции механизма без обреза,	кг·м ²	2,424
Суммарный момент инерции механизма с обрезью,	кг·м ²	2,601

2. 2 Проверка электродвигателя 4МТКМ225L6 по моменту.

Сопротивление на нижней порожней ветви транспортёра

$$F_n = (q_{ц} + q_{рн}) \cdot l_{крн} \cdot w' \cdot g + q_{ц} \cdot l_{трн} \cdot \mu_n \cdot g =$$

$$= (400 + 120) \cdot 7.52 \cdot 0.018 \cdot 9.8 + 400 \cdot 6.74 \cdot 0.18 \cdot 9.8 = 5445.5 \text{ Н}$$

где $q_{рн} = \frac{2 \cdot G_p}{l_{шрн}} =$

- масса 1-го погонного метра роликов нижней ветви;

$$= \frac{2 \cdot 12}{0.2} = 120 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$$

$$G_p = 12 \text{ кг}$$

- масса ролика;

$$l_{шрн} = 0.2 \text{ м}$$

- шаг роликов нижней ветви;

$$l_{крн} = 7.52 \text{ м}$$

-расстояние между крайними роликами в иижней ветви;

$$w' = K \cdot \frac{0.5 \cdot \mu \cdot d_{цр} + f}{d_p} =$$

-коэффициент сопротивления прямолинейного участка ветви;

$$= 1.2 \cdot \frac{0.5 \cdot 0.01 \cdot 0.05 + 0.002}{0.15} = 0.018$$

$$K = 1.2$$

-коэффициент, учитывающий трение в реборах колёс и торцах ступиц;

$\mu = 0.01$	-коэффициент трения в подшипниках качения;
$d_{up} = 0.05 \text{ м}$	-диаметр цапф опорных роликов;
$f = 0.002 \text{ м}$	-коэффициент трения качения ролика по направляющим;
$d_p = 0.15 \text{ м}$	-диаметр опорных роликов;
$g = 9.8 \frac{H}{кг}$	- ускорение свободного падения
$q_{ц} = 400 \frac{кг}{м}$	- масса 1-го погонного метра цепи;
$l_{трн} = 6.74 \text{ м}$	-протяжённость участка трения в нижней ветви цепи;
$\mu_H = 0.18$	-коэффициент трения скольжения цепи по чугунным планкам в нижней ветви цепи.

Сопротивление на верхней грузёной ветви цепи транспортёра.

$$\begin{aligned}
 F_{зр} &= (q_{ц} + q_{рв} + q_0) \cdot l_{крв} \cdot w' \cdot g + (q_{ц} + q_0) \cdot l_{трв} \cdot \mu_B \cdot g + \\
 &\quad + (q_{ц} + q_{рв} + q_0) \cdot L_I \cdot \mu_1 \cdot g + n_0 \cdot G_0 \cdot \mu_2 \cdot g = \\
 &= (400 + 123.077 + 318.471) \cdot 8.2 \cdot 0.018 \cdot 9.8 + (400 + 318.471) \times \\
 &\quad \times 5.91 \cdot 0.1 \cdot 9.8 + (400 + 123.077 + 318.471) \cdot 6 \cdot 0.45 \cdot 9.8 + 3 \cdot 1000 \cdot 0.3 \cdot 9.8 = \\
 &= 36466 \text{ Н}
 \end{aligned}$$

где $q_{рв} = \frac{2 \cdot G_p}{l_{шрв}}$ - масса 1-го погонного метра роликов нижней ветви;

$$= \frac{2 \cdot 12}{l_{шрв}} = 123.077 \frac{кг}{м}$$

$G_p = 12$	кг	- масса ролика;
$l_{шрв} = 0.195$	м	- шаг роликов в;
$q_o = \frac{G_o}{l_{шо}}$		-масса обрезки, приходящаяся на 1 м;
$= \frac{1000}{3.14} = 318.471$	$\frac{кг}{м}$	
$G_o = 1000$	кг	- маса пакета обрезки;
$l_{шо} = 3.14$	м	- шаг обрезки;
$l_{крв} = 8.2$	м	-расстояние между крайними роликами в верхней ветви;
$l_{трв} = 5.91$	м	-протяжённость участка трения в верхней ветви цепи;
$\mu_B = 0.1$		-коэффициент трения скольжения цепи по металлическим планкам со смазкой в врхней ветви цепи;
$L_1 = 6$	м	- принятое расстояние, на котором произошло заклинивание роликов;
$\mu_1 = 0.45$		- коэффициент трения скольжения обрезки при заклиненных роликах;
$n_o = 3$		-количество одновременно транспортируемых пакетов;
$\mu_2 = 0.3$		- коэффициент трения скольжения обрезки о борт.

Натяжение в набегающей ветви на холостую звёздочку

$$S'_{нб} = S_{сб} + F_n = 3000 + 5445.5 = 8445.5 \text{ Н.}$$

где $S_{сб} = 3000$ Н - натяжение в сбегающей с приводной звёздочки ветви.

Натяжение в сбегающей с холостой звёздочки ветви

$$S'_{c\bar{b}} = 1.1 \cdot S'_{н\bar{b}} = 1.1 \cdot 8445.5 = 9290.1 \text{ Н,}$$

где 1,1 - коэффициент, учитывающий потери в холостой звёздочке.

Натяжение в набегающей на приводную звёздочку ветви

$$S_{н\bar{b}} = S'_{c\bar{b}} + F_{зр} = 9290.1 + 36466 = 45756.1 \text{ Н}$$

Сопротивление на холостой звёздочке

$$F_{хз} = 2.1 \cdot S'_{н\bar{b}} \cdot k = 2.1 \cdot 8445.5 \cdot 0.0352 = 624.3 \text{ Н}$$

где $k = \frac{\delta \cdot \mu'}{d_{зв}} =$ -коэффициент, учитывающий жёсткость тягового органа (приведённый коэффициент трения скольжения);

$$= \frac{0.085 \cdot 0.4}{0.966} = 0.0352$$

$\delta = 0.085 \text{ м}$ -диаметр шарнира цепи;

$\mu' = 0.4$ - коэффициент трения скольжения в шарнире цепи;

$d_{зв} = 0.966 \text{ м}$ -делительный диаметр звёздочки.

Сопротивление на приводной звёздочке

$$F_{пр} = k \cdot (S_{н\bar{b}} + S_{c\bar{b}}) = 0.0352 \cdot (45760.1 + 3000) = 1716.4 \text{ Н}$$

Общее усилие на приводной звёздочке

$$F_{общ} = S_{н\bar{b}} - S_{c\bar{b}} + F_{пр} = 45760.1 - 3000 + 1716.4 = 4.448 \times 10^4 \text{ Н}$$

Сила давления в подшипнике приводной звёздочки

$$N_{зв} = \sqrt{(S_{н\bar{b}} + S_{c\bar{b}})^2 + (m_{зв} \cdot g)^2} =$$

$$= \sqrt{(45760.1 + 3000)^2 + (1700 \cdot 9.8)^2} = 5.153 \times 10^4 \text{ Н}$$

где $m_{зв} = 1700 \text{ кг}$ - масса звёздочки.

Момент сил трения в цапфах приводной звёздочки

$$M_{тр.зв} = \mu \cdot 0.5 \cdot d_{зв} \cdot N_{зв} = 0.01 \cdot 0.5 \cdot 0.966 \cdot 5.153 \times 10^4 = 248.89 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Статический момент, приведённый к валу двигателя при перемещении обреза

$$M_c = \frac{K_2 \cdot K_3}{u \cdot h_P \cdot h_{\psi}} \cdot (F_{общ} \cdot 0.5 \cdot d_{зв} + M_{тр.зв}) =$$

$$= \frac{1.1 \cdot 1.2}{63 \cdot 0.9 \cdot 0.96} \cdot (4.448 \times 10^4 \cdot 0.5 \cdot 0.966 + 248.89) = 527 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

где $h_P = 0.9$ - КПД редуктора;

$h_{\psi} = 0.96$ - КПД цепной передачи;

$K_2 = 1.1$ - коэффициент, учитывающий неучтённые сопротивления;

$K_3 = 1.2$ - коэффициент, учитывающий возможный перекос цепи;

$u = 63$ - передаточное число редуктора.

Загрузка двигателя 4МТКМ225L6 по моменту составляет

$$\frac{M_c}{M_N} = \frac{527}{566.3} = 0.931 < \lambda = 3.87$$

где $M_N = \frac{N}{0.105 \cdot n_N} =$ - номинальный момент двигателя;

$$= \frac{55 \cdot 10^3}{0.105 \cdot 925} = 566.3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$n_N = 925 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ - частота вращения вала двигателя;

$N = 5.5 \times 10^4 \text{ Вт}$ - номинальная мощность двигателя при ПВ=40%;

$\lambda = 3.87$ - перегрузочная способность двигателя по моменту при ПВ=40%.

2. 3 Проверка электродвигателя 4МТКМ225L6 по нагреву.

Для расчёта на нагрев принимаем цикл работы транспортёра $t_{\text{ц}} = 61 \text{ с}$ при порезке листов $7 \times 2700 \times 13500$ на мерные длины по 12500 мм

Принимаем, что ускорение и замедление электродвигателя происходит за время

$$t_p = t_m = 2 \text{ с}$$

Время установившегося движения

$$t_y = \frac{1}{v} \cdot \left(l_{\text{ш}} - \frac{v}{2} \cdot t_p - \frac{v}{2} \cdot t_m \right) = \frac{1}{0.7} \cdot \left(3.14 - \frac{0.7}{2} \cdot 2 - \frac{0.7}{2} \cdot 2 \right) = 2.486 \text{ с}$$

где $l_{\text{ш}} = 3.14 \text{ м}$ - шаг обреза.

При этом линейное ускорение и замедление рольганга составит

$$a_p = a_m = \frac{v}{t_p} = \frac{0.7}{2} = 0.35 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

где $v = 0.7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость транспортирования обреза.

Определим максимально допустимое ускорение из условия отсутствия буксовки

$$a_{\text{макс}} = g \cdot m_{\text{тр}} = 9.8 \cdot 0.1 = 0.98 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$$

где $m_{mp} = 0.1$ - минимально возможный коэффициент трения;

$g = 9.8 \frac{H}{кг}$ - ускорение свободного падения.

$$a_p = 0.35 < a_{макс} = 0.98 \frac{рад}{с^2}$$

Следовательно, при выбранном ускорении обреза не будет буксовать по транспортёру.

Угловое ускорение и замедление двигателя

$$\varepsilon = \frac{a_p \cdot u}{0.5 \cdot d_{зв}} = \frac{0.35 \cdot 63}{0.5 \cdot 0.96592} = 45.656 \frac{рад}{с^2}$$

Динамический момент при пуске (торможении) при транспортировании обреза

$$M_{дин.п} = M_{дин.т} = \varepsilon \cdot J_S = 2.601 \cdot 45.656 = 118.8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

где $J_S = 2.601 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ - момент инерции транспортёра с обрезаю, приведённый к валу двигателя.

Моменты двигателя при разгоне и торможении во время транспортирования обреза

$$M_n = M_{дин.п} + M_c = 118.8 + 527 = 645.8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_t = M_{дин.т} - M_c = 118.8 - 527 = -408.2 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Загрузка двигателя по моменту при пуске составляет

$$\frac{M_n}{M_N} = \frac{645.8}{567.8} = 1.137 < \lambda = 3.875$$

Электродвигатель имеет достаточный запас по моменту для обеспечения заданного ускорения транспортёра.

При проверке на нагрев принимаем, что за цикл :

1. Двигатель разгоняется с нагрузкой до номинальной скорости за $t_p = 2$ с.
2. Работает с нагрузкой на номинальной скорости в течение $t_y = 2.486$ с.
3. Тормозит с нагрузкой за $t_m = 2$ с.

Общее время работы транспортера

$$t_S = t_p + t_y + t_m = 2 + 2.486 + 2 = 6.486 \text{ с}$$

Продолжительность включения

$$ПВ\% = \frac{t_S}{t_{\text{ц}}} \cdot 100 \cdot \% = \frac{6.486}{61} \cdot 100 \cdot \% = 10.633 \text{ \% с.}$$

Эквивалентный момент, приведённый к ПВ=40%

$$M_{\text{ЭЛ}} = \sqrt{\frac{M_n^2 \cdot t_p + M_c^2 \cdot t_y + M_m^2 \cdot t_m}{t_{\text{ц}} \cdot 0.4}} =$$
$$= \sqrt{\frac{645.8^2 \cdot 2 + 527^2 \cdot 2.486 + 408.2^2 \cdot 2}{61 \cdot 0.4}} = 275.9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Загрузка двигателя эквивалентным моментом составляет

$$\frac{M_{\text{ЭЛ}}}{M_N} \cdot 100 \cdot \% = \frac{M_{\text{ЭЛ}}}{567.8} \cdot 100 \cdot \% = 48.586 \text{ \%}$$

Выбранный двигатель удовлетворяет заданным условиям работы.

3 Сталкиватель обреза.

3.1 Сталкиватель обреза предназначен для сталкивания пакета обреза с транспортера в специальный короб. Кинематическая схема сталкивателя обреза приведена на листе 75. Привод сталкивателя обреза осуществляется от двигателя ДМТКН111-6 (N=3 кВт, n=910 об/мин) через редуктор 1Ц2У-250 с передаточным числом $u=12,5$.

Технические параметры механизма:

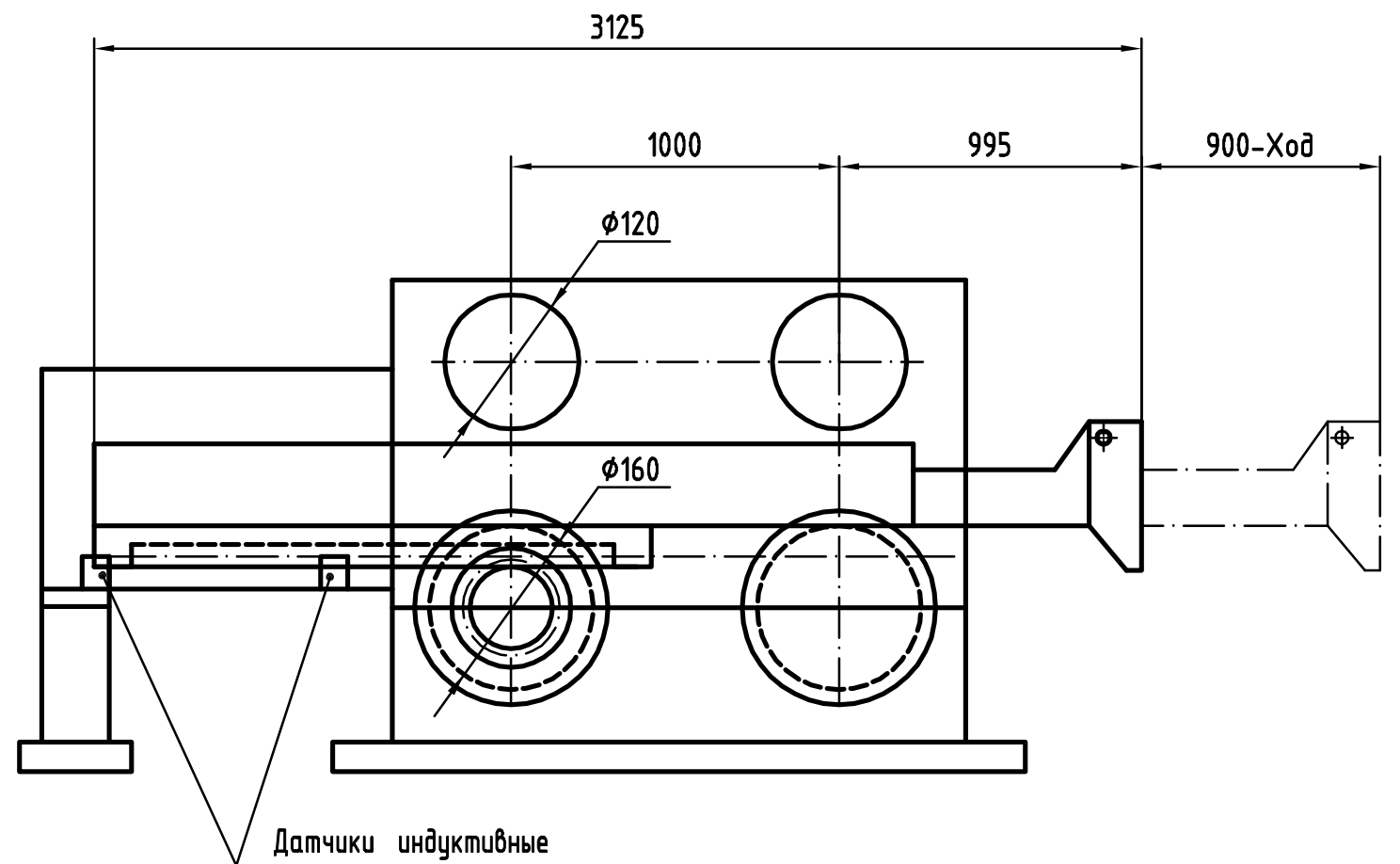
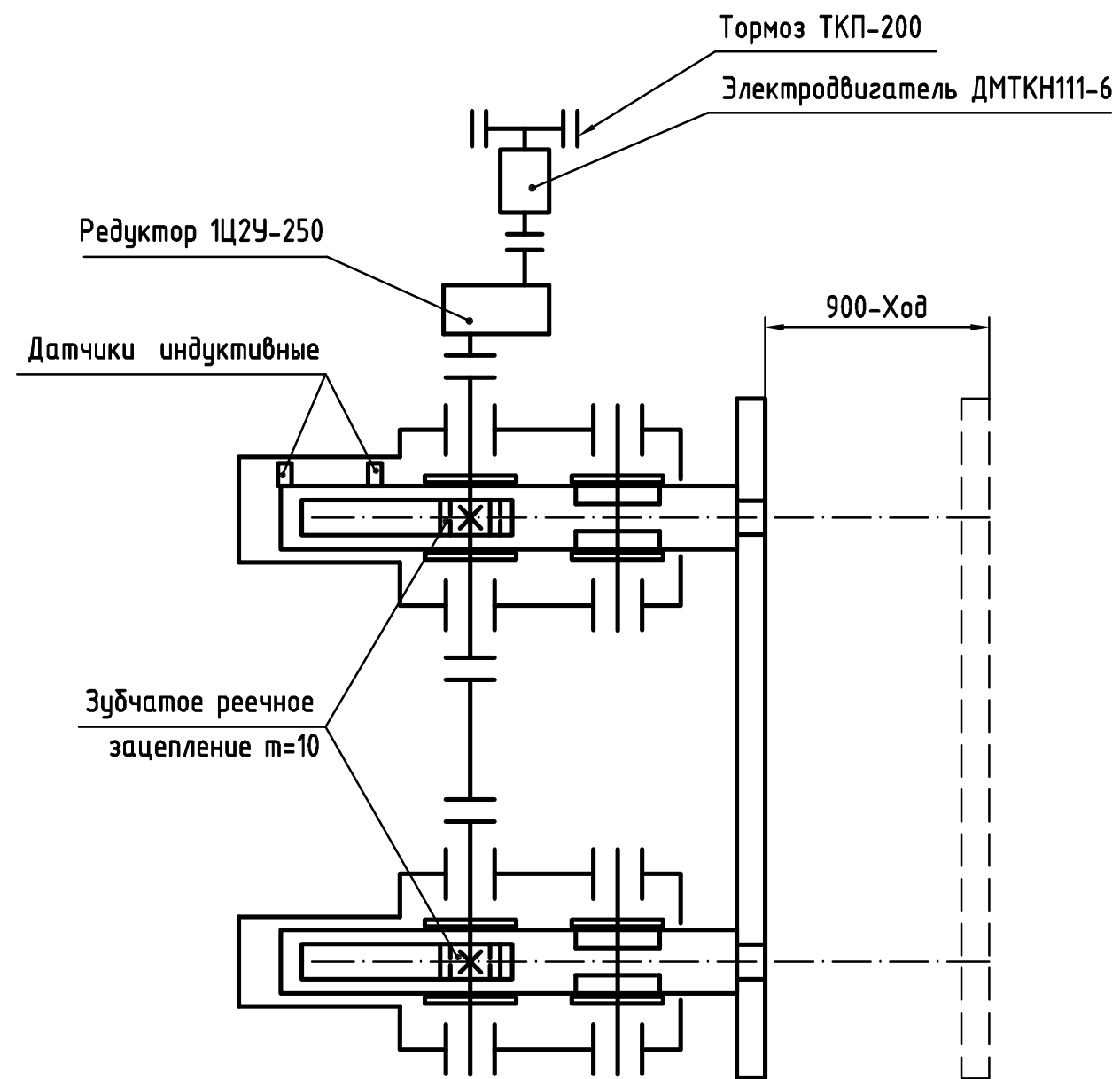
Ход линейки сталкивателя,	мм	900
Скорость перемещения линейки сталкивателя,	м/с	0,6
Модуль зубчатого реечного зацепления,		10
Делительный диаметр вала-шестерни,	мм	160
Диаметр цапфы вала-шестерни,	мм	90
Диаметр катка,	мм	160
Диаметр цапфы катка,	мм	90
Вес вала-шестерни,	кг	53
Вес штанги,	кг	550
Вес сталкивателя с линейкой,	кг	300

3.2 Проверочный расчёт электродвигателя Д МТКН111-6 по моменту.

Статический момент на реечной шестерне от трения в опорных роликах при перемещении штанг:

$$M_{op} = a \cdot (G_{шт} + G_{л}) \cdot g \cdot \mu_{op} \cdot \frac{0.5 \cdot d_3}{1 - 0.5 \cdot \mu_{op}} =$$
$$= 1.895 \cdot (550 + 300) \cdot 9.8 \cdot 0.0453 \cdot \frac{0.5 \cdot 0.16}{1 - 0.5 \cdot 0.0453} = 58.532 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

Кинематическая схема сталкивателя обреза



где

$$a = \frac{l_1}{l_2} = \frac{1.895}{1} = 1.895$$

- коэффициент, учитывающий смещение центра масс штанги относительно катков;

$$l_1 = 1.895 \quad \text{м}$$

- максимальный вылет рейки;

$$l_2 = 1 \quad \text{м}$$

- расстояние между катками;

$$G_{шт} = 550 \quad \text{кг}$$

- масса штанги;

$$G_{л} = 300 \quad \text{кг}$$

- масса толкателя с линейкой;

$$g = 9.8 \quad \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

- ускорение свободного падения;

$$\mu_{ор} = \frac{f + \mu \cdot 0.5 \cdot d_{цк}}{0.5 \cdot d_{к}} \cdot c =$$
$$= \frac{0.001 + 0.01 \cdot 0.5 \cdot 0.09}{0.5 \cdot 0.16} \cdot 2.5 =$$

- приведённый коэффициент трения рейки по опорным роликам;

$$= 0.0453$$

$$f = 0.001 \quad \text{м}$$

- коэффициент трения качения колеса по рельсам;

$$\mu = 0.01$$

- приведённый коэффициент трения скольжения в подшипнике качения;

$$d_{цк} = 0.09 \quad \text{м}$$

- диаметр цапфы катка;

$$d_{к} = 0.16 \quad \text{м}$$

- диаметр катка;

$$c = 2.5$$

- коэффициент, учитывающий трение в ребордах;

$$d_3 = 0.16 \quad \text{м}$$

- диаметр вал-шестерни.

Статический момент на реечной шестерне от трения в цапфах шестерни

$$M_u = \left[G_{ш} + \frac{a \cdot (G_{шм} + G_L) \cdot \mu_{ор} \cdot 0.5}{1 - 0.5 \cdot \mu_{ор}} \right] \cdot \mu \cdot 0.5 \cdot g \cdot d_{цз} =$$

$$= \left[53 + \frac{1.895 \cdot (550 + 300) \cdot 0.0453 \cdot 0.5}{1 - 0.5 \cdot 0.0453} \right] \cdot 0.01 \cdot 0.5 \cdot 9.8 \cdot 0.09 = 0.398 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $d_{цз} = 0.09$ - диаметр цапфы вал-шестерни;

$G_{ш} = 53$ кг - масса вал-шестерни.

Статический момент холостого хода

$$M_{хх} = \frac{M_{ор} + M_u}{u \cdot \eta_x} = \frac{58.532 + 0.398}{12.5 \cdot 0.68} = 6.933 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где

$u = 12.5$ - передаточное число редуктора;

$\eta_x = 0.68$ - КПД двухступенчатого редуктора при загрузке на 20%.

Статический момент сопротивления сталкивания

$$M_c = M_{хх} \cdot \frac{\eta_x}{\eta_c} + \frac{G_o \cdot g \cdot \mu_B \cdot (0.5 \cdot d_3 + 0.5 \cdot \mu \cdot 0.5 \cdot d_{цз})}{(1 + 0.5 \cdot \mu_{ор}) \cdot u \cdot \eta_c} =$$

$$= 6.933 \cdot \frac{0.68}{0.88} + \frac{1000 \cdot 9.8 \cdot 0.25 \cdot (0.5 \cdot 0.16 + 0.5 \cdot 0.01 \cdot 0.5 \cdot 0.09)}{(1 + 0.5 \cdot 0.0453) \cdot 12.5 \cdot 0.88} =$$

$$= 22,83 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $\eta_c = 0.88$ - КПД двухступенчатого редуктора при загрузке на 70%;

$\mu_B = 0.25$ - коэффициент трения горячего металла по металлу;

$G_o = 1000$ кг - масса пакета обрезки, максимальная.

Загрузка двигателя статическим моментом сопротивления сталкивания

$$\frac{M_c}{M_N} = \frac{22.83}{31.48} = 0.725 < \lambda = 3.082$$

где

$$M_N = \frac{9.55 \cdot N}{n_N} = \frac{9.55 \cdot 3000}{910} = 31.484 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

- номинальный момент двигателя при ПВ=40%;

$$n_N = 910 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

- номинальная скорость вращения двигателя;

$$N = 3000 \text{ Вт}$$

- номинальная мощность двигателя при ПВ=40%.

Следовательно, двигатель ДМТКН111-6 удовлетворяет по моменту заданным условиям работы.

Примем, что за наиболее короткий цикл $t_u = 61$ с подачи раскатов на транспортёр сбрасывается обрезка переднего и заднего концов, после чего транспортёр сдвигается на шаг, и сбрасыватель сбрасывает пакет обрезки.

Примем, что двигатель разгоняется и останавливается с ускорением и замедлением $b = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

До номинальной скорости привод разгонится за

$$t_p = t_m = \frac{v}{b} = \frac{0.6}{1} = 0.6 \text{ с}$$

где $v = 0.6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость перемещения сталкивателя при установившемся движении.

При этом, за время разгона и торможения рольганг пройдёт расстояние

$$s_p = s_m = \frac{b \cdot t_p^2}{2} = \frac{1 \cdot 0.6^2}{2} = 0.18 \text{ м}$$

Время хода с постоянной скоростью составит

$$t_y = \frac{l_{x.m} - s_p - s_m}{v} = \frac{0.9 - 0.18 - 0.18}{0.6} = 0.9 \text{ с}$$

где $l_{x.m} = 0.9 \text{ м}$ - ход сталкивателя обреза.

Общее время работы рольганга

$$t_x = 2 \cdot (t_y + 2 \cdot t_p) = 2 \cdot (0.9 + 2 \cdot 0.6) = 4.2 \text{ с}$$

Продолжительность включения механизма составляет

$$ПВ\% = \frac{t_x}{t_{ц}} \cdot 100 \cdot \% = \frac{4.2}{61} \cdot 100 \cdot \% = 6.885 \%$$

Ввиду кратковременности режима работы проверка на нагрев двигателя ДМТКН111-6 сталкивателя обреза не производится.

4. Сталкиватель планок.

Сталкиватель планок предназначен для сталкивания технологических планок с транспортера в карман.

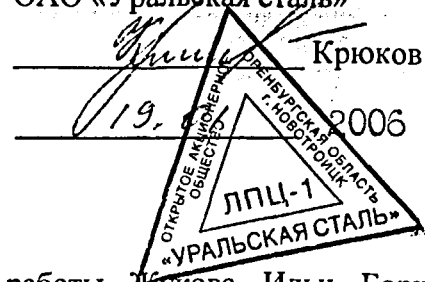
Сталкиватель планок по параметрам привода и составу электрооборудования принят одинаковым со сталкивателем обреза. Поскольку сталкиватель планок работает в более легком режиме, чем сталкиватель обреза проверочный расчёт на нагрев и перегрузочную способность не производится.

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. начальника ЛПЦ-1

ОАО «Уральская сталь»

Крюков В. В.



АКТ

об использовании материалов диссертационной работы Жукова Ильи Борисовича «Исследование и оптимизация электромеханических систем управления комплексом резки листового проката» представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук

На стане 2800 ЛПЦ-1 ОАО «Уральская Сталь» (Орско-Халиловский металлургический комбинат) в ноябре 2005 г. Сдан в опытно-промышленную эксплуатацию участок ножниц поперечной резки с катящимся резом конструкции КО ВНИИМЕТМАШ.

В документации проекта ножниц использованы материалы диссертационной работы Жукова И. Б., который выполнил электромеханические расчеты комплекса электроприводов участка ножниц.

При отладке и эксплуатации технологических режимов управления также принимаются во внимание рекомендации, приведенные в диссертационной работе.

Зам. начальника ЛПЦ-1
по электрооборудованию

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Соболев'.

Г. А. Соболев