

*магистрант Чумак Ю. А.,
к.т.н. Шпаков В. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕДУКТОРОВ ПРИВОДА ВЕРТИКАЛЬНЫХ КЛЕТЕЙ КРУПНОСОРТОВОГО СТАНА

Наведені результати практичних спостережень за роботою комбінованих редукторів приводів валків вертикальних клітей стана 600, в результаті обробки даних про відмови, отримані залежності, які описують надійність приводу, виявлені вузли та деталі, що необхідно вдосконалити.

Ключові слова: вертикальна кліть; сортовий стан; комбінований редуктор; надійність приводу; підшипники; система змащування.

Приведены результаты практических наблюдений за работой комбинированных редукторов приводов валков вертикальных клетей стана 600, в результате обработки данных об отказах, получены зависимости, описывающие надежность привода, выявлены узлы и детали, которые требуется усовершенствовать.

Ключевые слова: вертикальная клеть; комбинированный редуктор; сортовой стан; надежность привода; подшипники; система смазки.

Несмотря на имеющиеся в настоящее время исследования технического состояния и динамики приводов прокатных клетей [1,2 и др.], практических данных пока недостаточно. В связи с этим нами приведены исследования комбинированных редукторов вертикальных клетей 730 методами теории надежности.

Стан состоит из 15 рабочих клетей, расположенных последовательно в трех параллельных линиях, соединенных между собой шлеперами. Первые две клетки 1Г и 2Г – горизонтальные двухвалковые 850, последующие семь (4Г, 6Г, 7Г, 9Г – 12Г) горизонтальные и три вертикальных (3В, 5В, 8В) – двухвалковые 730 и последние (13Г, 16Г и 17Г) – горизонтальные двухвалковые 580. Восемь клетей первой линии объединены в две непрерывные группы: первая – в составе пяти клетей (2Г, 3В, 4Г, 5В, 6Г) и вторая – в составе трех клетей (8В, 9Г, 10Г); остальные клетки отдельно стоящие со свободной прокаткой. Предусмотрена не-

прерывная прокатка в 11Г и 12Г клетях, если длина раската будет достаточной [3,4].

В нашем исследовании рассмотрены вертикальные клетки 730 3В, 5В и 8В. На основании данных многочисленных исследований известно, что наиболее нагруженной вертикальной клетью является клеть 3В.

Особенностью конструкции клетки является привод ее валков, осуществленный от четырех вертикальных электродвигателей через цилиндрическую передачу. В качестве приводных электродвигателей применены вертикальные электродвигатели ПВ129-9К, $N = 300$ кВт, $n = 750/1000$ об/мин.

Электродвигатели смонтированы непосредственно на редукторе и связаны между собой зубчатыми передачами. Техническая характеристика комбинированных редукторов приведена в таблице 1.

Как видно из схемы привода (рисунок 1), мощность от каждой пары электродвигателей передается на колесо первой пары и далее следует одним потоком, т.е. к каждому рабочему валку мощность подводится от двух электродвигателей.

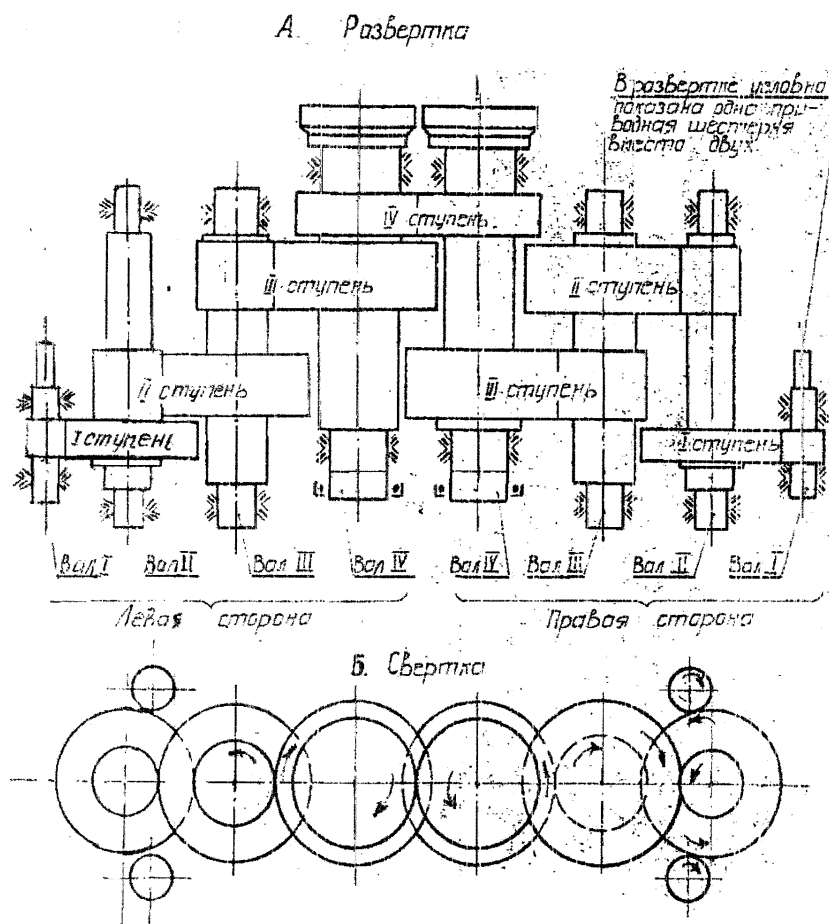


Рисунок 1 – Кинематическая схема комбинированного редуктора

Таблица 1 – Техническая характеристика комбинированных редукторов вертикальных клетей

Термины	Обознач.	Редуктора клетей		
		3В	5В	8В
- номинальная мощность, подводимая к быстроходным валам редуктора	$N_{кВт}$	По 4 двигателя на редуктор кВт, 4x300=1200, 4x300=1200, 4x300=1200		
- рабочий крутящий момент на тихоходном валу	$M_{кр}$ раб.ПТМ	20	20	20
- максимальный крутящий момент на тихоходном валу	M_{max} ТМ	32	32	32
- число оборотов быстроходных валов	n_b об/мин	375 1000	375 1000	375 1000
- число оборотов тихоходных валов	n_t об/мин	11,4 30,6	19,2 52,0	22,5 60,0
- передаточное число редуктора	i	32,5	19,19	16,65

Общая компоновка привода от четырех электродвигателей очень удобна. Она позволяет отказаться от конических передач, а также вывести шарниры шпинделей на верх редуктора и тем самым улучшить их обслуживание, а также: уменьшить габарит клетки по высоте. Кроме того, раздвоение потока мощности позволило уменьшить ширину колес зубчатых передач, что также привело к понижению высоты клетки.

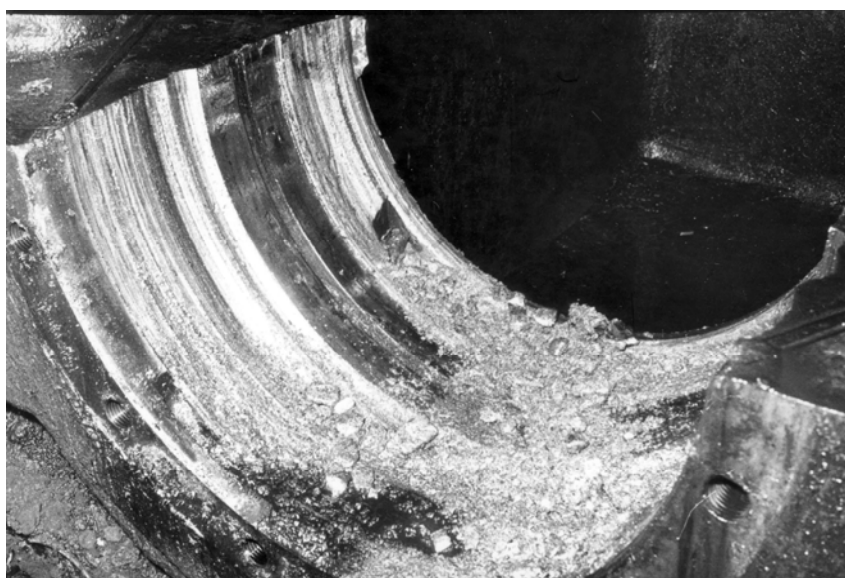
По сравнению с общепринятым приводом валков подобных клетей от одного горизонтального электродвигателя, расположенного в машинном зале, приведенный тип привода имеет целый ряд преимуществ, основными из которых являются: улучшение конструкции привода и его эксплуатационных качеств (отказ от конических передач и тяжелых вертикальных шестеренных клетей, раздвоение потока мощности, уменьшение габарита и веса); отсутствие необходимости в промежуточном соединении от электродвигателя к клетки; улучшение условий эксплуатации шпиндельного соединения; высвобождение площади в машинном зале и отсутствие необходимости сооружения громоздкого фундамента в машинном зале объемом порядка 250 м³ при верхнем расположении привода; отсутствие опрокидывающих моментов, действующих на клеть.

Из недостатков конструкции привода можно выделить следующие: затрудненный контроль за состоянием валов редуктора из-за глухой крышки; неудовлетворительно работающая система пластичной смазки подшипников (особенно нижних) требует усовершенствования;

поскольку износ, как видно на фотографиях дорожек качения (рисунок 2а), осповидный, ролики поворачиваются на 90° и разрушаются (на фото видны продукты износа - рисунок 2б); большие осевые усилия в зацеплении и, как следствие, сдвиг подшипников с посадочных мест, срыв болтов крышек подшипников.



а

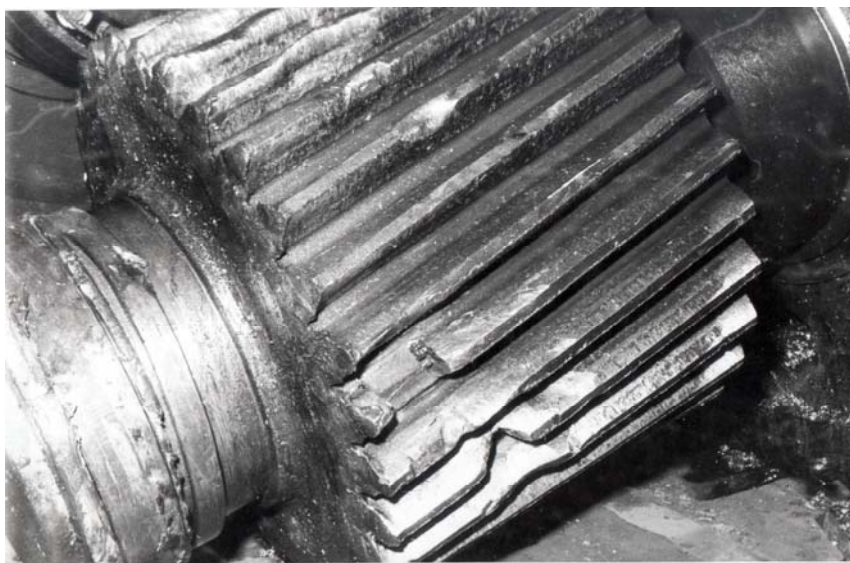


б

Рисунок 2 – Износ дорожек и тел качения подшипника (а), продукты износа (б)

Из-за разрушения тел и дорожек качения подшипников образующиеся продукты износа попадают в область зацепления, что приводит к образованию дефектов (выкрашивание, поломка зубьев и др.

– рисунок 3а). При износе подшипников также интенсивно изнашиваются шейки валов (рисунок 3б).



а



б

Рисунок 3 – Износ зубчатого зацепления (а) и шейки вала (б)

Наиболее изнашиваются подшипники и зубчатые зацепления редуктора клетки 3В, что связано с высокой загруженностью ее относительно других по критерию $M_{\max}/M_{\text{ном}}$.

Оси всех валов (кроме быстроходных) расположены в одной вертикальной плоскости. Оси быстроходных валов попарно расположены в вертикальных плоскостях, параллельных плоскости расположения осей

остальных валов, которая является плоскостью симметрии всего редуктора.

Опорами валов являются двухрядные конические роликовые подшипники. В нижних опорах тихоходных валов установлены еще дополнительно радиально упорные шарикоподшипники для восприятия осевых усилий.

Нижние опоры всех валов монтируются в стаканах (за исключением быстроходных валов) и устанавливаются в расточках жесткого литого стального корпуса без разъема.

Верхние опоры всех валов (кроме быстроходных валов) устанавливаются в расточках крышек, изготовленных из стального литья. Разъемы крышек сделаны по центральным валам.

Верхние опоры быстроходных валов устанавливаются (они помещены в стаканы) в специальных стойках, крепящихся к боковым стенкам корпуса.

Смазка зубчатых зацеплений и подшипников качения опор всех валков и нижних опор быстроходных валов - жидкая, централизованная. Смазка подшипников качения нижних валов – густая, централизованная [4, 5].

Опираясь на данные, полученные в ходе эксплуатации клетки, можно сказать, что система густой смазки подшипников работает неудовлетворительно, что часто приводит к недостатку смазки в подшипниках и, как следствие – преждевременному износу.

Расчет показателей надежности

Ориентировочное значение интервала Δt можно определить по формуле:

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3,31 \cdot \log n}, \quad (1)$$

где t_{\max} t_{\min} – максимальная и минимальная наработка до отказа;
 n – общее число отказов.

$$\Delta t = \frac{751 - 21}{1 + 3,31 \cdot \log 57} = 82 \text{ сут.} \quad (2)$$

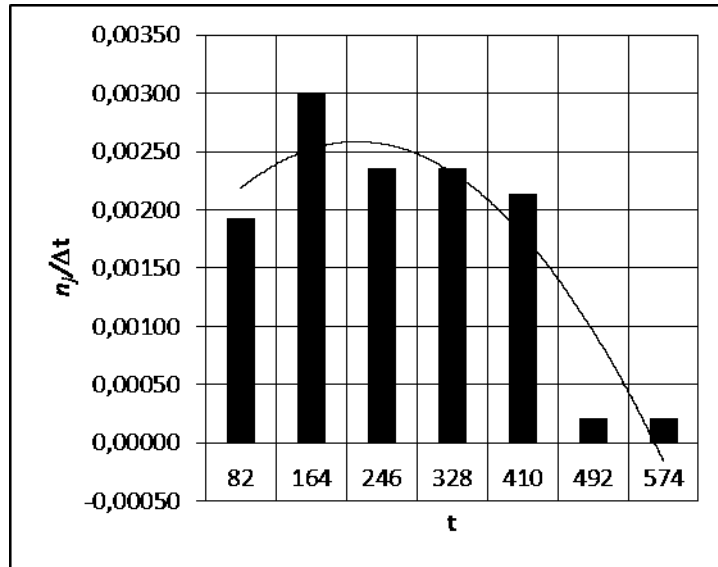


Рисунок 4 – Гистограмма распределения наработки на отказ
клетки 730 ЗВ

Таблица 2 - Вариационный ряд отказов

$\Delta t, \text{сут}$	n_i	n_j/n	$\sum n_j/n$	$n_j/\Delta t$
0-82	9	0,1578	0,1578	0,0019
82-164	14	0,2456	0,4035	0,0029
164-246	11	0,1929	0,5964	0,0023
246-348	11	0,1929	0,7894	0,0023
348-410	10	0,1754	0,9649	0,0021
410-492	1	0,0175	0,9824	0,00021
492-574	1	0,0175	1,0000	0,00021
Всего:	57			

$$x_i = \frac{t_i - t_n}{\Delta t}. \quad (3)$$

Значение t_n соответствует максимальному n_i , поэтому $t_n = 123$

$$x_i = \frac{41 - 123}{82} = -1. \quad (4)$$

Экспериментальная частота определяется по формуле:

$$q_s(t) = \frac{n_i}{\sum n_i}. \quad (5)$$

Тогда экспериментальная функция распределения $F_3(t)$ равна:

$$F_3(t) = \sum_{i=1}^k q_3(t), \quad (6)$$

где k – номер соответствующего члена вариационного ряда.

Таблица 3 – Приведенный вариационный ряд отказов

Δt , сут	t_i	n_i	x_i	$n_i x_i$	$n_i x_i^2$	$n_i x_i^3$	$n_i x_i^4$	Проверка	
								$x_i + 1$	$(x_i + 1)^4$
0-82	41	9	-1	-9	9	-9	9	0	0
82-164	123	14	0	0	0	0	0	1	14
164-246	205	11	1	11	11	11	11	2	176
246-328	287	11	2	22	44	88	176	3	891
328-410	369	10	3	30	90	270	810	4	2560
410-492	451	1	4	4	16	64	256	5	62,5
492-574	533	1	5	5	25	125	626	6	1296
Всего:		57		63	195	549	1887		5562

Таблица 4 - Сравнение теоретического и экспериментального распределения отказов

$q_3(t)$	$F_3(t)$	$U = \frac{t_1 - t_0}{G}$	$\varphi(u)$	N_i	$q(t)$	$F(t)$	$D = F_3(t) - F(t)$
0,1578	0,1578	-1,4190	0,1456	5,59	0,0917	0,0917	0,0661
0,2456	0,4035	-0,7450	0,3242	12,45	0,2043	0,296	0,1075
0,1929	0,5964	-0,0709	0,3920	15,07	0,2472	0,5432	0,0532
0,1929	0,7894	0,6031	0,3583	13,7	0,2248	0,7680	0,0214
0,1754	0,9649	1,2771	0,1779	6,83	0,1121	0,8801	0,0848
0,0175	0,9849	1,9512	0,0592	2,27	0,0373	0,9174	0,0675
0,0175	1,0000	2,6253	0,1308	5,02	0,825	1,0000	0
				60,92			

Функция распределения будет выглядеть так (рисунок 5):

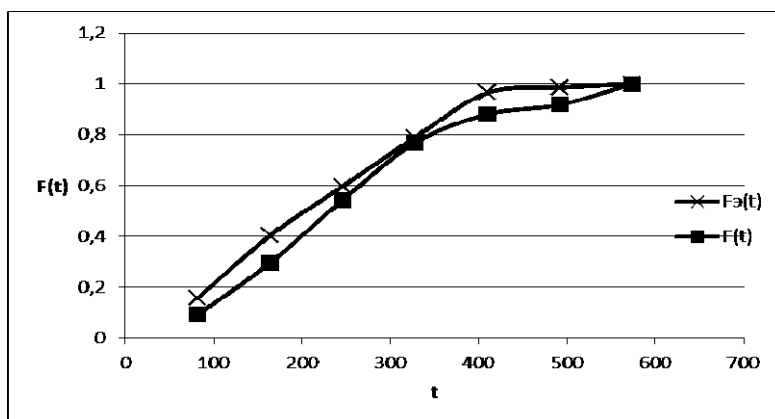


Рисунок 5 – Функция распределения

$$\bar{t}_0 = t_n - \bar{x}\Delta t = t_n + \frac{\sum x_i n_i}{\sum n_i} \Delta t = 123 + \frac{63}{57} \cdot 82 = 213,63 \text{ сут}; \quad (7)$$

$$\mu_2 = \bar{G}^2 = v_2 - v_1^2 = \left[\frac{195}{57} - \left(\frac{63}{57} \right)^2 \right] \cdot 82^2 = 14799,52; \quad (8)$$

$$G = \sqrt{\mu_2} = \sqrt{14799,5} = 121,65; \quad (9)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{6,28}} \exp\left(-\frac{1,4190^2}{2}\right) = 0,1456; \quad (10)$$

$$N_i = \varphi(u) \frac{\Delta t \sum n_i}{G} = 0,1456 \cdot \frac{82 \cdot 57}{121,65} = 5,59. \quad (11)$$

Примечание

Таблица 5

1,0067	exp(-0,3642)
0,2775	exp(-0,8106)
0,0035	exp(-0,9802)
0,1818	exp(-0,8958)
0,8154	exp(-0,4449)
1,9035	exp(-0,1481)
3,4461	exp(-0,3271)

Вычислим значение

$$z = D \sqrt{\sum n_i} = 0,1075 \sqrt{57} = 0,8116, \quad (12)$$

по таблицам найдем значение критерия А. Н. Колмогорова $k(z) = 0$, тогда $p(z) = 1$. Это свидетельствует о том, что принятое усеченное нормальное распределение хорошо описывает распределение отказов [6, 7].

Статистическая обработка отказов привода и построение гистограммы, которая показывает, что отказы распределяются по усеченному нормальному закону. Однако центр группирования сдвинут в сторону экспоненциального. Таким образом, износ является постепенным, но есть тенденция сдвига к аварийному.

Наибольшее число отказов связано с подшипниками второго и третьего валов редуктора. Подшипники с коническими роликами. В связи с этим предлагаем заменить их подшипниками с бочкообразными роликами. Необходимо также усовершенствовать смазку верхних подшипников валов – заменить пластичную смазку системой жидкой смазки.

Библиографический список

1. Коренной В. В. Опыт определения технического состояния редуктора прокатной клетки / В. В. Коренной, А. П. Даличук, В. В. Веренев // *Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии.*: Сб. научн. трудов. – 2006. - №13. - С. 293-297.

2. Большаков В. И. Методика исследования динамики приводов металлургических машин / В. И. Большаков // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2000. - №3. – С. 72-78.

3. Королев А. А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов / А. А. Королев. – М.: Металлургия, 1987. – 560 с.

4. Производство сортовых и фасонных профилей проката на крупносортном стане 600. Технологическая инструкция ТИ 229-ПС-036-75-2010. – Алчевск: ОАО АМК, 2010. – 143 с.

5. Гедик П. Н. Смазка металлургического оборудования / П. Н. Гедик, М. И. Колашникова. – М.: Металлургия. – 1971. – 376 с.

6. Шторм Р. Теория вероятности и математическая статистика / Р. Шторм. - М.: Мир. - 1970. - 368 с.

7. Лапач С. Н. Статистика в науке и бизнесе / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич. - К.: Морион. – 2002. – 640 с.

Рекомендована к печати к.т.н., проф. Ульяницким В.Н.