

# Шахтная подъемная машина с преобразователем частоты «ЭРАТОН-ФР»: расчет экономии электроэнергии

Иванцов В.В.

*В статье на примере шахтной подъемной машины 2Ц-5\*2,3 шахты «Осинниковская» ОУК «Южкузбассуголь» проведен расчет экономии электроэнергии при замене роторной станции электродвигателя с фазным ротором на регулируемый электропривод «ЭРАТОН-ФР»*

## 1. Описание шахтной подъемной машины 2Ц-5\*2,3 шахты «Осинниковская»

- 1.1. Тип шахтной подъемной машины (ШПМ) — НКМЗ 2Ц-5\*2,3 (одноканатная).
- 1.2. Назначение ШПМ — грузовая.
- 1.3. Тип подъемного сосуда — неопрокидывающийся скип 2120 г/п 11000 кг.
- 1.4. Количество подъемных сосудов ШПМ — двухсосудная.
- 1.5. Количество горизонтов, обслуживаемых ШПМ — один.
- 1.6. Высота подъема для каждого горизонта — 534 м.
- 1.7. Перечень режимов работы ШПМ
  - 1.7.1. Подъем груза
    - а) скорость подъема — 7 м/сек;
    - б) количество подъемов в час — 25;
    - в) время цикла — 144 сек;
    - г) время работы подъема в сутки — 18 часов;
    - д) число рабочих дней в году — 350.
  - 1.7.2. Осмотр ствола шахты и осмотр канатов
    - а) скорость движения сосуда при осмотре — 0,3 м/сек;
    - б) количество осмотров в сутки — 1;
    - в) количество прогонов при осмотре — 4.
  - 1.7.3. Замена каната и сосудов — по необходимости.
- 1.8. Режим управления подъемной машиной — ручной.
- 1.9. Количество и тип электродвигателей ШПМ — два электродвигателя АКН-16-51-20.
- 1.10. Номинальные данные электродвигателей:
  - 1.10.1. Мощность  $P_n = 800$  кВт.
  - 1.10.2. Обороты  $n_n = 293$  об/мин.
  - 1.10.3. Напряжение статора  $U_{сн} = 6000$  В.
  - 1.10.4. Напряжение ротора  $U_{рн} = 665$  В.
  - 1.10.5. Ток ротора  $I_{рн} = 755$  А.
  - 1.10.6. Коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,8$ .
  - 1.10.7. КПД = 92%.
- 1.11. Температура окружающей среды от +1°C до +35°C.

### 1.12. Описание действующего электропривода ШПМ

Электропривод действующей ШПМ содержит пусковую резисторно-контакторную станцию (ПРКС) в роторе и станцию динамического торможения (СДТ) в статоре каждого электродвигателя. Структурная схема электропривода показана на рис. 1. ПРКС в роторе каждого электродвигателя содержит набор резисторов (омических сопротивлений) и контакторов. СДТ представляет собой регулируемый источник постоянного тока, который подключается к двум фазам статора электродвигателя при отключенной сети 6 кВ 50 Гц и обеспечивает создание тормозного момента электродвигателя.

#### 1.12.1. Подъем груженого скипа с нижнего горизонта шахты

Один цикл подъема груженого скипа с нижнего горизонта шахты включает следующие режимы работы ШПМ:

- 1) разгон скипа;
- 2) движение с пониженной скоростью;
- 3) разгон до максимальной скорости;

- 4) движение с максимальной скоростью;
- 5) замедление;
- 6) дотяжка и ход в разгрузочных кривых;
- 7) стопорение.

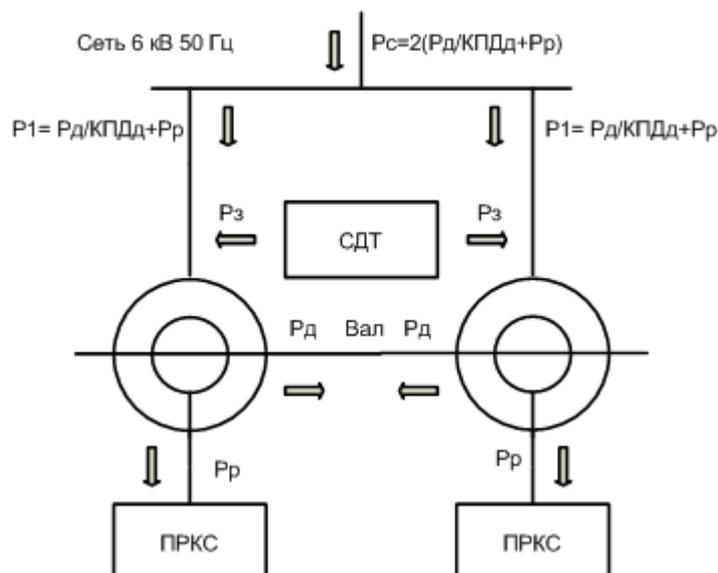


Рисунок 1: Структурная схема электропривода ШПМ с ПРКС и СДТ

Усредненные значения технических параметров, характеризующих перечисленные режимы работы ШПМ за цикл подъема скипа, представлены в Таблице 1.

Подъем скипа	Время сек	Путь м	Скорость (средняя) м/сек	Усилие подъема скипа			Относит. усилие о.е.
				начало кН	конец кН	среднее кН	
1. Трогание	1,60	0,35	0,22	230,59	230,58	230,59	1,01
2. Движение с пониженной скоростью	8,90	3,60	0,40	178,74	178,61	178,68	0,78
3. Разгон	8,45	28,50	3,37	334,14	333,08	333,61	1,46
4. Движение с максимальной скоростью	65,95	461,65	7,00	177,55	154,05	165,80	0,73
5. Замедление	8,45	33,50	3,97	-1,48	-2,54	-2,01	-0,01
6. Дотяжка и ход в разгрузочных кривых	15,00	6,00	0,40	152,99	152,83	152,91	0,67
7. Стопорение	0,08	0,40	5,00	-54,54	-54,55	-54,54	-0,24
8. Всего	108,42	534,00					
9. Время цикла      25 подъемов в час	144,00						

Таблица 1:

Перечисленные выше режимы работы ШПМ обеспечиваются следующими режимами работы электропривода ШПМ:

Для создания режима 1 на статор электродвигателей подается напряжение 6 кВ 50 Гц, а к цепям ротора подключаются омические сопротивления первой ступени ПРКС, обеспечивающие протекание в цепи ротора пускового тока, достаточного для создания пускового момента электродвигателя. Двигатели разгоняются до скорости 0,40 м/сек за время 1,6 сек.

В режиме 2 включены сопротивления первой ступени ПРКС в роторах электродвигателей.

В режиме 3 для разгона электродвигателей до максимальной скорости поочередно закорачивают ступени сопротивлений контакторами ПРКС, что обеспечивает поддержание пускового момента электродвигателей больше момента сопротивления в течение всего разгона электродвигателя. В рассматриваемой ШПМ таких ступеней шесть.

В режиме 4 после разгона электродвигателей до скорости, близкой к номинальной, в цепи ротора оставляют относительно небольшие сопротивления, обеспечивающие выравнивание нагрузок двух электродвигателей ШПМ.

Для замедления скипа в режиме 5 отключают статоры электродвигателей от сети 6 кВ 50 Гц и подключают их к станции динамического торможения (СДТ). Регулируя величину постоянного тока статора создают нужный тормозной момент для замедления скипа перед входом в разгрузочные кривые.

Дотяжка и ход скипа в разгрузочных кривых в режиме 6 выполняются при подключенных статорах электродвигателей к сети 6 кВ 50 Гц и подключенных роторах к сопротивлениям первой ступени ПРКС.

Режим 7 — стопорение обеспечивается наложением механического тормоза ШПМ.

В режимах работы электропривода 1 — 7 в цепи ротора электродвигателей включены сопротивления ПРКС, по которым протекает ток ротора, что приводит к потере мощности, которая тратится на нагрев сопротивлений. Эти потери мощности не создают полезной работы по подъему скипа и являются непроизводительными потерями электроэнергии. В режиме 5 при замедлении скипа с помощью станции динамического торможения происходит дополнительная потеря электроэнергии, которая непроизводительно тратится на нагрев электродвигателей.

#### 1.12.2. Осмотр ствола шахты и осмотр канатов

С помощью ШПМ производится ежедневный осмотр ствола шахты и осмотр канатов ШПМ.

При осмотре ствола и канатов ШПМ работает в следующих режимах:

- 1) трогание;
- 2) движение с пониженной скоростью;
- 3) стопорение.

Усредненные значения технических параметров, характеризующих перечисленные режимы работы ШПМ за цикл осмотра, представлены в Таблице 2.

При осмотре ствола шахты и осмотре канатов действующий электропривод ШПМ работает с пониженными оборотами вала электродвигателей за счет подключения к цепям ротора сопротивлений первой ступени ПРКС. При этом в сопротивлениях ПРКС выделяется значительная мощность, которая непроизводительно расходуется на нагрев роторных сопротивлений.

Осмотр ствола шахты	Время сек	Путь м	Средняя скорость м/сек	Усилие подъема скипа			Относит. усилие о.е.
				начало кН	конец кН	среднее кН	
<b>1. Трогание</b>	1,60	0,32	0,20	230,59	230,58	230,59	1,01
<b>2. Движение с пониженной скоростью</b>	1777,60	533,28	0,30	177,55	154,05	165,80	0,73
<b>3. Стопорение</b>	0,08	0,40	5,00	-54,54	-54,55	-54,54	-0,24
<b>4. Всего</b>	1779,28	534,00					

Таблица 2:

## 2. Расчет непроизводительных потерь электроэнергии действующей ШПМ

### 2.1. Расчет потерь электроэнергии при подъеме груза

Для расчета непроизводительных затрат электроэнергии действующей ШПМ определены токи и напряжения в цепи ротора электродвигателей в режимах 1 — 7 электропривода, по значениям которых вычислены потери электроэнергии, затрачиваемые на нагрев роторных сопротивлений ПРКС. Результаты расчетов сведены в Таблицу 3. Расчеты выполнены при допущении о непрерывном изменении сопротивлений ПРКС в режиме разгона скипа 3.

Подъем скипа	Время сек	Путь м	Скорость (средняя) м/сек	Относит. усилие о.е.	Сколь- жение о.е.	Мощность ротора×2 кВт	Энергия ротора×2 кВт×час
1. Трогание	1,60	0,35	0,22	1,01	0,97	1649	0,7
2. Движение с пониженной скоростью	8,90	3,60	0,40	0,78	0,95	1245	3,1
3. Разгон	8,45	28,50	3,37	1,46	0,55	1349	3,2
4. Движение с максимальной скоростью	65,95	461,65	7,00	0,73	0,06	78	1,4
5. Замедление	8,45	33,50	3,97	-0,01	0,47	7	0,0
6. Дотяжка и ход в разгрузочных кривых	15,00	6,00	0,40	0,67	0,95	1066	4,4
7. Стопорение	0,08	0,40	5,00	-0,24	0,33	133	0,0
8. Всего	108,42	534,00					12,9

Таблица 3:

Анализ данных Таблицы 3 показывает, что за один цикл подъема скипа на непроизводительный нагрев роторных сопротивлений ПРКС затрачивается электроэнергия 12,9 кВт·час. Кроме этого на нагрев электродвигателей в режиме замедления скипа с помощью СДТ дополнительно затрачивается электроэнергия, которую можно ориентировочно определить по следующему соотношению

$$ПЭ_3 = 0,05 \cdot 2 \cdot P_n \cdot t_3 : 3600 = 0,05 \cdot 2 \cdot 800 \cdot 8,45 : 3600 = 0,19 \text{ кВт}\cdot\text{час.}$$

Таким образом, суммарные непроизводительные потери электроэнергии за один цикл подъема скипа составляют

$$ПЭ_{ц} = 12,9 + 0,19 = 13,1 \text{ кВт}\cdot\text{час.}$$

Потери электроэнергии за один час работы ШПМ составляют величину

$$ПЭ_{час} = 13,1 \cdot 25 = 327,5 \text{ кВт}\cdot\text{час.}$$

Потери электроэнергии за день работы ШПМ (18 часов)

$$ПЭ_{день} = 327,5 \cdot 18 = 5895 \text{ кВт}\cdot\text{час.}$$

Потери электроэнергии на одной ШПМ за год (350 рабочих дней)

$$ПЭ_{год} = 5895 \cdot 350 = 2063250 \text{ кВт}\cdot\text{час.}$$

### 2.2. Расчет потерь электроэнергии при осмотрах ствола шахты и канатов

Результаты расчета потерь электроэнергии за один цикл осмотра приведены в Таблице 4.

Согласно данных Таблицы 4 непроизводительные потери электроэнергии на нагрев роторных сопротивлений ПРКС за один прогон сосуда при осмотре ствола шахты и осмотре канатов составляет 580 кВт·час.

Потери электроэнергии за день работы ШПМ (4 прогона сосуда)

$$ПЭ_{день} = 580 \cdot 4 = 2320 \text{ кВт}\cdot\text{час.}$$

Потери электроэнергии на одной ШПМ за год (350 рабочих дней)

$$ПЭ_{год} = 2320 * 350 = 812000 \text{ кВт}\cdot\text{час.}$$

Осмотр ствола шахты	Время сек	Путь м	Средняя скорость м/сек	Относит. усилие о.е.	Сколь- жение о.е.	Мощность ротора×2 кВт	Энергия ротора×2 кВт×час
1. Трогание	1,60	0,32	0,20	1,01	0,97	1654	1
2. Движение с пониженной скоростью	1777,60	533,28	0,30	0,73	0,96	1173	579
3. Стоporение	0,08	0,40	5,00	-0,24	0,33	133	0
4. Всего	1779,28	534,00					580

Таблица 4:

2.3. Суммарные годовые непроизводительные потери электроэнергии в действующем электроприводе ШПМ составляют величину

$$ПЭ_{сум} = 2063250 + 812000 = 2875250 \text{ кВт}\cdot\text{час.}$$

### 3. Снижение потерь электроэнергии при использовании электропривода «ЭРАТОН-ФР»

Электропривод шахтной подъемной машины типа «ЭРАТОН-ФР» разработки и производства ЗАО «ЭРАСИБ» представляет собой частотно-регулируемый электропривод без датчика положения ротора с транзисторным преобразователем частоты (ПЧ), который устанавливается между ротором каждого электродвигателя и питающей сетью 6 кВ 50 Гц в дополнение к ПРКС и СДТ. Структурная схема электропривода ШПМ с преобразователями частоты «ЭРАТОН-ФР» в роторе электродвигателей показана на рис. 1.

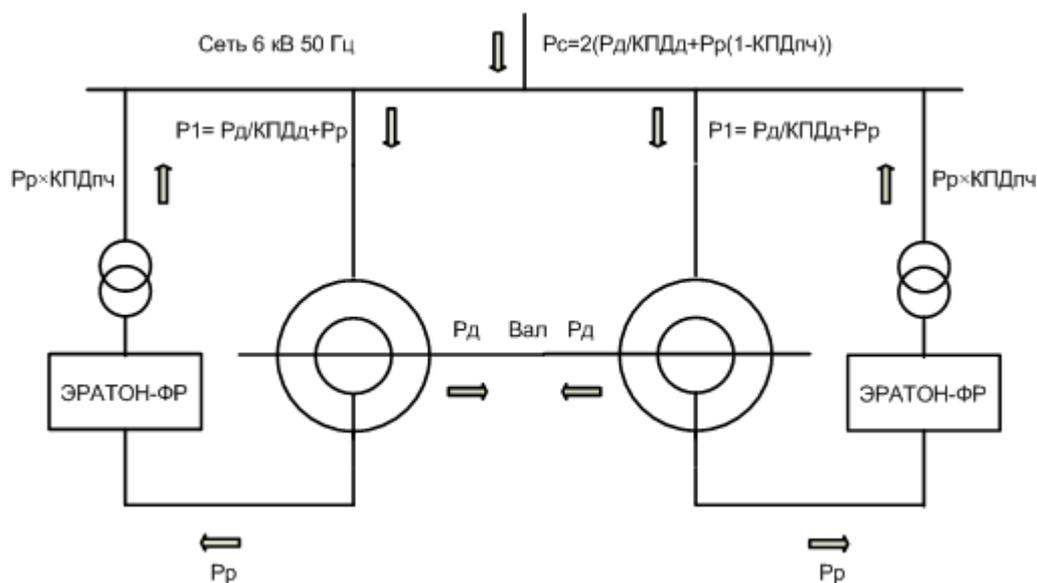


Рисунок 2: Структурная схема электропривода ШПМ с преобразователями «ЭРАТОН-ФР»

При работе шахтной подъемной машины с электроприводом типа «ЭРАТОН-ФР» вся мощность скольжения ротора электродвигателей через преобразователь частоты возвращается в питающую сеть 6 кВ 50 Гц, а не затрачивается на нагрев роторных сопротивлений ПРКС и нагрев электродвигателя при работе СДТ (п.п. 2).

Величину экономии электроэнергии при замене ПРКС и СДТ на электропривод «ЭРАТОН-ФР» можно определить вычтя из суммарных годовых непроизводительных потерь электроэнергии в действующем электроприводе ШПМ (п.п. 2.3) потери электроэнергии в самом преобразователе частоты при передаче мощности скольжения ротора электродвигателей в сеть. При КПД преобразователя частоты 97% экономия электроэнергии составит величину

$$\mathcal{E}_{\text{пч}} = \text{П}\mathcal{E}_{\text{сум}} * 0,97 = 2875250 * 0,97 = 2788990 \text{ кВт}\cdot\text{час}.$$

Кроме того, дополнительный экономический эффект будет достигнут за счет сокращения аварий и поломок оборудования ШПУ за счет использования высокоточного электропривода «ЭРАТОН-ФР», который позволит производить плавный разгон и торможение с точным позиционированием скипа, что исключит удары скипа при ошибках оператора.