

УДК 622.658

А.В. Ляхомский, Е.Н. Перфильева

**ОЦЕНКА УРОВНЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ
ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Семинар № 17

Современное состояние горного производства характеризуется возрастающей долей энергозатрат в стоимости продукции, которая в настоящее время составляет 27-32 %. Постоянный рост цен на топливно-энергетические ресурсы приводит к необходимости улучшения управления энергоресурсами на горных предприятиях. Эффективное управление энергоресурсами, снижение энергозатрат, вследствие улучшения энергоэффективности обеспечивают предприятиям большую конкурентоспособность, увеличение прибыльности, дополнительные источники финансирования, повышение технического уровня производства.

Оценку уровня управления энергоресурсами горных предприятий целесообразно проводить, анализируя организационный профиль, представляющий собой график достижения аспектами энергоменеджмента (энергетической политики, организации, мотивации, информационной системы, маркетинга, инвестиций) определенных уровней развития.

Для оценки текущего состояния управления энергоресурсами горных предприятий целесообразно использовать матричную идентификацию энергетического менеджмента (рис. 1), которая определяет уровни развития его составляющих. Каждой строке матрицы соответствует определенный достигнутый уровень, каждому столбцу матрицы соответствует определенная составляющая энергетического менеджмента на предприятии.

Матрица обеспечивает быстрый, легкий и эффективный способ идентификации уровня развития энергоменеджмента.

Целью использования энергетической матрицы является:

- определение и описание существующих приоритетов в различных аспектах энергетического менеджмента на предприятии;
- выявление альтернативных путей развития энергоменеджмента.

В соответствии с изложенными методическими принципами были выполнены обследования состояния энергоменеджмента на предприятиях Айхальского, Удачинского, и Мирнинского ГОКов АК "Алроса".

Организационный профиль энергоменеджмента на предприятиях АК «Алроса» представлен на рис. 2.

В основу анализа состояния энергоменеджмента были положены экспертные оценки представляющие собой массив данных о достижении составляющими энергоменеджмента определенных уровней.

В качестве эксперта выступили специально обученные специалисты различного технологического профиля и управленческого уровня.

По технологическому профилю группы экспертов были представлены технологическим и энергетическим персоналом.

По управленческому уровню группы экспертов были представлены линейным, средним и старшим персоналом.

Статистики распределений экспертных оценок составляющих энергетического менеджмента предприятий АК «Алроса»

Статистики распределений	Составляющие энергоменеджмента					
	Энергетическая политика	Организация	Мотивация	Информация	Маркетинг	Инвестиции
Удачный ГОК						
Среднее	1,76	1,38	1,42	2,02	1,68	1,42
Медиана	1,50	1,50	1,50	2,00	2,00	1,50
Мода	1,50	1,50	1,00	2,00	2,00	1,50
Асимметрия	0,35	0,97	0,26	-0,28	-0,56	0,95
Экцесс	-0,12	0,27	-1,28	0,18	-0,48	1,12
Стандартное отклонение	0,60	0,52	0,47	0,40	0,57	0,73
Коэффициент вариации	0,34	0,11	0,33	0,20	0,34	0,52
Айхальский ГОК						
Среднее	1,52	1,41	1,35	2,11	1,74	1,50
Медиана	1,50	1,50	1,50	2,00	2,00	1,50
1	2	3	4	5	6	7
Мода	1,50	1,50	1,00	2,00	2,00	1,50
Асимметрия	-0,76	0,28	0,94	0,58	-0,73	-0,61
Экцесс	-1,22	-0,62	-0,31	-0,35	-0,52	0,17
Стандартное отклонение	0,38	0,33	0,63	0,41	0,47	0,41
Коэффициент вариации	0,14	0,11	0,39	0,16	0,22	0,16
Мирнинский ГОК						
Среднее	1,28	1,18	1,26	2,00	1,54	1,76
Медиана	1,50	1,00	1,00	2,00	1,50	2,00
Мода	1,50	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00
Асимметрия	-0,24	0,52	0,59	0,71	0,73	0,52
Экцесс	0,07	0,28	-0,54	-0,02	-0,56	0,23
Стандартное отклонение	0,10	0,14	0,08	0,21	0,37	0,31

Статистики распределений экспертных оценок составляющих энергетического менеджмента сведены в таблицу.

Анализируя эти оценки можно сделать вывод, что общее состояние управления энергоресурсами на предприятиях АК «Алроса» находится с точки зрения современных тенденций энергоменеджмента на недостаточно высоком уровне (от первого до третьего).

Анализ оценок по отдельным аспектам энергоменеджмента показывает, что более

высокие оценки соответствуют составляющей "Информационные системы". Этому соответствует наличие на предприятиях технических средств, контролирующих энергопотребление.

Наиболее низкие оценки имеет составляющая "Организация энергоменеджмента", так как на предприятиях существует стандарт в области повышения энергоэффективности, не разработаны и не интегрированы в управленческо-технологическую цепь структурно-



Рис. 1. Матрица энергетического менеджмента (общая схема)

функциональные схемы энергоменеджмента, не установлено четкое делегирование ответственности за потребление энергоресурсов.

По состоянию энергетического менеджмента на предприятиях АК “Алроса” можно сделать следующие выводы:

1) На предприятиях Компании отсутствует официально утвержденная “Энергетическая политика”, как документ определяющий в области повышения энергоэффективности цели, направления достижений цели, программу, ответственность, каналы подотчетности, ресурсы, планы на ближайший период и т.д.

2) Требуется своего развития и улучшения мотивация персонала, информационное, маркетинговое обеспечение, инвестирование энергоэффективности.

Полученные результаты показывают, что на предприятиях существует значи-

тельный потенциал для повышения уровня управления потреблением энергоресурсов.

Для повышения энергоэффективности горных предприятий необходимо проведение исследований, позволяющих установить закономерности и обосновать методы и способы управления потреблением энергоресурсов.

Для дальнейшего повышения энергоэффективности на предприятиях следует разработать и внедрить систему управления энергетическими ресурсами - систему энергетического менеджмента, включающую в себя следующие компоненты:

1. Энергетическую политику предприятия (организации) – официальную, документально закреплённую декларацию о заинтересованности в энергоэффективном использовании энергии.

2. Систему организации энергоменеджмента – организационную структуру, размещённую на всех уровнях и во всех подразделениях предприятия (организации), задающую функциональные, управ-

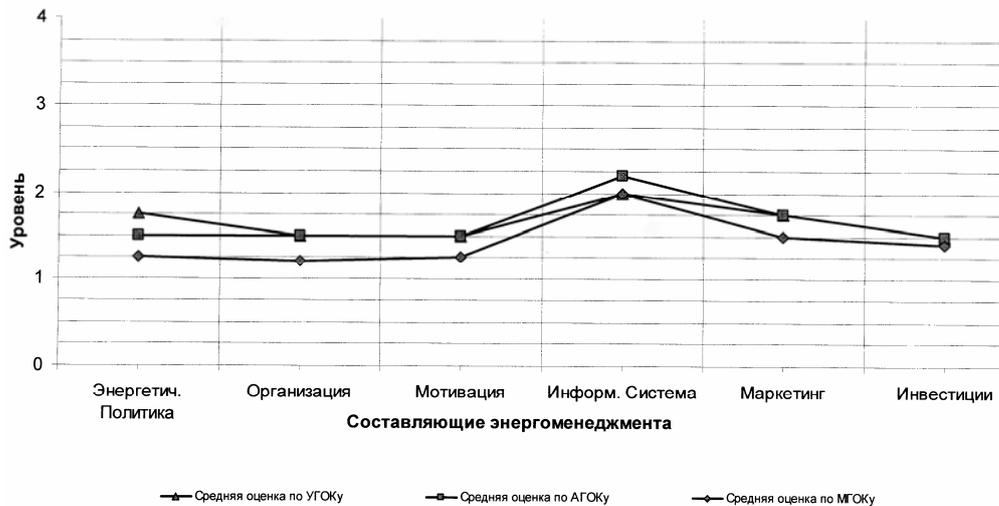


Рис. 2. Организационный профиль энергоменеджмента на предприятиях АК «Алроса»

ленческие, кадровые составляющие энергоменеджмента.

3. Мотивационное обеспечение энергоменеджмента – систему методов, способов, действий, направленную на достижение высокой мотивации персонала.

4. Информационное обеспечение энергоменеджмента – систему получения, обработки и предоставления данных, имеющих значение для потребителей в системе энергоменеджмента и помогаю-

щих им принимать решения по поддержанию и повышению энергоэффективности.

5. Маркетинговое обеспечение энергоменеджмента – систему методов, способов, действий, направленных на выявление, изучение, предоставление, расширение и продвижение услуг энергоменеджмента.

6. Инвестиционное обеспечение – система действий направленных на инвестиционное обеспечение проектов, мероприятий по повышению энергоэффективности производства.

Коротко об авторах

Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н. – Московский государственный горный университет,



Г.И. Бабокин

**ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
В НЕРЕГУЛИРУЕМОМ АСИНХРОННОМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПУТЕМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ
ОБМОТОК СТАТОРА**

Семинар № 17

Системы электропривода (ЭП) с рабочими механизмами потребляют 55-60 % от электрической энергии (ЭЭ) потребляемой предприятием. Электродвигатели приводят в действие вентиляторы, компрессоры, насосы и другое массово применяемое оборудование. Уровень потерь ЭЭ в системах с электроприводом достаточно высок и составляет 20-40 %.

В настоящее время в связи с достижениями силовой и информационной электроники созданы системы регулирования параметров ЭД, которые позволяют согласовывать потребление ЭЭ ЭП с режимом работы рабочего механизма, имея целью минимизацию потерь ЭЭ.

Однако применение этих систем ЭП с регулируемыми параметрами сдерживается по ряду причин: еще низка стоимость кВт×ч ЭЭ; проявляется недостаток знаний и скептицизм в отношении новых технологий; при выборе оборудования не учитывается стоимость всего «жизненного цикла» его применения, включающего стоимость самого оборудования и затрат на его обслуживание.

Если асинхронный ЭП работает с постоянной частотой вращения и постоянной нагрузкой на валу, то вопрос соответствия мощности асинхронного двигателя (АД) и его нагрузки легко выявить расчетным или лучше экспериментальным путем. АД будет работать с оптимальным КПД и коэффициентом мощности, если

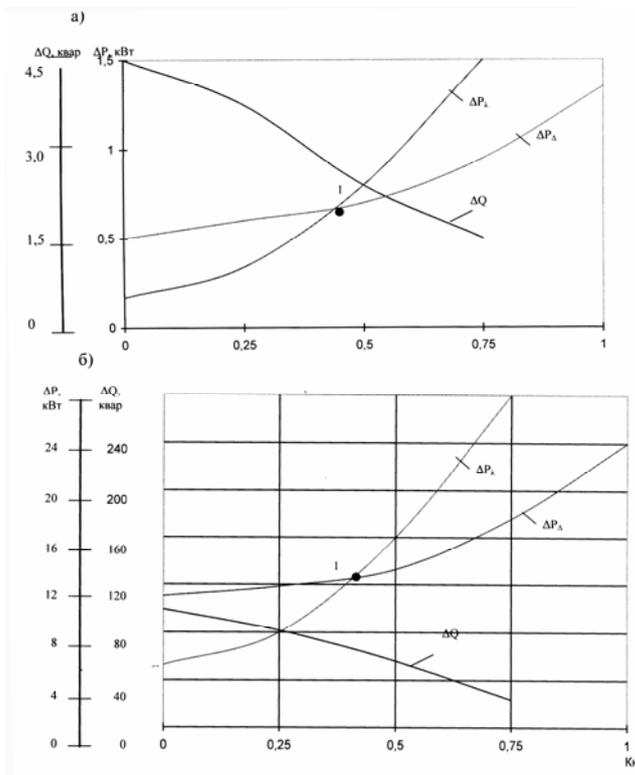
его нагрузка находится в пределах 70-100 % от номинальной мощности [1].

При работе привода с постоянной частотой вращения вала его нагрузка может меняться по разным законам: циклическая нагрузка-чередование холостой хода и номинального режима; переменная случайная нагрузка; нагрузка изменяющаяся по детерминированному закону. Часто АД работает со средней нагрузкой в пределах от 20 до 70 %, номинальной, т.е. с недогрузкой. Основные причины недогрузки АД являются осторожный, с запасом выбор мощности ЭД, и реконструкция механизма, приведшая к снижению нагрузки.

Известно [1, 2], что с уменьшением нагрузки ЭД его энергетические показатели – КПД, $\cos \varphi$, уменьшаются. Т.е. потери активной мощности и потребление реактивной энергии АД увеличиваются.

Одним из путей снижения потерь активной мощности и потребляемой реактивной энергии при недогрузке АД является снижение напряжения на зажимах статора. В этом случае уменьшаются магнитные потери, которые пропорциональны квадрату относительного напряжения, и снижается потребление реактивной мощности.

Регулирование напряжение статора АД возможно дискретно, путем переключения обмоток АД с «треугольника» на «звезду», или плавно, путем включения между сетью и обмоткой статора АД регулятора напряжения.



Рассмотрим возможности экономии ЭЭ при переключении обмоток статора АД с треугольника в звезду. При этом фазное напряжение обмотки статора уменьшается в $\sqrt{3}$ раз, вследствие чего уменьшается ток холостого хода и реактивная мощность намагничивания [2]. При неизменной нагрузке на валу АД, равной номинальной, со снижением напряжения увеличивается ток ротора, возрастает угол сдвига между напряжением сети и приведенным током ротора и, вследствие этого, увеличиваются реактивная мощность рассеяния и активные потери в роторе. Максимальный момент АД уменьшается в три раза, скольжение увеличивается более, чем в три раза. Поэтому в целях сохранения устойчивой работы АД нагрузка должна быть в три раза меньше номинальной. Тогда скольжение будет равно номинальному, а ток ротора уменьшится в $\sqrt{3}$ раз.

Зависимости потерь активной мощности АД (ΔP); экономии реактивной мощности (ΔQ) от коэффициента нагрузки при соединении обмоток статора АД треугольником (Δ) и звездой (λ): а – двигатель мощностью 7,5 кВт; б – двигатель мощностью 310 кВт

Для определения эффективности переключения обмоток статора с треугольника в звезду при недогрузке двигателя рассмотрим изменения активных потерь мощности и реактивной мощности в зависимости от загрузки АД.

На рисунке представлены зависимости потерь активной мощности АД от коэффициента нагрузки двигателя при соединении обмоток АД треугольником или звездой для двигателя мощностью 7,5 кВт, и мощностью 310 кВт [46]. Из анализа зависимостей следует,

что при коэффициенте нагрузки двигателя меньше 0,41-0,44 активные потери при соединении обмоток статора АД звездой становятся меньше, чем при соединении треугольником (точка 1, рис.). При коэффициенте нагрузки АД равном 0,1 активные потери в АД при соединении звездой уменьшаются в 2 раза.

Таким образом, переключение обмоток статора АД с треугольника в звезду целесообразно осуществлять при коэффициенте нагрузки АД в пределах от 0,05 до 0,4. Суммарные активные потери мощности АД уменьшаются за счет снижения магнитных потерь.

Одновременно при переключении обмоток статора с треугольника на звезду снижается потребление АД реактивной мощности, особенно при малых нагрузках. На рисунке представлены зависимости экономии реактивной мощности $\Delta Q = Q_{\Delta} - Q_{\lambda}$ в функции коэффициента нагрузки АД, из которых следует, что в

диапазоне коэффициента нагрузки от 0,05 до 0,4 имеется существенная экономия реактивной мощности. Это позволяет уменьшить потери активной мощности в кабеле между АД и источником питания и

потребуется меньшей емкости компенсирующего устройства.

Современные пускатели реализуют возможность переключения обмотки АД с треугольника в звезду и наоборот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильинский Н.Ф., Рожанковский Ю.В. Горюнов О.А. Энергосбережение в электроприводе. – М.: Высшая школа. - 1989. - 127 с.

2. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. – М.: Энергоатомиздат. - 1984. - 240 с.

Коротко об авторах

Бабокин Г.И. – Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева.



© А.К. Малиновский, П.В. Ткаченко,
2005

УДК 528:621.34

А.К. Малиновский, П.В. Ткаченко

**СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ «АВТОМСОЛСДД.EXE»
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА
МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В РЕЖИМЕ
КОНДЕНСАТОРНОГО ТОРМОЖЕНИЯ
С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ**

Семинар № 17

В работе [1] разработана методика расчёта механических характеристик и определение диапазона регулирования частоты асинхронной машины, работающей в режиме конденсаторного торможения с самовозбуждением. Пред-

ложенная методика расчёта механических характеристик базируется на графоаналитическом методе, в котором используется кривая намагничивания асинхронной машины. Это усложняет процесс расчёта и увеличивает его время, что снижает эф-

Рис. 1. Структура программы «avtomcolcDD.exe»

фективность его практического применения. С целью ускорения расчётов разработана программа, позволяющая упростить и ускорить ведение расчётов благодаря её применению.

Главная идея программы – нахождение величины сопротивления добавочного резистора $R_{доб}$, включённого в выпрявленную цепь тока ротора с целью получения желаемой частоты вращения (скольжения) асинхронной машины (точка пересечения механической характеристики асинхронной машины, работающей в режиме конденсаторного торможения с самовозбуждением, с осью скольжения).

После определения величины сопротивления добавочного резистора $R_{доб}$, строится механическая характеристика асинхронной машины, соответствующая этому сопротивлению. Величина сопротивления добавочного резистора выводится на экран монитора.

На рис. 1 приведена структура «avtomcolcDD.exe» автоматизированного расчёта механических характеристик асинхронной машины в режиме конденсаторного торможения с самовозбуждением.

Назначение блоков и ячеек программы «avtomcolcDD.exe»:

1. Инициализация и ввод начальных условий.

Запускается программа и в ячейки редактирования заносятся параметры асинхронной машины в соответствии с функциональным назначением ячейки.

2. Расчёт дополнительных параметров

Производится расчёт дополнительных параметров, которые могут быть получены посредством введённых в пункте 1 параметров асинхронной машины.

3. Определение необходимой величины сопротивления добавочного резистора



$R_{доб}$, включённого в цепь выпрявленного тока ротора – является ключевым моментом, при котором обеспечивается получение желаемой механической характеристики. В виду своей важности это действие вынесено в отдельный блок. Результат этого расчёта заносится в специальную ячейку интерфейса, имеющую функцио-

Рис. 2. Механическая характеристика $R_{доб} = 1,925 \text{ Ом}$

нальное название «Добавочное сопротивление».

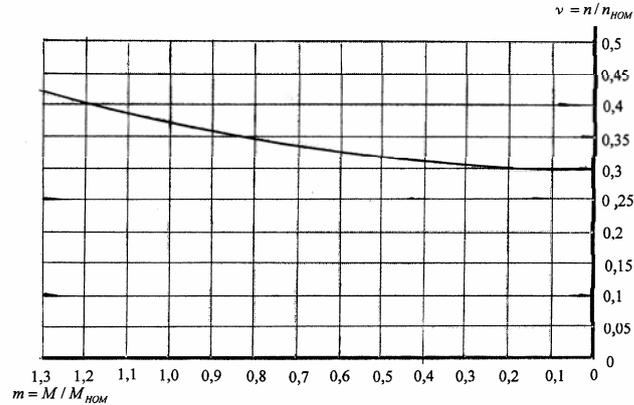
4. Расчёт механической характеристики и её построение в графическом интерфейсе программы

В этом блоке программы производится расчёт двух одномерных массивов данных: скольжения при динамическом торможении $v[i]$ и момента $m[i]$ в относительных единицах. Затем по расчётным данным производится построение графика в графическом интерфейсе программы: по двум массивам данных $v[i]$ и $m[i]$ строятся точки и соединяются между собой. В итоге получается зависимость $v = f(m)$.

5. Распечатывание графика механической характеристики

При наличии принтера можно распечатать полученную зависимость. Для этого необходимо нажать на кнопку «Печать».

Параметры, необходимые для расчёта: $P_{НОМ}$ – номинальная мощность асинхронной машины, Вт; n_0 – синхронная частота вращения асинхронной машины, мин^{-1} ; nzh – желаемая частота вращения, при которой механическая характеристика асинхронной машины пересекает ось ординат (скольжения), мин^{-1} ; $E_{2НОМ}$ – номинальная ЭДС ротора, В; kr – коэффициент приведения сопротивлений; I_{mn} – номинальный ток ротора, А; r_1 – активное сопротивление фазы статора, Ом; $n_{НОМ}$ – номинальная частота вращения, мин^{-1} ; r_2 – актив-



ное сопротивление фазы ротора; X_2 – индуктивное сопротивление фазы ротора, Ом.

Изменяя величину желаемой частоты вращения nzh , получаем величину сопротивления резистора $R_{доб}$. По значению этой величины добавочного резистора строится механическая характеристика в осях:

ось v – скольжение при динамическом торможении:

$$v = n / n_{НОМ},$$

где n – текущая частота вращения асинхронной машины, мин^{-1} ;

ось x_2 – момент на валу асинхронной машины, выраженный в относительных единицах:

$$m = M / M_{НОМ},$$

где M – текущий момент на валу асинхронной машины, $\text{Н} \cdot \text{м}$; $M_{НОМ}$ – номинальный момент асинхронной машины, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

На рис. 2 приведена механическая характеристика асинхронной машины, работающей в режиме конденсаторного торможения с самовозбуждением, рассчитанная для частоты вращения $nzh = 300 \text{ мин}^{-1}$ или $\underline{v} = 0,3$ и соот-

ветствующая величине сопротивления добавочного резистора $R_{доб} = 1,925$

Ом. Расчёт проводился для асинхронной машины типа МТФ 112-6 мощностью $P_{ном} = 5$ кВт.

Задаваясь новым значением необходимой величины частоты вращения асинхронной машины, определяется величина сопротивления добавочного резистора $R_{доб}$ и строится механическая характеристика соответствующая этому сопротивлению.

В программу заложена кривая намагничивания асинхронной машины типа МТ. Следовательно, если необходимо произвести расчёт механической характеристики асинхронной

кривой намагничивания, соответствующей типу машины. Для этого необходимо заменить значения массивов *double* E_{fd} [A_{max}] и *double* I_{md} [A_{max}] (значения в относительных единицах ЭДС фазы статора и тока намагничивания соответственно; A_{max} – постоянная типа *int*, необходимая для задания величины массива).

Заключение

Программа «avtomcolcDD.exe» обеспечивает автоматизированный расчёт величины сопротивления добавочного резистора, включённого в выпрямленную цепь асинхронной машины, работающей в режиме конденсаторного торможения с самовозбуждением, при заданной частоте её вращения с построением механической характеристики, что позволяет производить эти операции с минимальными затратами времени.

машины другого типа, то нужно откомпилировать программу с учётом другой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малиновский А.К., Лебедев С.В., Ткаченко П.В., Решетняк С.Н. Методика расчёта механических характеристик и определение диапазона регулирования скорости асинхронного двигателя, работающего в режиме динамического торможения с самовозбуждением. – М.: Изд-во МГГУ. ГИАБ №12, 2003. – С. 181-184.

Коротко об авторах

Малиновский А.К. – профессор, доктор технических наук,
Ткаченко П.В. – аспирант,
Московский государственный горный университет.



