

С.Н. Мазур

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Одни из наиболее энергоемких потребителей на угольных шахтах – подъемные установки (ПУ). По данным, представленным в [1–4], на подъем затрачивается от 8 до 20% всей электроэнергии, потребляемой шахтой.

Существующие методы определения расчетной мощности электроприемников (в большинстве – коэффициентные методы) основаны на знании установленной мощности.

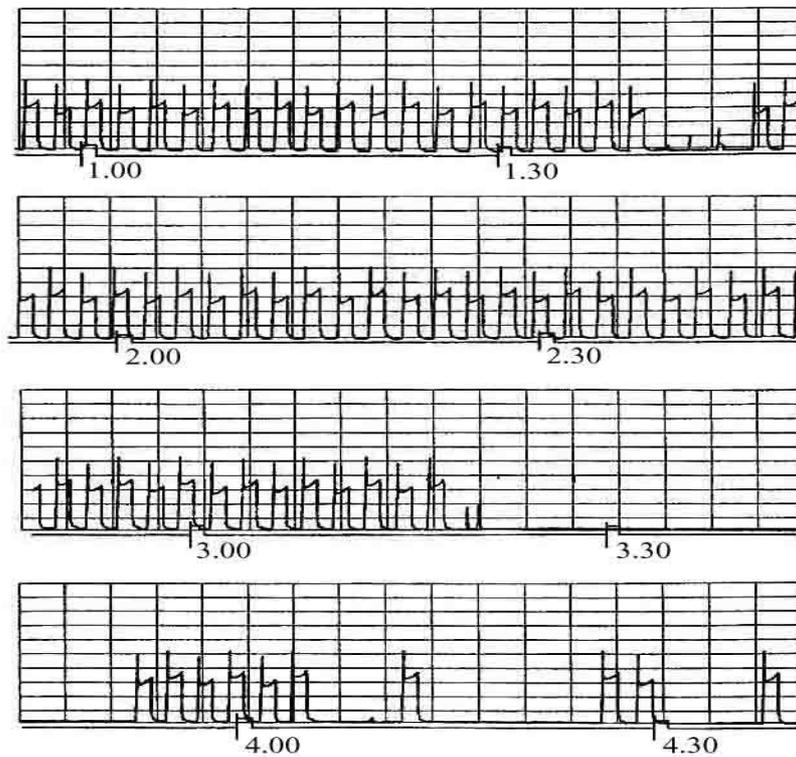
Для расчета электрических нагрузок угольных шахт в настоящее время используется метод коэффициента спроса (ВСН 12.25.003–80)[5]. Он достаточно прост и предполагает определение расчетной мощности путем умножения коэффициента, численно меньшего единицы, на величину установленной мощности. Значения коэффициентов для расчета нагрузки подъемных установок находятся в пределах $0,6 \div 0,8$. Какие либо рекомендации относительно выбора значений коэффициентов отсутствуют. Известны случаи применения в проектной практике коэффициентов, не входящих в указанный интервал (как правило, больших, чем верхняя рекомендуемая граница).

Метод коэффициента спроса разработан применительно к группе электроприемников (ЭП) напряжением до 1000 В, когда невозможно учесть режим работы каждого ЭП и сформировать общий график электрической нагрузки (ГЭН) для этой группы. При определении максимума нагрузки узлов используют коэффициент одновременности максимумов. Расчет мощности одиночных ЭП напряжением выше 1000 В необходимо выполнять отдельно в силу технологических особенностей их работы. Теоретически, для одиночных ЭП мощность можно рассчитать посредством коэффициента использования. Такая практика имела место в проектных институтах. Следует отметить, что коэффициент использования, который всегда меньше либо равен единице, по сути – коэффициент спроса и такой подход не приведет к повышению точности расчетов.

Результатом работы в направлении совершенствования методов расчета электрических нагрузок ЭП напряжением выше 1000 В явилось признание того, что применять метод коэффициента спроса можно только для укрупненных расчетов, а определять мощность следует по методу технологического графика [6, 7], который дает наиболее точные результаты. На практике указанный подход не нашел применения в силу громоздкости расчетов, требующих наличия специфических данных. В частности, для ПУ необходимы диаграммы усилий и скоростей, которые не всегда доступны.

В результате экспериментальных исследований графиков электрической нагрузки ПУ некоторых шахт было установлено, что расчетная нагрузка существенно завышена по сравнению с фактической. На рисунке представлена ос-

циллограмма электропотребления двухскипового угольного подъема шахты "Западно-Донбасская". Усредняя данный график с интервалом 30 мин, получаем ступенчатый график нагрузки, который характеризуется большой неравномерностью. Мощность на промежутке времени 1.00÷1.30 ч будет максимальной, т.е. должна соответствовать величине расчетной мощности. Однако результаты замеров мощности свидетельствуют о значительной ошибке расчета, которая составляет 165,4%.



Фрагмент осциллограммы электропотребления двухскипового угольного подъема шахты "Западно-Донбасская"

Это является следствием несовершенства метода расчета, который не учитывает "человеческий фактор": при проектировании закладывается определенный запас мощности двигателя ПУ. Также немаловажными факторами для ПУ с приводными двигателями постоянного тока являются: замена подъемных сосудов и изменение скорости движения. В результате обоих мероприятий мощность снижается. Очевидно, это можно учесть поправочными коэффициентами, но проблема заключается в их определении.

На мощность двигателя ПУ, а следовательно и на расчетную мощность, практически в той или иной степени влияют все параметры – от глубины шахты до системы уравнивания. Однако довольно сложной задачей является учет всех параметров при определении расчетной мощности коэффициентными методами.

Для определения мощности двигателя ПУ $P_{дв.р}$, кВт, используется следующее выражение:

$$P_{\text{дв.р}} = \frac{F_{\text{экв}} v_{\text{max}}}{1000 \eta_{3.n}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{экв}}$ – эквивалентное усилие на окружности барабана, Н; v_{max} – максимальная скорость движения сосудов, м/с; $\eta_{3.n}$ – КПД зубчатой передачи.

Как видно из формулы (1), мощность двигателя подъемной установки зависит от эквивалентного усилия на окружности барабана $F_{\text{экв}}$ и максимальной скорости движения сосудов v_{max} . Для подъемов с неуравновешенной системой характерно намного большее стартовое усилие, а следовательно и момент, по сравнению со статически уравновешенной системой. Это может обусловить необходимость выбора двигателя большей мощности по опрокидному моменту, при этом мощность, рассчитанная по эквивалентному усилию, будет меньшей.

Эквивалентное усилие определяется грузоподъемностью сосудов Q_c , которая находится в тесной взаимосвязи с производительностью ПУ $A_{\text{ПУ}}$. Максимальная скорость зависит от высоты подъема (глубины шахты) H_c и длительности цикла подъема $T_{\text{ц}}$ (которая рассчитывается по заданной грузоподъемности и производительности ПУ), с учетом ограничений. Это необходимо учитывать при анализе режимов работы действующих ПУ.

В связи с тем, что фактическая добыча большинства шахт в период эксплуатации меньше принятой в проекте (незаконченное строительство новых блоков, отработка не всех участков и др.), производят замену скипов на меньшие. Соответственно снижаются усилия на барабанах и, как следствие, потребление энергии за цикл подъема. При равенстве времени цикла до и после замены скипов мощность также будет меньшей. Замену двигателя при этом не производят.

В процессе эксплуатации вследствие динамики горного массива и других причин по технике безопасности нужно ограничить максимальную скорость подъема. Для анализа изменения мощности при снижении скорости необходимо разделять ПУ по типу привода. Для систем Г–Д (генератор–двигатель) или ТП–Д (тиристорный преобразователь–двигатель), которые характеризуются потреблением электроэнергии пропорционально усилию и скорости, мощность за цикл будет меньше. При этом сохраняется равенство энергии за цикл до и после изменения скорости.

Мощность системы АФ–РА (асинхронный двигатель с регулируемым ступенчато активным сопротивлением резистора в цепи фазного ротора) зависит от максимальной скорости подъема и не снижается во время движения с пониженной скоростью, поскольку в цепь ротора включены сопротивления. Снизить максимальную скорость можно: заменой редуктора; заменой двигателя; введением в цепь ротора постоянных сопротивлений. На практике первый способ не применяется, поскольку выпускаемые редукторы имеют стандартные передаточные числа, которые зачастую не соответствуют требуемым, полученным в результате пересчета. Двигатели также не меняют. В результате получается, что скорость снижена, время цикла больше, а потребление энергии увели-

чивается при равенстве мощностей до и после изменения скорости (в связи с уменьшением скорости и увеличением длительности цикла).

Автором предложены зависимости для определения мощности ПУ, учитывающие систему уравнивания и привода, высоту подъема, максимальную скорость и длительность цикла, грузоподъемность скипов [8, 9].

Для ПУ с приводом по системе АФ–РА рекомендуется пользоваться следующим выражением:

$$P = 12,64 \frac{Q_c v_{\max} n T_{\text{дв}}}{T_{\text{оср}} \eta_{\text{дв}}}, \quad (2)$$

где 12,64 – обобщенный коэффициент, включающий ускорение свободного падения, ствольное сопротивление подъему, КПД зубчатой передачи; $T_{\text{дв}}$ – время движения скипов, с; $T_{\text{оср}}$ – интервал осреднения, с; n – количество циклов подъема за интервал осреднения; $\eta_{\text{дв}}$ – номинальный КПД приводного двигателя.

Для ПУ с приводом по системе Г–Д и ТП–Д:

$$P = 11,3 k_k \frac{n Q_c H}{T_{\text{оср}} \eta_c}, \quad (3)$$

где 11,3 – обобщенный коэффициент, включающий ускорение свободного падения и ствольное сопротивление подъему; η_c – КПД приводной системы; k_k – корректирующий коэффициент: $k_k = 1 + k v_{\max} \eta_c \frac{\theta}{H}$ (для Г–Д $k = 0,058$, для ТП–Д – 0,02, θ – длительность паузы, с).

В табл. 1, 2 приведены данные расчетов мощности двухскиповых угольных ПУ шахт "Западно-Донбасская" и "им. Сташкова" по методу коэффициента спроса, технологического графика и по предложенным выражениям в сравнении с фактическими значениями, полученными путем непосредственного замера получасовой мощности при непрерывной работе установки в течение указанного интервала времени. При определении отклонений мощности за базовую была принята фактическая мощность.

Расчетная мощность по методу коэффициента спроса взята из проектов соответствующих шахт; по технологическому графику – рассчитана с применением диаграмм усилий и скоростей соответствующих ПУ.

Таблица 1

Данные расчетов (замеров) мощности двухскиповой угольной ПУ шахты "Западно-Донбасская" (грузоподъемность 15 т, высота подъема 580 м, максимальная скорость 10,5 м/с)

Метод расчета	Тип привода	$P_{уст}$, кВт	P , кВт	ΔP , %
Фактическое значение (замер)	ТП–Д	3250	1041	–
По коэффициенту спроса ($K_c=0,85$)			2762,5	165,4
В соответствии с технологическим графиком			1061,5	1,9
Предложенный автором			1080,3	3,8

Примечание: 1. Значения мощности получены для ПУ с установленными скипами грузоподъемностью 15 т (мощность двигателя была рассчитана на 20 т); 2. Замеры производились при системе привода Г–Д (в последствии была заменена на ТП–Д)

Таблица 2

Данные расчетов (замеров) мощности двухскиповой угольной ПУ шахты "им. Сташкова" (грузоподъемность 9 т, высота подъема 248 м, максимальная скорость 6,8 м/с)

Метод расчета	Тип привода	$P_{уст}$, кВт	P , кВт	ΔP , %
Фактическое значение (замер)	АФ–РА	1600	692	–
По коэффициенту спроса ($K_c=0,85$)			1312	89,6
В соответствии с технологическим графиком			717,8	3,7
Предложенный автором			716,2	3,5

Как видно из таблиц, отклонения значений мощности, полученных методом коэффициента спроса, очень большие. Анализ расчетов, проведенных для ПУ других шахт, указывает на отсутствие какой-либо связи величины отклонения с системой уравнивания или типом привода, что не позволяет произвести корректировку мощности введением коэффициентов.

Расчет мощности ПУ по формулам (2) и (3) дает погрешность, которая находится в допустимых пределах ($\pm 10\%$). При этом отсутствует необходимость использовать диаграммы усилий и скоростей, расчет по которым является довольно громоздким.

Таким образом, предложенные зависимости позволяют с достаточной точностью определить мощность, осредненную за любой интервал времени. Этот момент наиболее актуален при регулировании режимов электропотребления, когда нужно знать мощность на каждом интервале осреднения для определения экономического эффекта от регулирования.

Список литературы

1. Алябьев Н.М., Ефремов В.К. Экономия электроэнергии на угольной шахте. – М.: Недра, 1969. – 170 с.

2. Эффективное использование электроэнергии и топлива в угольной промышленности / Н.И. Волощенко, Э.П. Островский, В.И. Мялковский и др. под ред. Э.П. Островского, Ю.П. Миновского. – М.: Недра, 1990. – 407 с.
3. Пивняк Г.Г., Заика В.Т., Разумный Ю.Т. О нормировании погрешности в расчетах электрических нагрузок промышленных предприятий // Электричество. – 1988. – №6. – С. 66–69.
4. РТМ 07910118–85. Снижение затрат электроэнергии при проектировании и эксплуатации действующих подъемных установок. – Донецк: Минуглепром СССР, 1985. – 78 с.
5. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках // Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок, – 1968, – № 6, – С. 3–17.
6. Инструкция по проектированию электроустановок угольных шахт, разрезов, обогатительных и брикетных фабрик. – М.: Минтопэнерго РФ, 1993. –115 с.
7. Супрунов В.Ф. Об экономичности подъемных установок с приводом Г–Д // Уголь Украины. – 1979. – №6. – С. 29–30.
8. Разумный Ю.Т., Мазур С.Н. Определение мощности шахтной подъемной установки с приводом АФ–РА // Гірничя електромеханіка та автоматика. Наук.-техн. зб. – 2004. Вип. 72. – С. 33–39.
9. Разумный Ю.Т., Мазур С.Н. Определение мощности подъемных установок с приводом по системе Г–Д, участвующих в регулировании режимов электропотребления // Наук. вісник НГУ. – 2004. – №9. – С. 81–84.