

УДК 622.272:621.3.016

А.В. Рухлов, канд. техн. наук, Ю.А. Мишанский

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Введение. Шахтные подъемные машины относятся к установкам циклического действия, режим работы которых характеризуется рядом последовательно повторяющихся циклов. Каждый рабочий цикл представляет собой чередование неустановившегося (пуск, разгон, торможение) и установившегося (движение с постоянной скоростью) режимов работы.

Непосредственно количество циклов подъема в сутки зависит от многих факторов, основными из которых являются глубина обслуживаемого горизонта, грузоподъемность скипа и диаграмма скорости движения подъемного сосуда за цикл подъема (тахограмма подъема), которая наиболее полно отражает кинематический режим подъемной системы. Вид реализуемой в каждом конкретном случае диаграммы скорости зависит от ряда особенностей подъемной установки (ПУ) и, в первую очередь, от технологической схемы, типа сосуда, способа его разгрузки и системы электропривода подъемной машины.

Цель работы – определение фактических показателей режимов электропотребления подъемных установок с регулируемыми системами электропривода.

Изложение основного материала. Технологический расход электроэнергии, потребляемой подъемной установкой за расчетный период, зависит от высоты подъема и массы поднимаемого груза [1]:

$$W_{i\phi} = \frac{\hat{E}_i \hat{E}_a \hat{E}_{\text{нв}} \alpha_{\phi} G_i \dot{I}_i}{\eta_i},$$

где $K_n = 2,95 \cdot 10^{-3}$ – коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на собственные нужды подъема и перевод исходных величин в систему СИ; K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий дополнительный расход электроэнергии на подъем и спуск людей, оборудования и материалов: $K_{\phi} = 1,0$ – для угольного и породного подъемов, $K_{\phi} = 1,2$ – для одного обслуживаемого горизонта и одноэтажных клетей, $K_{\phi} = 1,25-1,3$ – для нескольких обслуживаемых горизонтов или многоэтажных клетей; $K_{c\phi}$ – коэффициент сопротивления движению: $K_{c\phi} = 1,15$ – для скиповых и $K_{c\phi} = 1,2$ – клетевых подъемов, $K_{c\phi} = 1,15-1,5$ – для наклонных подъемов в зависимости от угла наклона и длины выработки; α_{ϕ} – фактический множитель скорости движения; G_n – общий вес поднимаемого за расчетный период груза, т; H_n – высота подъема, м; $\eta_n = \eta_p \eta_{\phi} \eta_c \eta_{np}$ – КПД подъемной машины, где η_p , η_{ϕ} , η_c и η_{np} – соответственно КПД редуктора, двигателя, электрической сети и преобразователя электроэнергии при его наличии.

Множитель скорости для ПУ с цилиндрическим барабаном определяется в зависимости от скорости сосуда и продолжительности подъема:

$$\alpha_{\phi} = \frac{V_{\max} \dot{O}_i \sin \beta}{\dot{I}_i},$$

где V_{\max} – максимальная скорость движения подъемного сосуда, м/с; T_n – продолжительность одного цикла подъема, с; β – угол наклона ствола, для вертикального подъема $\sin \beta = 1$.

Минимальным расходом электроэнергии будет характеризоваться режим работы подъемной машины, при котором значение множителя скорости стремится к 1 (критерий минимума). Это достигается при применении современных эффективных систем электропривода, которые позволяют регулировать ускорение и замедление в неустановившихся периодах тахограммы подъема. Однако в этом случае следует соблюдать их допустимые значения, которые приведены в нормативных документах, таких как Правила безопасности, Правила технической эксплуатации и др.

С энергетической точки зрения основным достоинством применения системы регулируемого электропривода является экономия электроэнергии, величина которой может достигать 15–30% по сравнению с применением "традиционного" реостатного регулирования скорости подъема. Кроме того, такие системы имеют и ряд других преимуществ [2]:

- повышение безопасности, надежности и бесперебойности работы ПУ, что обеспечит нормальную ритмичную работу всего предприятия;

- более точное и плавное регулирование частоты вращения электродвигателя позволяет отказаться от использования редукторов и другой регулирующей аппаратуры, что значительно упрощает механическую (технологическую) схему, повышает ее надежность и снижает эксплуатационные расходы;

- регулируемый пуск управляемого двигателя обеспечивает его плавный без повышенных пусковых токов и механических ударов разгон, что снижает нагрузку на двигатель и, соответственно, увеличивает срок его эксплуатации;

- повышение производительности ПУ на 10–15% за счет строгого соблюдения заданной тахограммы подъема, выдерживания пауз между циклами при загрузке-разгрузке скипов, автоматизации вспомогательных операций (контроль заполнения бункера-дозатора, взвешивание дозы для загрузки скипов и др.);

- визуальный контроль большого количества технологических и электрических параметров и характеристик ПУ (например, положение скипа в стволе, количество циклов за сутки, изменение значений питающего напряжения и тока).

К основным недостаткам применения систем регулируемого электропривода на базе тиристорных преобразователей можно отнести:

- генерирование значительных электромагнитных помех, которые проявляются в искажении синусоидальной формы кривых напряжения и тока питающей сети;

- низкий коэффициент мощности, особенно при глубоком регулировании, что проявляется в значительном потреблении реактивной мощности;

- возможное уменьшение коэффициента полезного действия и срока службы двигателей, дополнительные потери мощности и энергии, связанные с ухудшением качества электроэнергии;

- значительные капитальные затраты и др.

Наличие существенных преимуществ применения преобразователей энергии обусловило их широкое внедрение в системы электропривода различных технологических процессов, в том числе и для ПУ угольных шахт. На рис. 1 приведены фактические суточные графики электрических нагрузок (ГЭН) угольных скиповых подъемов с системами регулируемого электропривода КТЭУ на базе двигателя постоянного тока (ДПТ) мощностью 4000 кВт (*а*) и АТК на базе двух асинхронных двигателей (АД) мощностью 400 кВт каждый (*б*).

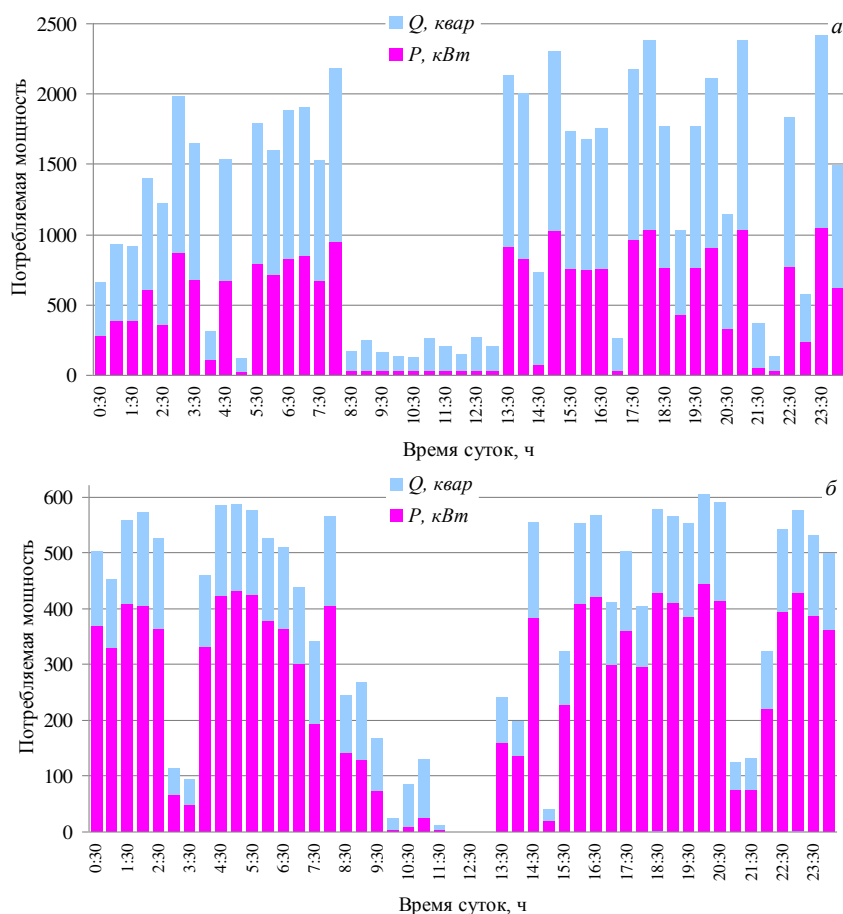


Рис. 1. Фактические суточные ГЭН угольных подъемов с системами КТЭУ (*а*) и АТК (*б*)

Для двигателя с системой АТК характерно подключение к сети 6 кВ и статора (напрямую) и ротора (через трансформатор). Поэтому на рис. 2 приведены диаграммы активной и реактивной мощностей с накоплением результата отдельно для статора и ротора двигателя с целью оценки их доли в общем значении электропотребления (угольная скиповая ПУ с системой АТК на базе АД 800 кВт). Кроме того, на ГЭН не показан объем генерируемой электроэнергии за счет ее рекуперации в сеть (что характерно для каскадных схем), так как величина генерируемой активной мощности не превышает 1–2% от потребляемого значения.

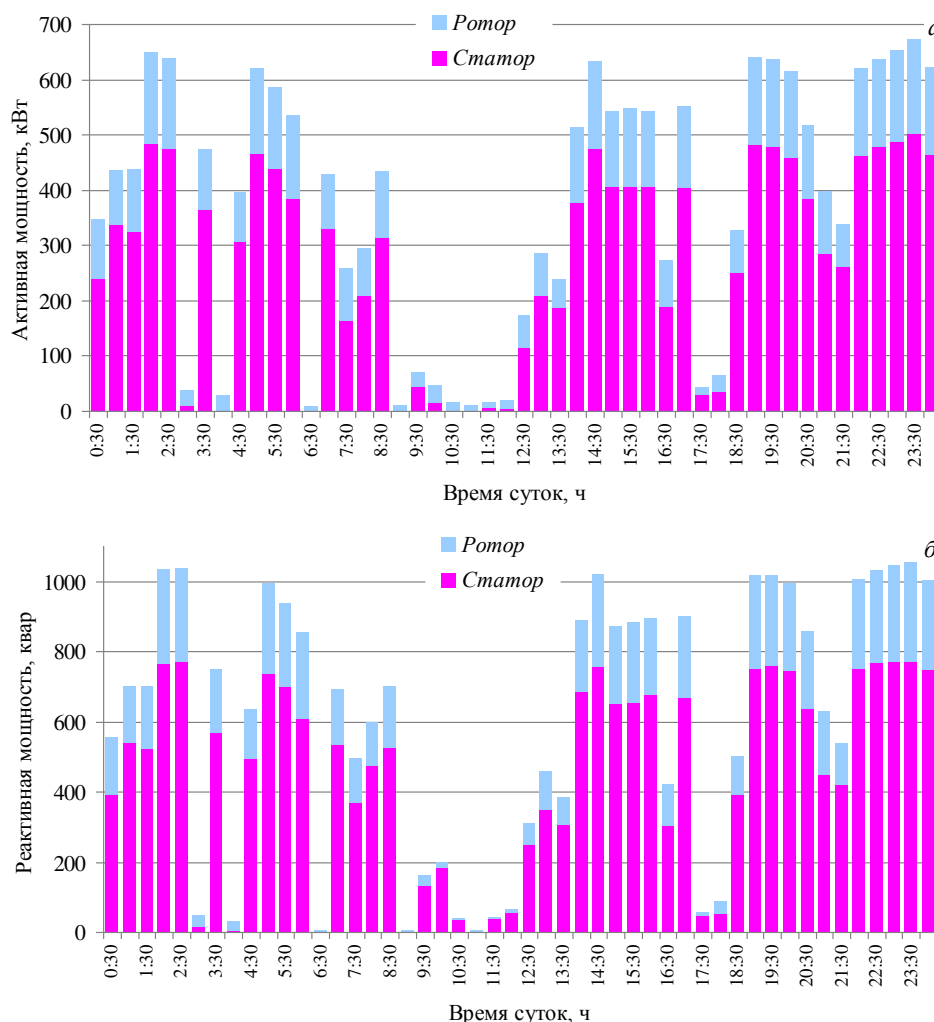


Рис. 2. Фактические суточные графики активной (а) и реактивной (б) нагрузок УП с системой АТК 800 кВт

Данные рис. 1 и 2 говорят о существенной неравномерности ГЭН угольных подъемов (среднее значение коэффициента формы $k_{\phi} = 1,2 - 1,25$), определяемой разным количеством циклов подъема за полу-часовой интервал (среднеквадратичное отклонение достигает 30% от номинальной мощности двигателя); характерном низким уровне электропотребления в ремонтную смену, вызванном отсутствием транспортируемого угля из-за перерыва в ведении добычных работ; превышении потребления реактивной мощности по сравнению с активной (особенно для ДПТ), которое определяет низкое среднее значение коэффициента мощности на уровне $0,3 - 0,55$.

Подтвердить последний недостаток наглядно помогут фрагменты замеров в виде кривых изменения энергетических показателей в характерных циклах работы главных ПУ с различными системами электропривода, приведенные на рис. 3. Форма кривых изменения мощности и $\cos\phi$ свидетельствуют о значительном потреблении реактивной мощности в периоды неустановившегося движения скипа, т.е. в процессе его разгона, торможения и разгрузки. В это время ее величина в 1,5–2 раза больше потребляемой активной мощности, причем для системы АТК соответствующие значения больше. В процессе установившегося движения скипа набросов потребления реактивной нагрузки не наблюдается, а ее величина сравнима с активной. Приведенные фрагменты изменения фактических энергетических показателей еще раз подтверждают, что "глубокое" регулирование технологических параметров стационарных установок с помощью тиристорных преобразователей значительно снижает коэффициент мощности.

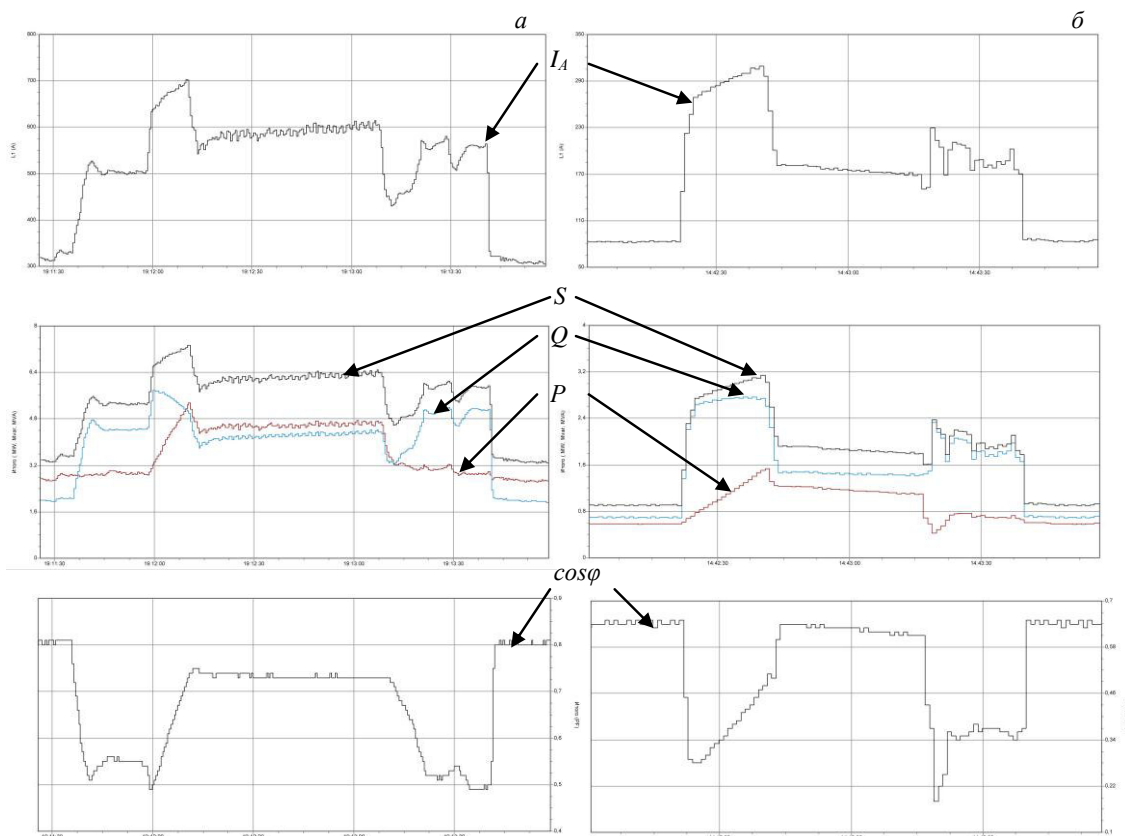


Рис. 3. Изменение энергетических параметров в циклах УП с системами ЭТЦ (а) и АТК (б)

На рис. 4 приведены фактические суточные ГЭН породного (а) и людского (б) подъемов с

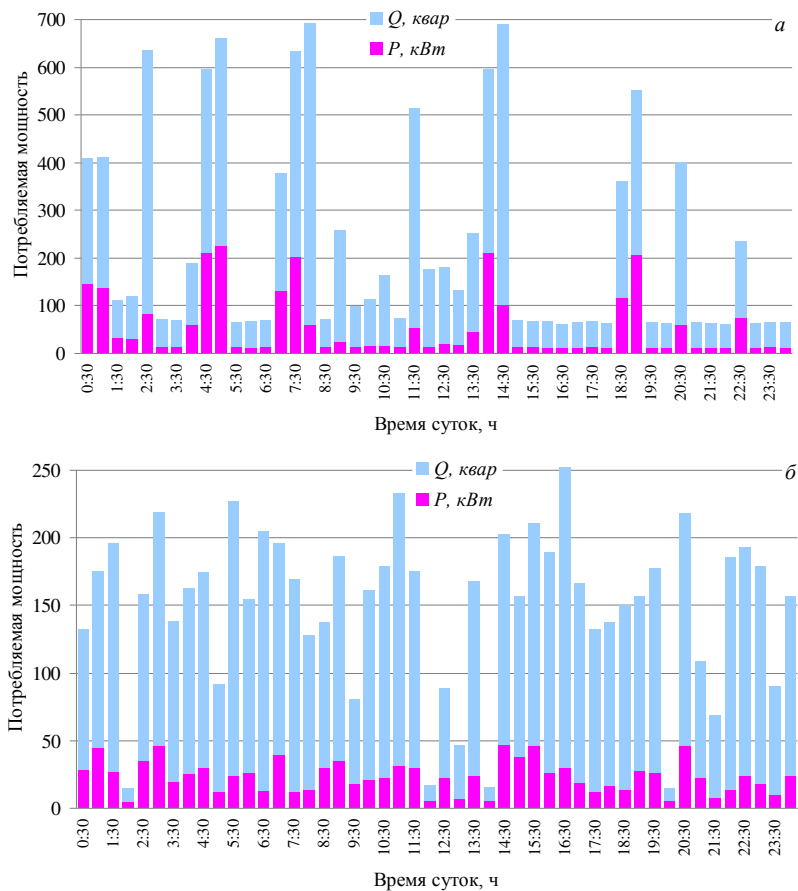


Рис. 4. Фактические суточные ГЭН породного (а) и людского (б) подъемов с системами КТЭУ

системами регулируемого электропривода типа КТЭУ на базе ДПТ мощностью 1200 и 900 кВт соответственно. Кривые свидетельствуют о значительной неравномерности ГЭН рассматриваемых подъемов, особенно породного ($k_{\phi} = 1,6$), определяемой малой загрузкой технологического процесса выдачи породы; повышении нагрузки людского подъема, особенно в периоды пересменок ($8^{00}-9^{00}$, $14^{00}-15^{00}$, $20^{00}-21^{00}$, $2^{00}-3^{00}$), вызванном интенсификацией процесса спуска-подъема людей. Все это говорит о значительном превышении потребления реактивной мощности по сравнению с активной (относительно угольных подъемов), которое определяет очень низкое среднее значение коэффициента мощности на уровне $0,15 - 0,25$.

На рис. 5 рассмотрены кривые изменения энергетических показателей в характерном цикле работы породной подъемной установки, вид которых также подтверждает значительное потребление реактивной мощности, особенно в периоды неустановившегося движения скипа. Породный подъем – односкиповой (в отличие от двухскипового угольного), поэтому и формы их циклов существенно различаются (см. рис. 3 и 5). Соответственно отличаются и режимы электропотребления: реактивная нагрузка для породного подъема значительно выше активной во всех периодах цикла, кроме паузы (даже в установившихся режимах движения).

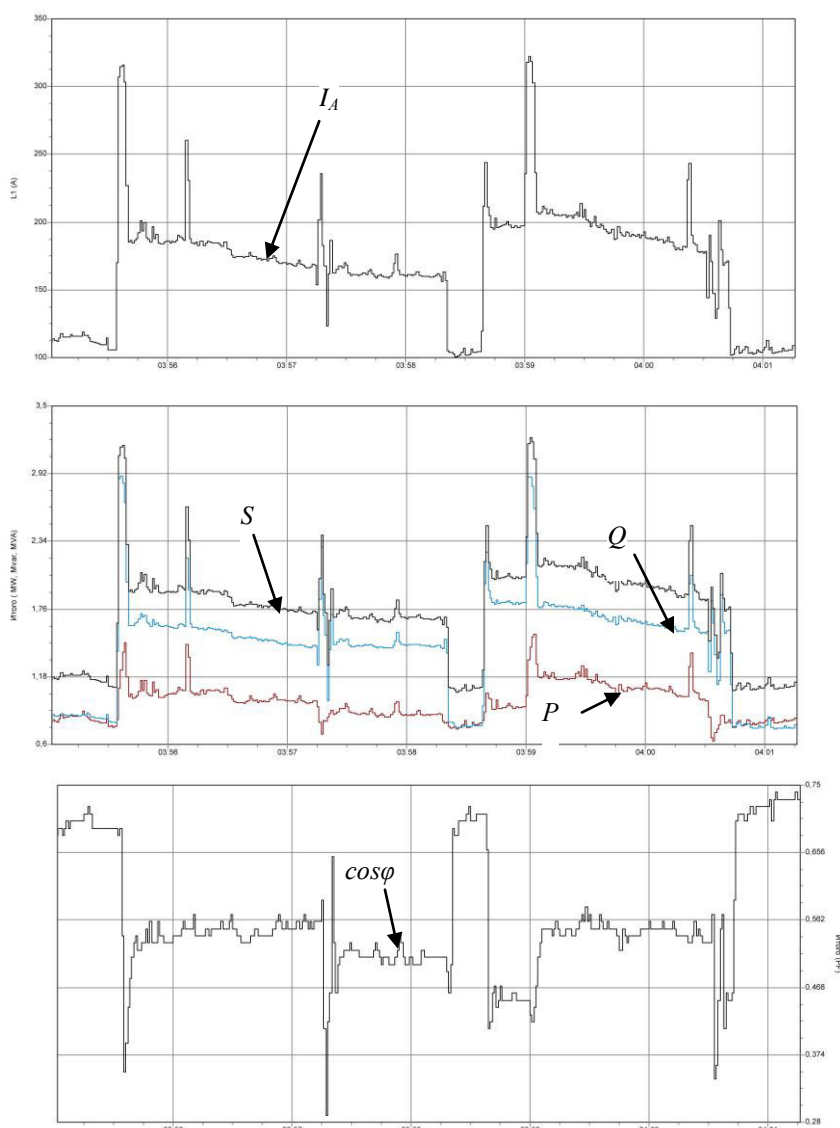


Рис. 5. Изменение энергетических параметров в цикле породного подъема с системой КТЭУ

Выводы

1. Анализ фактических режимов электропотребления угольных подъемов с системами регулируемого электропривода на базе ДПТ и АД свидетельствует об их значительной неравномерности ($k_{\phi} = 1,2 - 1,25$), которая определяется разным количеством циклов подъема за осредняемый получасовой интервал, что вызвано неравномерным поступлением угля в загрузочное устройство. При этом среднеквадратичное отклонение активной мощности достигает 30% от номинального значения для двигателя. Под-

тверждается характерный низкий уровень электропотребления в ремонтную смену, вызванный отсутствием транспортируемого угля из-за перерыва в ведении добычных работ.

2. Режимы работы подъемных установок с системами регулируемого электропривода на базе тиристорных преобразователей характеризуются низкими значениями коэффициента мощности – потребление реактивной мощности и энергии на суточном интервале значительно больше активной. Установлены фактические средние значения коэффициента мощности для суточных графиков электрических нагрузок подъемов: угольных – 0,3 – 0,55 (меньшие значения относятся к ДПТ, большие – к АД), породных и людских на базе ДПТ – 0,2.

Список литературы

1. ДСТУ 3224–95. Енергозбереження. Методи визначення норм витрачання електроенергії гірничими підприємствами. – Введ. 1997-07-01. – К.: Держстандарт України, 1996. – 55 с.
2. Автоматизований електропривід машин та установок шахт і рудників: навч. посіб. / К.М. Маренич, Ю.В. Товстик, В.В. Турупалов та ін. – Донецьк: ДВНЗ "ДонНТУ", 2012. – 245 с.

Рекомендовано до друку проф. Разумним Ю.Т.

УДК 622.272:621.3.026.4

Д.О. Кошевой

(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ "Национальный горный университет")

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Введение и постановка задачи. Электрические нагрузки являются исходными данными для решения сложного комплекса технических и экономических вопросов, возникающих при проектировании систем электроснабжения шахт. Выполненный анализ большого объема статистического материала по фактическим нагрузкам угольных шахт и, в частности, основных энергоемких потребителей подтверждает необходимость и важность определения величины расчетных нагрузок как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации шахты. Это объясняется тем, что от выбранного метода расчета электрических нагрузок и от корректно полученных результатов будут зависеть величины как капитальных, так и эксплуатационных затрат.

Методам определения электрических нагрузок промышленных предприятий и анализу их графиков посвящено большое количество работ [1–13], в том числе и для угольных шахт [6–11], в которых отражены не только теоретические, но и практические результаты по данному направлению. Помимо этого также разработаны и нормативные документы, определяющие методы и сам порядок расчета электрических нагрузок [13–15]. К фундаментальным, например, можно отнести работы Г.М. Каялова, В.И. Гордева, Ю.А. Фокина, Е.М. Куренного [1–4].

При определении электрических нагрузок угольной шахты важно знать, какие электроприемники более всего влияют на суммарную потребляемую мощность, после чего выбирают необходимый метод, на основании которого и выполняется расчет. Анализируя в процентном соотношении потребление мощности по угольной шахте, прослеживается следующее [12]:

- электроприемники до 1000 В, к которым можно отнести подземное и поверхностное освещение, магистральный конвейерный транспорт, очистные и подготовительные забои, котельную, склады и вспомогательные цеха, суммарно потребляют около 30–35 % мощности от общей по шахте;

- электроприемники свыше 1000 В, которые включают вентилятор главного проветривания, угольные, грузо-людские и породные подъемы, водоотлив и компрессоры, т.е. стационарные установки, в среднем потребляют 65–70% мощности.

Поэтому наибольшее влияние на суммарную нагрузку оказывают стационарные установки напряжением свыше 1000 В. Благодаря их использованию в качестве потребителей-регуляторов (П–Р) могут выполняться мероприятия по регулированию режимов электропотребления (РРЭ), которые основаны на смещении рабочих циклов стационарных установок во времени, а также дополнительное подключение электроприемников, например двигателей насосов главного водоотлива. Анализ режимов работы П–Р при наличии информации об их электрических нагрузках позволяет выполнить моделирование графиков электрических нагрузок (ГЭН), использование которых может существенно повысить эффективность выполнения мероприятий по РРЭ. В связи с этим возникает необходимость в достоверности метода для определения потребляемой мощности стационарных установок как при расчете индивидуальных электроприемников, так и на уровне их обобщения. Однако, несмотря на значительное количество работ, касающихся изучения