

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]:

$$W_{\text{т.о.}} = \frac{\hat{E}_i \hat{E}_a \hat{E}_{\text{н.д.}} \alpha_{\phi} G_i \dot{I}_i}{\eta_i},$$

где $K_n = 2,95 \cdot 10^{-3}$ – коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на собственные нужды подъема и перевод исходных величин в систему СИ; K_o – коэффициент, учитывающий дополнительный расход электроэнергии на подъем и спуск людей, оборудования и материалов: $K_o = 1,0$ – для угольного и породного подъемов, $K_o = 1,2$ – для одного обслуживаемого горизонта и одноэтажных клетей, $K_o = 1,25-1,3$ – для нескольких обслуживаемых горизонтов или многоэтажных клетей; K_{co} – коэффициент сопротивления движению: $K_{co} = 1,15$ – для скиповых и $K_{co} = 1,2$ – клетевых подъемов, $K_{co} = 1,15-1,5$ – 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; $\eta_n = \eta_p \eta_o \eta_c \eta_{np}$ – КПД подъемной машины, где η_p , η_o , 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:

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

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*).

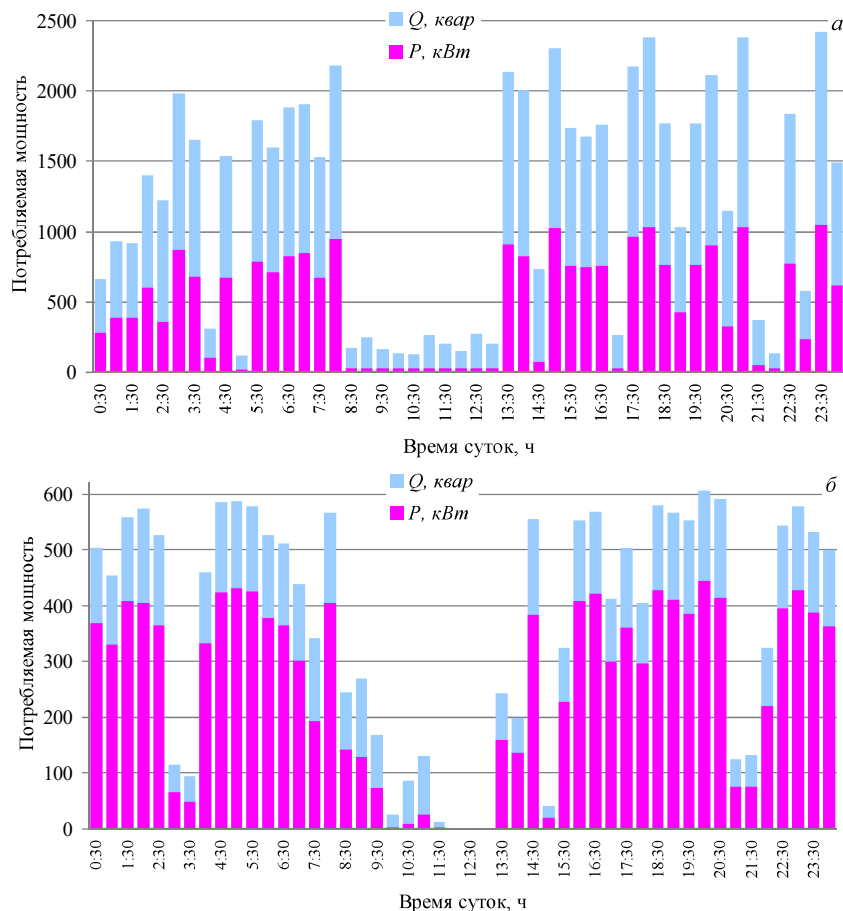


Рис. 1. Фактические суточные ГЭН угольных подъемов с системами КТЭУ (*а*) и АТК (*б*)

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.

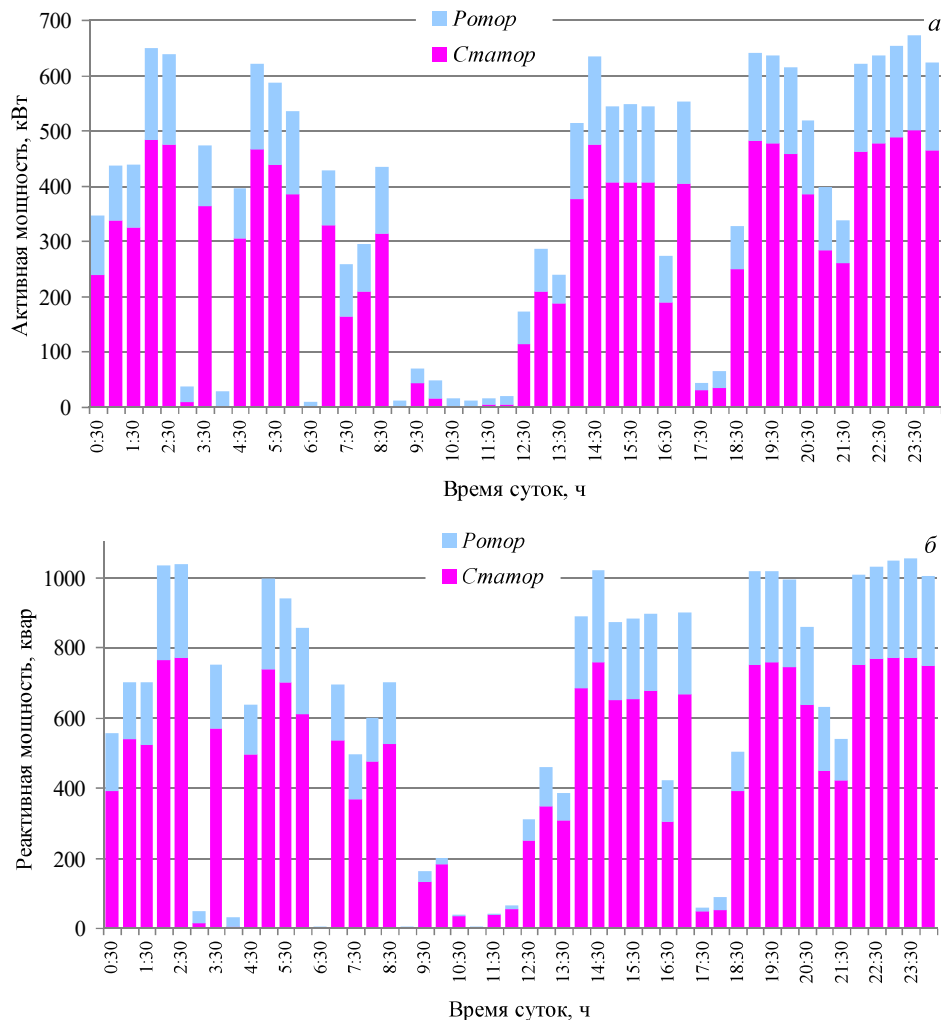


Рис. 2. Фактические суточные графики активной (а) и реактивной (б) нагрузок УП с системой АТК 800 кВт

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 низком 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.

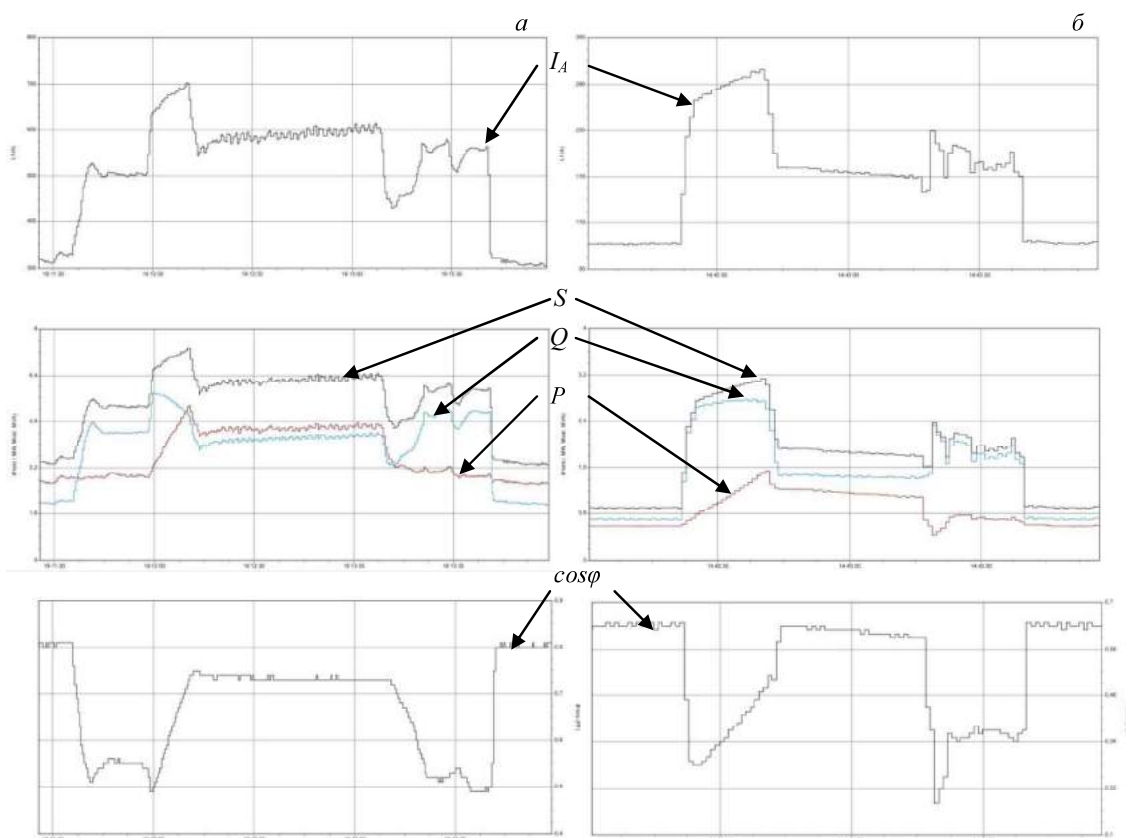


Рис. 3. Изменение энергетических параметров в циклах УП с системами ЭТЦ (а) и АТК (б)

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

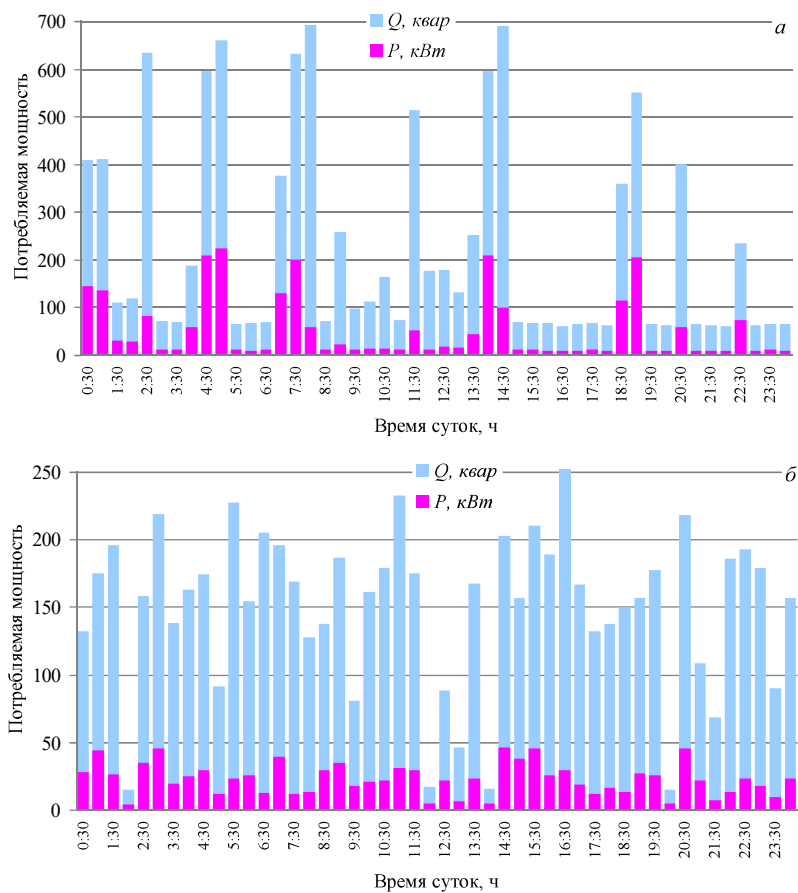


Рис. 4. Фактические суточные ГЭН породного (а) и людского (б) подъемов с системами КТЭУ

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 (8⁰⁰–9⁰⁰, 14⁰⁰–15⁰⁰, 20⁰⁰–21⁰⁰, 2⁰⁰–3⁰⁰), 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).

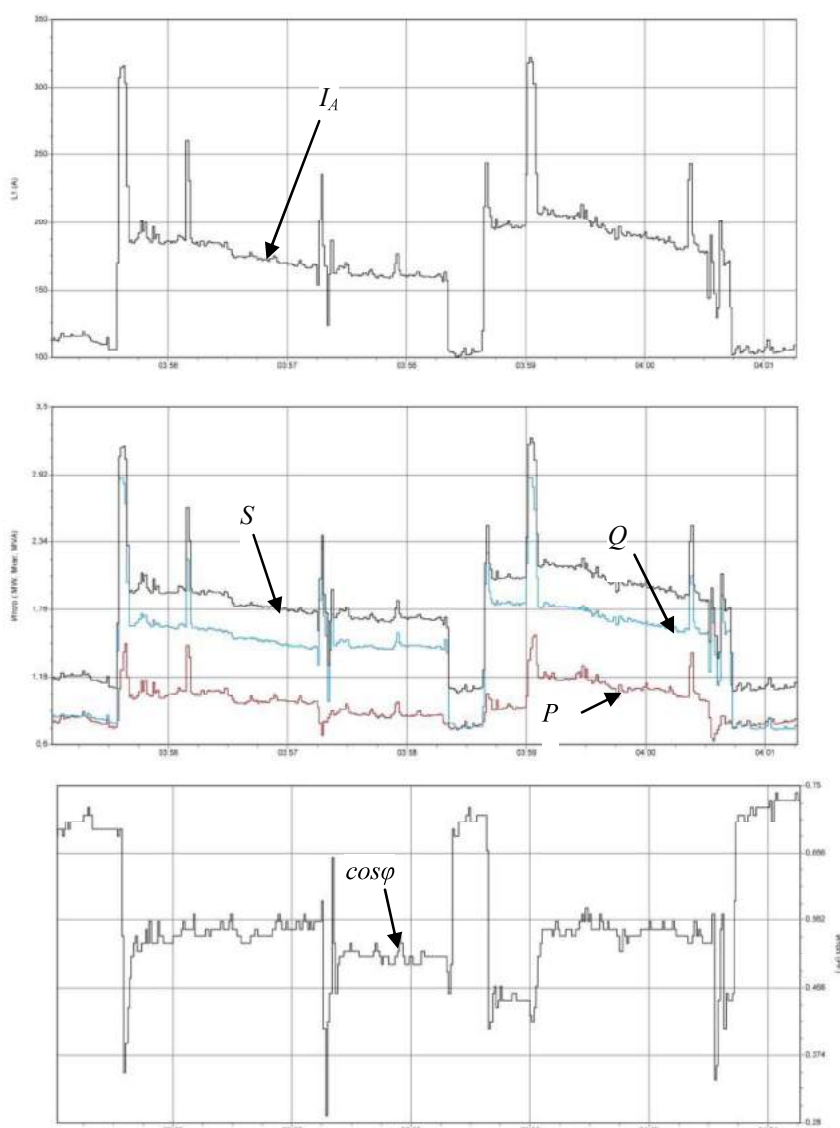


Рис. 5. Изменение энергетических параметров в цикле породного подъема с системой КТЭУ

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.