

УДК 621.311.153

К РАСЧЕТУ КАРЬЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК*

А. С. Соловьев

Расчетные карьерные электрические нагрузки в основном определяются методом коэффициента спроса K_c (табл. 1), т. е. величина расчетной получасовой нагрузки определяется выражением

$$P_{30} = \sum_1^n P_{нi} K_{ci}. \quad (1)$$

Таблица 1

**Коэффициенты спроса для некоторых карьерных электроприемников
[Справочник..., 1962] ***

Вид электроприемников	Условия грунта	K_c при числе приемников			
		1	2—4	5—10	11—16
Одноковшовые экскаваторы с приводом на постоянном токе	Тяжелый	0,75	0,7	0,63	0,57
	Средний	0,73	0,69	0,62	0,56
	Легкий	0,7	0,68	0,61	0,55
Станки канатно-ударного и вращательного бурения	—	0,6	0,55	0,5	0,4

* Впервые коэффициенты спроса карьерных электронагрузок исследованы С. А. Алаторцевым [1950].

Метод коэффициента спроса достаточно прост, однако рекомендуемые значения нуждаются в существенной корректировке. Так, для одноковшовых экскаваторов следует учитывать не только условия грунта, но и транспортные условия (погрузку в железнодорожный транспорт, автотранспорт или просто перевалку породы), что существенно отражается на величине создаваемой нагрузки. Наоборот, учет условий грунта (табл. 1) не обязателен, так как отличие тяжелых и легких от средних не более $\pm 3\%$, в то время как сама величина K_c определяется со значительно меньшей точностью. Режим работы станков ударного и вращательного бурения совершенно различен и вряд ли может быть охарактеризован одной и той же величиной K_c . Уточнение значений K_c требует постановки очень широких обследований электрических нагрузок на действующих горных

предприятиях с различными горно-геологическими и транспортными условиями, что является трудно выполнимым. Поэтому рекомендуемые Справочником горного электротехника [1962] значения K_c весьма ориентировочны, а вычисленные с их помощью получасовые нагрузки, как правило, завышены по сравнению с реально существующими, что приводит к увеличению расхода цветного металла и капитальных затрат. Метод коэффициента спроса не дает возможности определять расчетные нагрузки другой продолжительности, например, часовые.

Известен также метод определения расчетных электрических нагрузок Б. Ф. Турышева [1957], основанный на применении метода упорядоченных диаграмм, изложенного в работах Г. М. Каялова [1953] и С. Д. Волобрина [1964]. Согласно этому методу, расчетная нагрузка для некоторого периода времени t определяется выражением

$$P_t = P_{\text{ср}} K_{\text{max}_t}, \quad (2)$$

где $P_{\text{ср}}$ — средняя величина нагрузки, определяемая по средней производительности $Q_{\text{ср}}$ и удельному расходу энергии a ,

$$P_{\text{ср}} = Q_{\text{ср}} a; \quad (3)$$

K_{max_t} — коэффициент максимума для выбранного периода t , определяемый по кривым [Турышев, 1957], в зависимости от коэффициента формы K_ϕ .

В свою очередь для одного электроприемника

$$K_\phi = \frac{K_{\phi_B}}{\sqrt{K_B}}, \quad (4)$$

для n электроприемников

$$K_\phi = \sqrt{1 + \frac{K_{\phi_B}^2 - 1}{n_2}}, \quad (5)$$

где K_{ϕ_B} — коэффициент формы за время включения; K_B — коэффициент включения, т. е. отношение времени включения ко времени производственного цикла; n_2 — эквивалентное число электроприемников, равное отношению квадрата суммы номинальных мощностей электроприемников к сумме квадратов этих мощностей.

Методика, предложенная Б. Ф. Турышевым, довольно сложна и требует значительного числа исходных данных (K_{ϕ_B} , K_B , a) как для отдельных электроприемников, так и для групп. Это связано с постановкой сложных и трудоемких обследований электрических нагрузок на горных предприятиях. В то же время на основании метода упорядоченных диаграмм составлены «Временные руководящие указания по определению электрических нагрузок промышленных предприятий» [1961], широко распространенные в практике проектирования и существенно упрощающие расчеты электрических нагрузок. Согласно им основной величиной, определяющей характер энергопотребления, является коэффициент использования для наиболее загруженной смены $K_{\text{и}}$. Величина расчетной получасовой нагрузки определяется по выражению (1), причем коэффициент спроса

$$K_{\text{с}_{30}} = K_{\text{и}} K_{\text{max}_{30}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{и}}$ — средневзвешенный коэффициент использования данной группы электроприемников для наиболее загруженной смены; $K_{\text{max}_{30}}$ — коэффициент получасового максимума, определяемый по таблицам или кривым

[Волобринский и др., 1964; Временные руководящие указания..., 1961] в зависимости от $K_{\text{и}}$ и эквивалентного числа электроприемников данной группы.

Кроме того существует статистический метод расчета электрических нагрузок [Волобринский и др., 1964]. В основе метода лежит положение о том, что электрические нагрузки в линиях, питающих электроприемники, подчиняются нормальному закону распределения. Это положение доказано Б. В. Гнеденко [1958] для магистралей с эквивалентным числом приемников 6—8. М. К. Харчев [1957] подтвердил опытными данными применимость этого положения и для меньшего числа приемников. В этих условиях нагрузка любой продолжительности t и вероятность ее появления можно определить уравнением

$$P_t = \bar{P}_{\text{ср}} + \beta \sigma_t \quad (7)$$

или

$$K_{\text{с}t} = \bar{K}_{\text{и}} + \beta \sigma_{t_0}, \quad (8)$$

где $K_{\text{с}t}$ — коэффициент спроса для нагрузки данной продолжительности t ,

$$K_{\text{с}t} = \frac{P_t}{P_{\text{н}}};$$

$\bar{K}_{\text{и}}$ — генеральный коэффициент использования, равный отношению генеральной средней нагрузки к номинальной,

$$\bar{K}_{\text{и}} = \frac{\bar{P}_{\text{ср}}}{P_{\text{н}}};$$

σ_t и σ_{t_0} — генеральное среднеквадратичное отклонение нагрузки длительности t соответственно в именованных и относительных единицах (к номинальной нагрузке); β — принятая кратность уклонения.

Вероятность того, что средняя нагрузка за интервал t превзойдет расчетную, будет равна $\Phi(\beta)$ и определяется по таблицам [Длин, 1958]. В статистическом методе кратность уклонения принята +2,5, что соответствует вероятности появления нагрузки, превышающей расчетную, равной 0,005. Как показал Б. С. Мешель [Волобринский и др., 1964], существуют корреляционные зависимости между коэффициентом использования и коэффициентом спроса. С учетом свойств дисперсии их можно выразить следующим образом: при $K_{\text{и}} = 0,6 \div 0,95$

$$K_{\text{с}30} = K_{\text{и}} + \frac{0,52 - 0,39 K_{\text{и}}}{\sqrt{n_9}}; \quad (9)$$

при $K_{\text{и}} = 0,3 \div 0,6$

$$K_{\text{с}30} = K_{\text{и}} + \frac{0,32}{\sqrt{n_9}}; \quad (10)$$

при $K_{\text{и}} = 0,1 \div 0,3$

$$K_{\text{с}30} = K_{\text{и}} + \frac{0,46}{\sqrt{n_9}}. \quad (11)$$

Кроме того, можно пользоваться зависимостью, пригодной для любой величины $K_{\text{и}}$

$$K_{\text{с}30} = K_{\text{и}} + \frac{0,50 - 0,40 K_{\text{и}}}{\sqrt{n_9}}. \quad (12)$$

Временные руководящие указания дают возможность определять коэффициент спроса и нагрузку для любой продолжительности t . Согласно Временным руководящим указаниям,

$$K_{\text{max}t} = 1 + \frac{K_{\text{max}30} - 1}{\sqrt{a}}. \quad (13)$$

Способ определения $K_{\max_{30}}$ описан выше. Коэффициент K_c определяется согласно выражению (1).

По статистическому методу

$$K_{c_t} = K_n + K_{o_t}, \quad (14)$$

где K_{o_t} определяется по кривым [Волобринский и др., 1964],

$$K_{o_t} = f(\alpha n_0).$$

В обоих случаях $\alpha = t/30$ (t — принятая продолжительность нагрузки, мин).

Характерно, что для применения Временных руководящих указаний и статистического метода необходимо знать только число и мощность электроприемников и коэффициент использования. Это значительно упрощает обследование. Для обследования электрических нагрузок на промышленных предприятиях применительно к указанным двум методам разработаны Методические указания [1964].

Применение Временных руководящих указаний или статистического метода для определения расчетных электрических нагрузок в карьерной распределительной сети (КРС), безусловно, упростило бы эти расчеты и сделало их единообразными с расчетами электрических нагрузок на других промышленных предприятиях.

При обследовании электрических нагрузок на железорудных карьерах автор исследовал характер электропотребления и выполнил проверочные расчеты, показывающие возможность применения указанных двух методов для определения нагрузок в КРС. В табл. 2 приведены наиболее характерные обследованные сочетания механизмов. За период обследования величина генерального коэффициента использования для всех сочетаний электроприемников, вычисленная согласно Методическим указаниям [1964], составила 0,27. Исходя из этой величины определены расчетные часовые нагрузки по статистическому методу и Временным руководящим указаниям. Как видно из таблицы, за период обследований (от 88 до 220 ч) наблюдаемые значения нагрузок ни разу не превысили расчетных.

Таблица 2

Сравнение расчетных нагрузок с наблюдаемым характером энергопотребления

Сочетание механизмов	Число и мощность приемников			P_{Σ} , <i>квт</i>	n_0	Расчетная часовая нагрузка, <i>квт</i>		Наибольшая наблюдаемая часовая нагрузка, <i>квт</i>	Число часовых замеров	Согласие с нормальным законом		Вероятность понижения нагрузки, превышающей расчетную по Временным руководящим указаниям, %
	экскаваторы	ударные буровые станки	вращательные буровые станки			Статистический метод	Временные руководящие указания			D	P (λ)	
1	5×250	12×55	1×180	2090	12	770	780	766	220	0,028	0,99	0,5
2	4×250	12×55	1×180	1840	10,6	700	700	692	88	0,067	0,80	0,1
3	5×250	5×55	—	1525	7,7	595	650	544	132	0,046	0,92	0,1
4	5×250	10×55	—	1800	9,5	675	725	664	220	0,034	0,96	0,2

Одновременно исследовались совокупности наблюдаемых нагрузок для каждого случая. Эти совокупности, в соответствии с теоретическими положениями Б. В. Гнеденко [1958], подчиняются нормальному закону

распределения. В табл. 2 приведены результаты применения критерия согласия Колмогорова [Длин, 1958] для полученных в каждом случае совокупностей измеренных нагрузок: наибольшее отклонение эмпирической накопленной частоты от теоретической интегральной кривой закона распределения D , а также величина $P(\lambda)$. Величина $P(\lambda)$ лежит в пределах 0,8—0,99, что является хорошим основанием считать гипотезу о нормальном распределении наблюдаемых нагрузок согласованной. Кроме того были вычислены параметры кривых распределения в каждом случае и определена вероятность появления наблюдаемых нагрузок, превышающих расчетные, вычисленные согласно Временным руководящим указаниям. Эта вероятность, как видно из табл. 2, не превышает 0,005.

Таким образом, из табл. 2 видно, что расчетные нагрузки, вычисленные согласно Временным руководящим указаниям или статистическому методу, хорошо совпадают между собой и соответствуют реально наблюдаемым максимальным нагрузкам. Применение этих методов не создает излишних запасов пропускной способности КРС.

В табл. 3 приведены получасовые расчетные нагрузки, вычисленные для тех же четырех случаев, что и в табл. 2. Применение табл. 1 завышает расчетные нагрузки на 30—35%, что необоснованно увеличивает капитальные затраты на организацию электроснабжения.

Таблица 3
Сравнение расчетных получасовых нагрузок,
определенных различными методами, кет

Сочетание механизмов	Временные руководящие указания	Статистический метод	По табл.
1	860	836	1120
2	780	745	1030
3	750	665	900
4	830	760	1050

В табл. 4 приведены значения коэффициента спроса для получасового максимума нагрузки, создаваемого одноковшовыми экскаваторами с приводом на постоянном токе. При этом значение коэффициента использования для наиболее загруженной смены принято 0,3. При использовании методики Б. Ф. Турышева значение коэффициента спроса вычисля-

Таблица 4
Значения K_c , определенные различными методами при $K_n=0,3$

Метод определения	K_c при числе экскаваторов											
		2	3	4		6		8	9	10	12	16
Статистический То же с учетом K_Φ Б. Ф. Турышева Согласно Временным руководящим указаниям По табл. 1	0,76	0,63	0,57	0,53	0,51	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42
	0,99	0,73	0,63	0,58	0,55	0,52	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	0,42
	0,88	0,69	0,62	0,58	0,55	0,53	0,52	0,51	0,49	0,47	0,43	0,40
	1	0,75	0,75	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,43
	0,73		0,69				0,62				0,56	

лось по выражению (6), т. е. величина K_n определяет среднюю нагрузку. Согласно рекомендациям Б. Ф. Турышева [1957], принято $K_{фв} = 1,25$; $K_n = 0,8$.

При определении K_c статистическим методом использовано выражение (11). При этом вычислялась средняя нагрузка за полчаса, а неравномерность потребления энергии внутри получасового интервала не учитывалась. Так как потребление энергии одноковшовыми экскаваторами очень неравномерно, среднеквадратичный ток, определяющий нагрев питающих линий, значительно превышает средний за тот же период. Коэффициент формы графика нагрузки, по нашим данным, в получасовом интервале для экскаватора ЭКГ-4 равен $1,25 \div 1,35$, что соответствует данным Б. Ф. Турышева [1957], по которому за время включения $K_{фв} = 1,2 \div 1,3$.

Для определения величины среднеквадратичного тока в период обследования электрических нагрузок на карьере изготовлен и использован счетчик амперкватрчасов.

Учесть изменение нагрева при неравномерном потреблении энергии внутри получасового интервала можно путем умножения K_c , полученного по статистическому методу, на $K_{ф}$ графика получасовой нагрузки [Волобринский, 1964].

В табл. 4 приведены значения коэффициента спроса, уточненные на величину $K_{ф}$. При этом $K_{ф}$ для одного экскаватора принят 1,3, а для группы экскаваторов согласно уравнению (5). Как видно из таблицы, значения K_c , вычисленные по методике Б. Ф. Турышева, разработанной специально для систем электроснабжения карьеров, а также по Временным руководящим указаниям и статистическому методу * хорошо совпадают между собой. В то же время значения этих коэффициентов соответствуют действительным нагрузкам, возникающим в КРС. Среднеквадратичный получасовой ток одноковшового экскаватора ЭКГ-4, работавшего в наиболее загруженную смену с $K_n = 0,27 \div 0,3$, по нашим наблюдениям, достигал 24—25 а, что соответствует $K_c = 0,86$.

Расчет нагрузок по коэффициентам спроса, приведенным в Справочнике горного электротехника [1962] дает результаты, превышающие действительные нагрузки, что приводит к необоснованному завышению пропускной способности КРС, увеличению расхода цветных металлов и капитальных затрат при строительстве КРС. Расчет по Временным руководящим указаниям прост и получил достаточно широкое распространение при определении электрических нагрузок промышленных предприятий. Этот метод целесообразно использовать при определении расчетных карьерных нагрузок по мере накопления данных о коэффициенте использования, получаемых промышленными испытаниями. Поступление таких данных обеспечат массовые систематические обследования карьерных электроустановок как в горнорудной, так и угольной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

А л а т о р ц е в С. А. Рудничная электроэнергетика открытых горных работ. Металлургиздат, 1950.

В о л о б р и н с к и й С. Д. и др. Электрические нагрузки промышленных предприятий. Энергия, 1964.

Временные руководящие указания по определению электрических нагрузок промышленных предприятий. Госэнергоиздат, 1961.

* С уточнением на величину $K_{ф}$.

Гнеденко Б. В. Об одной задаче массового обслуживания. ДАН СССР, № 5, 1958.

Длин А. М. Математическая статистика в технике. Советская наука, 1958.

Каялов Г. М. Основы анализа нагрузок и расчета сетей промышленных предприятий. Электричество, № 3, 1953.

Методические указания по обследованию электрических нагрузок промышленных предприятий. БТИ ОРГРЭС, 1964.

Справочник горного электротехника. Госгортехиздат, 1962.

Турьев Б. Ф. Анализ и методика расчета электрических нагрузок на открытых горных разработках. В сб. Горная электротехника. Углетехиздат, 1957.

Харчев М. К. К вопросу об определении электрических нагрузок промышленных предприятий. Промышленная энергетика, № 7, 1957.
