Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIII, вып. 1, 1966 г.

УДК 621.331

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК КАРЬЕРНЫХ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ И УЧАСТКОВ ТЯГОВЫХ СЕТЕЙ *

В. А. Александров

Работа карьерного железнодорожного транспорта характеризуется во-первых, замкнутой, непрерывно повторяющейся цикличностью, во-вторых, относительно устойчивым числом поездов, занятых транспортировкой полезного ископаемого и пустой породы в течение очень длительного времени, в-третьих, ограниченным числом типов электровозов а следовательно, и типов составов по весу.

Для обоснования вероятностных методов расчета необходимо изучить закономерности распределения мгновенных нагрузок тяговых подстанций и участков тяговых сетей при одновременной работе различного числа электровозов.

Предложенные в свое время вероятностные методы расчетов (например, метод В. П. Комлева **) основаны на том, что закон распределения нагрузок тяговых подстанций является нормальным. Это положение справедливо при одновременной работе большого числа электровозов. Однако на большинстве карьеров со средней годовой производительностью число одновременно работающих электровозов невелико (от 3 до 10). А на одном участке тяговых сетей практически одновременно не может находиться более 5—6 электровозов. Поэтому существующие вероятностные методы расчета мощности тяговых подстанций при малом числе одновременно работающих электровозов и участков тяговых сетей вообще приводят заведомо к неверным результатам ***. Таким образом, закон распределения нагрузок тяговых сетей и подстанций при малом числе одновременно работающих электровозов нельзя принять за нормальный или, по крайней мере, он существенно отличается от нормального. С этой целью на действующих тяговых подстанциях самопишущими приборами регистрировали величину тока при одновременной работе двух, четырех, пяти, семи и десяти электровозов. Аналогичную запись тока производили и на самом электровозе, что эквивалентно записи тока на подстанции при работе одного электровоза. Запись осуществляли как в различное время суток, так и в различные времена года в течение трех лет. Последнее обеспечило возможность сопоставления результатов,

* В порядке обсуждения (*Ред.*)

** В. П. Комлев. Исследование нагрузок тяговых подстанций на открытых горных разработках. Автореф. канд. дисс. Свердловский горный ин-т, 1960.

*** В. Н. Стасюк. Электровозный транспорт на карьерах. Госгортехиздат, 1963.

полученных при изменяющихся параметрах откатки: профиля пути, длины и т. д. Исследованы два типа электровозов: немецкий $EL = 2$ со сцепным весом 100 m и чехословацкий 21 E со сцепным весом 150 m.

Полученные результаты обработаны методами математической статистики. При обработке выравнивались статистические ряды. Достоверность согласованности теоретического и статистического распределения оценивалась так называемым критерием χ^2 Пирсона.

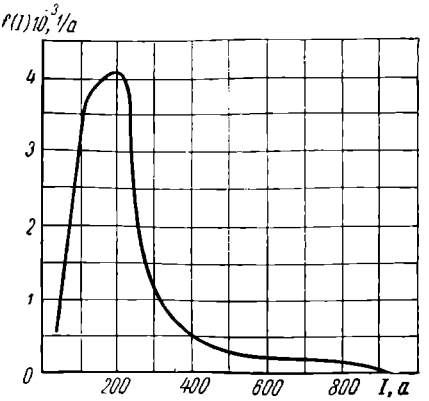


Рис. 1. Кривая плотности статистического распределения тока электровоза, работающего в горных разработках.

Анализ обработанных результатов показал, что закономерность распределения мгновенных значений нагрузки тяговой подстанции и участков тяговых сетей при одновременной работе менее 10 электровозов нельзя принять за нормальную, так как кривые плотности статистического распределения асимметричны (рис. 1, 2). Объясняется это тем, что ток подстанции и участков тяговых сетей может принимать только положительные значения, а отклонение величины тока в сторону, меньшую математического ожидания, более вероятно, чем в большую. Это происходит потому, что при работе электрифицированного железнодорожного транспорта на открытых горных разработках время погрузки

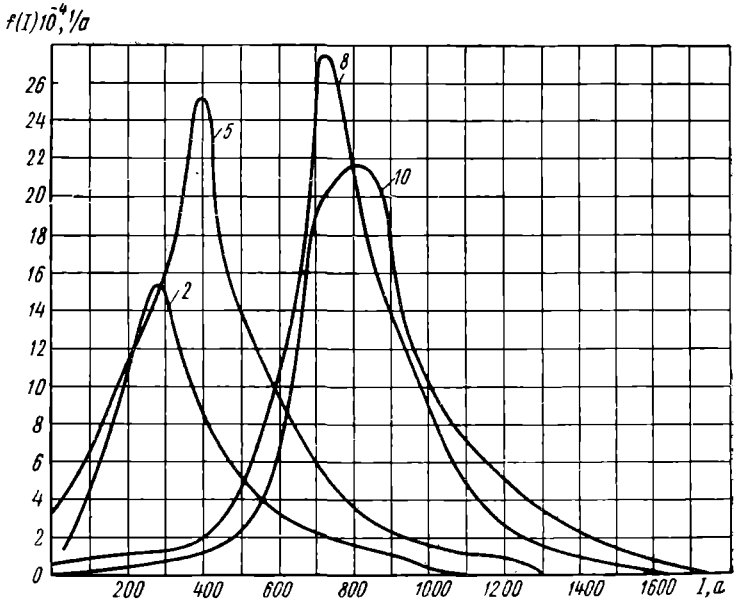


Рис. 2. Кривые плотности статистических распределений тока тяговой подстанции (участка тяговых сетей) при одновременной работе следующего числа электровозов: *2*, *5*, *8* и *10*.

и разгрузки состава, в течение которого электровоз практически почти не потребляет энергии, часто составляет большую долю продолжительности всего рейса.

При одновременной работе 10 (рис. 2), а следовательно, и большего числа электровозов кривая плотности распределения приближается к симметричной и тем точнее, чем больше электровозов. Таким образом, начиная с 10 одновременно работающих электровозов закономерное распределение мгновенных значений нагрузки тяговой подстанции можно принять за нормальное. На рис. 1 приведена кривая плотности статистического распределения тока одного электровоза при потреблении энергии в течение всего рейса, а на рис. 2 — кривые плотности статистического распределения тока тяговой подстанции при одновременной работе двух электровозов за время потребления энергии пяти, восьми и десяти электровозов в течение средней продолжительности рейса.

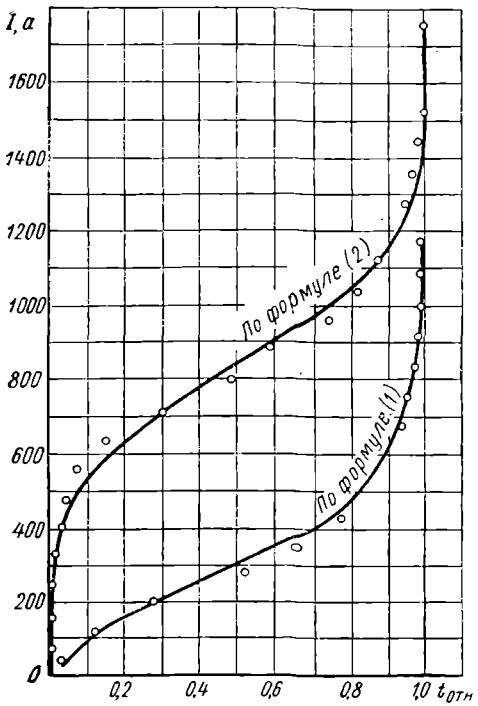


Рис. 3. Кривые распределения нагрузок, рассчитанные по формуле (1) при одновременной работе двух электровозов и формуле (2) при одновременной работе десяти электровозов.

Анализ полученных результатов показал также, что статистические распределения мгновенных значений тяговой нагрузки при одновременной работе до 10 электровозов могут быть описаны кривыми Пирсона типа I или законом Грама-Шарлье. Формулы Пирсона теоретически менее обоснованы, чем закон Грама-Шарлье, который представляет собой обобщение нормального закона. Он дает возможность, по крайней мере теоретическую, представить в виде ряда распределение, которое может быть весьма отличным от нормального. При этом первый член ряда представляет собой нормальное распределение, а следующие — поправки к нему. Существенно, что при числе одновременно работающих электровозов менее 5 выравнять статистическое распределение по закону Грама-Шарлье можно только за время потребления энергии, а не за среднюю продолжительность одного рейса. Время потребления энергии в течение средней продолжительности рейса можно определить или по результатам обработки диаграмм записи мгновенных значений тока тяговых подстанций и участков тяговых сетей или тяговыми расчетами. Кривая плотности статистического распределения за среднюю продолжительность рейса, как правило, получается двухвершинной. Математическая теория таких кривых разработана слабо. Наличие двух максимумов у кривой обусловлено тем, что при числе одновременно работающих электровозов менее 5 наиболее вероятны значения тока, равные его математическому ожиданию и нулю. При большем же числе одновременно работающих электровозов можно произвести за среднюю продолжительность рейса. При одновременной работе 10 и большего числа электровозов распределение мгновенных значений нагрузки (тока) тяговой подстанции (участка тяговой сети) подчиняется нормальному или закону Гаусса.

Для нашего случая законы Грама-Шарлье и Гаусса в интегральной форме запишутся соответственно в виде

$$F(I<I_3)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{I}e^{\frac{(I-\bar{I})^2}{2\sigma^2}}dI-\frac{S}{6\sigma}\varphi'''\left(\frac{I-\bar{I}}{\sigma}\right)+$$

$$+\frac{E}{24\sigma}\varphi''''\left(\frac{I-\bar{I}}{\sigma}\right), \qquad (1)$$

$$F(I<I_3)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{I}e^{-\frac{(I-\bar{I})^2}{2\sigma^2}}dI, \qquad (2)$$

$$\varphi\left(\frac{I-\bar{I}}{\sigma}\right)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(I-\bar{I})^2}{2\sigma^2}}$$

где I — случайное значение тока; $\bar{I}$ — математическое ожидание или среднее значение тока; I_3 — заданное значение тока; σ — среднеквадратичное отклонение случайной величины тока от его математического ожидания; S — коэффициент асимметрии кривой распределения тока; E — эксцесс тока, характеризующий так называемую «крутость» кривой распределения.

Определив по статистическим данным математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение, коэффициент асимметрии и эксцесс тока тяговой подстанции или участка тяговых сетей, по формулам (1), (2) можно рассчитать теоретические законы распределения (рис. 3).

Оценка согласованности теоретических и статистических распределений по критерию χ^2 показала вероятность правдоподобия по формуле (1) 0,99 и по формуле (2) 0,94. Таким образом, здесь существует правдоподобие близкого совпадения теоретических и статистических распределений и оно имеет в своей основе объективные причины.

Выводы

1. При одновременной работе менее 10 электровозов распределение мгновенных значений тока тяговой подстанции и участков тяговых сетей существенно отличается от нормального и может быть описано законом Грама-Шарлье: при числе электровозов менее 5 — за время потребления энергии, при 5 и более — за среднюю продолжительность одного рейса.

2. При увеличении числа одновременно работающих электровозов распределение мгновенных значений нагрузки тяговой подстанции (тяговых сетей) приближается к нормальному и, начиная примерно с 10, может с достаточной степенью точности считаться нормальным. Это происходит потому, что по мере увеличения числа одновременно работающих электровозов влияние отдельных факторов (профиля пути, местонахождения состава, скорости движения, веса состава и т. д.) на величину суммарного значения тока уменьшается, а число таких факторов увеличивается. Это, как известно, всегда приводит к нормальному закону.