

где $(M + 1)$ - количество контрольных точек по оси OX (нумерация точек от 0 до M); $(L + 1)$ - количество контрольных точек по оси OY (нумерация точек от 0 до L); $P_{i,k} = (x_{i,k}, y_{i,k}, z_{i,k})$ - координаты контрольных точек; $w_{i,k}$ - весовые коэффициенты контрольных точек; $N_{i,m}(u)$ и $N_{k,n}(v)$ - соответственно стыковочные В-сплайн функции в направлении осей OX и OY ; m и n - соответственно порядок стыковочных В-сплайн функций $N_{i,m}(u)$ и $N_{k,n}(v)$; $u \in 0, \dots, u_{max}$ (u_{max} - максимальное значение в узловом векторе u в направлении оси OX , равное $M - m + 2$); $v \in 0, \dots, v_{max}$ (v_{max} - максимальное значение в узловом векторе v в направлении оси OY , равное $L - n + 2$).

Выводы и направление дальнейших исследований. Реализация программного обеспечения комплекса задач "Graf10" выполнена авторами на языке Visual C++ 2010 под Windows с использованием инструментальных средств открытой графической библиотеки OpenGL.

Для выполнения каждой из представленных задач разработана универсальная структура, которая позволяет расширять возможности программного комплекса новыми задачами и совершенствовать уже разработанные.

Разработанный программный комплекс используется кафедрой информатики и прикладного программного обеспечения в учебном процессе для преподавания дисциплин, связанных с компьютерной графикой.

Список литературы

1. Ричард С. Райт, мл., Бенджамин Липчак OpenGL. Суперкнига, 3-е издание.: Пер. с англ - М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. - 1040с.
2. Зеленский О.С., Лисенко В.С., Баран С.В. Методичні вказівки до самостійного вивчення стандартних команд графічної бібліотеки OPENGL з використанням мови C++. - Кривий Ріг: КЕІ КНЕУ, 2006.-41с.
3. Зеленский А.С., Лысенко В.С., Чуринов Н.А. Методические указания для самостоятельного изучения математических основ компьютерной графики. - Кривой Рог: КЭИ КНЭУ, 2007.-41с.
4. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов.- СПб.: Питер, 2002.-1088 с.
5. Дональд Херн, М. Паулин Бейкер Компьютерная графика и стандарт OpenGL, 3-е издание.-М.: Издательский дом «Вильямс», 2005.-1168 с.
6. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики: Пер. с англ.- М.: Мир, 2001.-604с.
7. Автоматизация геолого-маркшейдерского обеспечения в информационной системе управления рудным карьером: монография / А.С. Зеленский, С.В. Баран, В.С. Лысенко и др.- Кривой Рог: Издательский центр ГВУЗ «КНУ», 2012.-362 с.
8. Зеленский А.С., Лысенко В.С. Построение кривых и поверхностей при решении горно-геометрических задач //Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: КНУ.-2013. -С. 186-190.
9. Зеленский А.С. Моделирование поверхности карьера с использованием В-сплайнов / А.С. Зеленский, В.С. Лысенко, В.И. Мельничук // Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КТУ. - 2009. - №23. - С. 50-54.
10. Зеленский А.С. Использование NURBS поверхностей для автоматизированного построения изолиний изменчивости качественных показателей руды на карьерах / А.С. Зеленский, С.С. Пуханов, В.И. Мельничук // Науковий вісник НГУ.-2009.-№6.-С. 69-73.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.14

УДК 621.315.052.7 - 621.395.14

В.П. РОЗЕН, канд. техн. наук, проф. Национальный технический университет Украины «КПИ»
Э.С. ГУЗОВ, канд. техн. наук, доц.; Р.А. ПАРХОМЕНКО, старший преподаватель.
Криворожский национальный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОЕМКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ

В работе выполнена кластеризация значений электрических нагрузок для электроприемников с неоднородными режимами работы: компрессоров и подъемных машин. В результате были получены значения устойчивых уровней электрических нагрузок (максимального и минимального) и времени их действия.

Ключевые слова: электрические нагрузки, электроприемники, железорудные шахты.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Повышение эффективности электропотребления (ЭП) на всех видах горных предприятий напрямую связано с необ-

ходимым улучшением технико-экономических показателей использования электроэнергии. В этой связи значительную роль играют обоснованные решения, которые возможно принять на основе ожидаемых электрических нагрузок (ЭН). В свою очередь, прогнозирование ЭН с достаточной точностью возможно лишь на основе адекватных математических моделей энергетических режимов потребителей электроэнергии (ЭЭ), позволяющих также устанавливать электроемкость основных технологических процессов при разработке полезных ископаемых.

Анализ исследований и публикаций. Анализ состояния моделирования энергетических режимов энергоемких потребителей показывает, что получение адекватных моделей режимов ЭН приемников железорудных шахт возможно при использовании методического подхода, который применялся для установления моделей режимов ЭН электроприемников [1,2,3]: выделение из всего их множества устойчивых уровней и получение значений расчетных величин осреднением на временных участках расчетного периода, где действует каждый устойчивый уровень нагрузки.

Постановка задания. Целью работы есть выполнение кластеризации значений ЭН и получение значения устойчивых уровней и времени их действия для электроприемников железорудных шахт с неоднородными режимами работы.

Изложение материала и результаты. В этой связи была выполнена кластеризация значений ЭН для электроприемников с неоднородными режимами работы: компрессоров и подъемных машин. В результате были получены значения устойчивых уровней электрических нагрузок (максимального и минимального) и времени их действия (табл. 1).

Математическая модель режимов ЭН будет иметь вид

$$P_c^* = P_{c,max}^* [t_{max}^* + K_2(1 - t_{max}^*)], \quad (1)$$

На рис. 1 приведен график двухуровневой модели ЭН для компрессоров 4ВМ10-100/8.

Полученные результаты позволяют разработать рекомендации по совершенствованию расчетов ЭН.

Таблица 1

Статистические характеристики моделей режимов электрических нагрузок потребителей железорудных шахт

Характеристики режимов нагрузок	Статистические характеристики		
	математическое ожидание	среднеквадратическое отклонение	коэффициент вариации
Компрессоры (P = 630 кВт)			
$P_{c,max}^*$	0,79	0,13	0,16
$t_{1,max}^* \cdot s$	0,82	0,15	0,18
$P_{c,min}^*$	0,19	0,15	0,68
$t_{1,min}^* \cdot s$	0,18	0,02	0,11
Компрессоры (P = 300кВт)			
$P_{c,max}^*$	0,90	0,11	0,12
$t_{1,max}^* \cdot s$	0,71	0,12	0,17
$P_{c,min}^*$	0,28	0,22	0,78
$t_{1,min}^* \cdot s$	0,29	0,12	0,41
Подъемные установки			
$P_{c,max}^*$	0,81	0,35	0,43
$t_{1,max}^* \cdot s$	0,52	0,29	0,56
$P_{c,min}^*$	0,23	0,41	2,05
$t_{1,min}^* \cdot s$	0,48	0,36	0,75

Режимы сменного расхода электрической энергии энергоемких потребителей шахт возможно анализировать на основе статистических моделей. Здесь следует отметить, что доля потребления электроэнергии на процессы производства сжатого воздуха, подъема горной массы, вентиляции горных выработок и откачки воды составляет от 70 до 80 % общего электропотребления железорудных шахт.

Одной из характеристик, определяющих режимы расхода электроэнергии, является сменный расход.

Применение указанного показателя для анализа режимов расхода электроэнергии обусловлено и тем, что в этом случае облегчается (в плане получения информации) выявление взаимосвязей между расходом электроэнергии и производственными факторами.

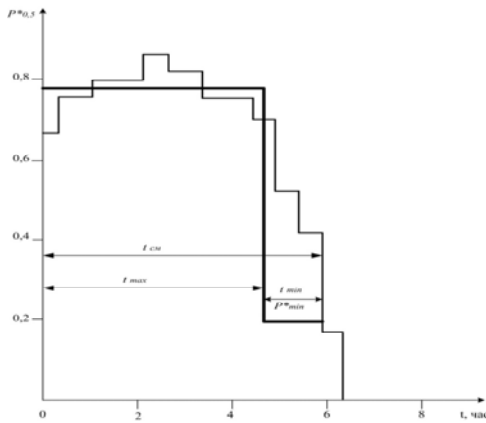


Рис. 1. Двухуровневая модель режимов ЭН потребителей железорудных шахт: 1 – график сменной нагрузки; 2 – двухуровневый эквивалент (модель) нагрузки

оценки среднего использована кроме точечной оценки интервальная оценка (при уровне значимости 0,05).

Статистики распределений сменного расхода электроэнергии основных энергоемких потребителей железорудных шахт приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистики распределений сменного электропотребления энергоемких потребителей железорудных шахт*

Потребители	Статистические характеристики							
	средняя	нижняя граница	верхняя граница	дисперсия, $D \cdot 10^{-2}$	среднеквадратическое $\cdot 10^{-1}$	коэффициент вариации, v	асимметрия, A	эксцесс, E
Установки главного водоотлива	0,937	0,88	0,98	0,11	0,33	3,52	-0,51	-0,52
Вентиляторы главного проветривания	0,75	0,70	0,80	0,22	0,46	6,11	0,01	-0,56
Компрессорные установки	0,73	0,69	0,77	3,05	1,75	23,9	0,08	-0,88
Подъемные установки	0,52	0,45	0,59	2,10	1,45	28,1	-0,60	-0,41

* В относительных единицах.

Экспериментальные интегральные и дифференциальные функции распределения сменного электропотребления энергоемких установок полиметаллических рудников приведены на рис. 2.

Анализ данных табл. 2 и графиков функций распределения (рис. 2) позволяет заключить следующее.

Сменное ЭП энергоемких потребителей железорудных шахт как случайная величина имеет унимодальное распределение с явно выраженным центром рассеяния и достаточно симметричным рассеянием отдельных значений относительно центра. В этой связи следует отметить, что распределения сменного ЭП для компрессорных и подъемных установок отличаются по характеру от их распределений ЭН.

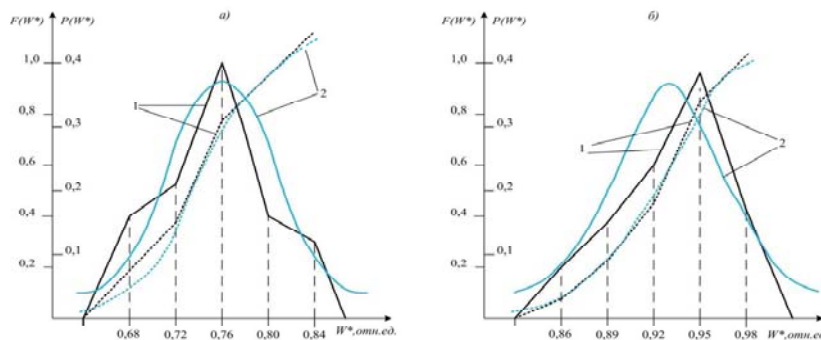


Рис. 2. Экспериментальные (1) и теоретические (2) статистические модели сменного электропотребления вентиляторных а и водоотливных б установок железорудных шахт

Это обстоятельство объясняется тем, что в течение смены по сравнению с получасовыми интервалами факторы, влияющие на рассматриваемые величины, имеют более однородный (в статистическом плане) характер.

Распределения сменного ЭП вентиляторных и водоотливных установок имеют меньшую изменчивость (коэффициенты вариации соответственно составляют 6,11 и 3,52 %) по сравнению с распределениями сменного ЭП компрессорных и подъемных установок (коэффициенты вариации - 23,9 и 28,1%). Таким образом, электропотребители с неоднородными режимами ЭН (компрессоры и подъемные установки) имеют и более "рассеянные" распределения сменного ЭП.

Большую плотность заполнения графика нагрузки имеют потребители водоотливных установок $M=0,93$, меньшую - потребители подъемных установок $M=0,52$.

Распределения сменного ЭП водоотливных и подъемных установок имеют большую часть своих значений слева от центра (левая асимметрия). Распределения сменного ЭП вентиляторных и компрессорных установок имеют большую часть своих значений справа от центра (правая асимметрия).

Распределения сменного ЭП для всех рассматриваемых энергоемких потребителей имеют выположенный характер, о чем свидетельствуют отрицательные значения эксцесса.

Для полного описания режимов сменного расхода электроэнергии требуется определение теоретических законов распределения. Вид экспериментальных распределений (рис. 2), незначительное рассеяние отдельных значений относительно центра (коэффициент вариации не превышает 33%) позволяют выдвинуть гипотезу о нормальном виде законов распределения. Проверка этой статистической гипотезы с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона показала, что с доверительной вероятностью 0,95 для распределения сменного расхода электроэнергии может быть принят нормальный закон распределения.

Наблюдаемые χ_n^2 и критические $\chi_{кр}$ значения критерия Пирсона составляют, соответственно, для распределений сменного ЭП: вентиляторных установок - 1,9 и 6,0; водоотливных установок - 2,9 и 6,0; компрессорных установок - 4,2 и 6,0; подъемных установок - 2,8 и 6,0.

Таким образом, статистические модели сменного ЭП наиболее энергоемких потребителей железорудных шахт описываются выражениями

$$F(W^*) = [\sigma(W^*)\sqrt{2\pi}]^{-1} \int_0^{W^*} \exp\left\{-\frac{[W^* - M(W^*)]^2}{2\sigma^2(W^*)}\right\} dW^*, \quad (2)$$

$$f(W^*) = [\sigma(W^*)\sqrt{2\pi}]^{-1} \exp\left\{-\frac{[W^* - M(W^*)]^2}{2\sigma^2(W^*)}\right\}, \quad (3)$$

В (2) и (3) W^* - сменное электропотребление, отнесенное к номинальному сменному потреблению.

Анализ зависимостей сменного расхода электроэнергии от технологических факторов.

Режимы расхода электроэнергии зависят от многих производственных факторов.

Выделение действия каждого из них представляет собой практически неразрешимую задачу. В этой связи следует выделить основные факторы, которые оказывают влияние на ЭП в обобщающем (интегральном) виде и в значительной мере.

К таким факторам можно отнести: для вентиляторных установок - производительность (объем воздуха для проветривания) Q и депрессию F ; для водоотливных установок - производительность (объем перекачиваемой жидкости) Q ; для компрессорных установок - производительность (объем выработанного сжатого воздуха) Q , для подъемных установок - производительность (масса поднятой горной массы) Q .

Для оценки тесноты связи между указанными факторами и сменным расходом электроэнергии в соответствии с методическими принципами выполнен корреляционный анализ.

Для этой цели рассчитаны статистические характеристики (распределений и связей) для вышеуказанных факторов: средние M , среднеквадратические отклонения σ , ковариации τ , коэффициент корреляции r , приведенные в табл. 3.

Статистические характеристики распределения и связи между ЭП энергоемких потребителей железорудных шахт и обуславливающими его параметрами

Параметры	Статистические характеристики			
	M [*])	$\sigma^{*})$	T	R
Производительность, м ³	Установки главного проветривания			
	4042	1206	$4,38 \cdot 10^5$	0,518
Депрессия, Па	1863	701	$7,96 \cdot 10^5$	0,840
Электроэнергия, кВт·ч	3385	1295	-	-
Производительность, м ³	Установки главного водоотлива			
	297	79	23,3	0,980
Электроэнергия, кВт·ч	1,1	0,30	-	-
Производительность, м ³	Компрессорные установки			
	23,9	6,1	$2,92 \cdot 10^2$	0,985
Электроэнергия, кВт·ч	1797	484	-	-
Производительность, м ³	Подъемные установки			
	274	97	$5,42 \cdot 10^4$	0,955
Электроэнергия, кВт·ч	1818	586	-	-

*⁾ Размерность параметра

Корреляционные зависимости имеют вид:

для вентиляторных установок:

$$W = b_0 + b_1 \cdot F + b_2 \cdot Q, \quad (4)$$

для водоотливных, компрессорных и подъемных установок:

$$W = b_0 + b_1 \cdot Q. \quad (5)$$

Значения коэффициентов, входящих в зависимости (4) и (5), приведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты корреляционных зависимостей ЭП от производственных факторов

Вид технологических установок	Значения коэффициентов		
	b_0	b_1	b_2
Вентиляторные	$-1,74 \cdot 10^3$	1,55	0,56
Водоотливные	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3,72 \cdot 10^{-3}$	-
Компрессорные	-60	78	-
Подъемные	-237	576	-

Выводы и направление дальнейших исследований. Анализ приведенных в табл. 3 данных показывает наличие тесной корреляционной связи между производственными факторами и уровнем электропотребления.

Полученные зависимости позволяют выполнять оценку режимов сменного электропотребления в зависимости от производственных параметров, характеризующих основные энергоемкие потребители железорудных шахт.

Список литературы

1. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Ковальчук Н.А. Статистические характеристики сменных нагрузок электроприемников при разработке россыпных месторождений. – Изв. вузов. – Горный журнал, 1995, № 3, – С. 76 – 80.
2. Електрифікація гірничого виробництва: Підручник для ВНЗ: у 2-х т. – Вид. 2-ге перероб. та допов./ За рецензією Л.О. Пучкова і Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. т.1. – 503 с.
3. Синчук О.Н., Лесной Н.И., Пархоменко Р.А., Яловая А.Н. Оценка состояния и определение тактики повышения эффективности работы участковых подстанций железорудных шахт. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, ВИП.25, Ч.ІІ - КНТУ, 2012, - С. 248-254

Рукопись поступила в редакцию 12.03.14