

УДК 651.3.016:622.232.7

А.Г. Захарова

МНОГОФАКТОРНЫЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КУЗБАССА

Проблема энергосбережения на угледобывающих предприятиях заключается не только в снижении затрат топливно-энергетических ресурсов на производство угля, но и в рациональном построении всей системы энергоснабжения, предполагающей низкий уровень потерь и затрат во всех звеньях при высоком уровне надежности. Решение этой проблемы возможно путем установления количественных закономерностей формирования энергетических затрат и получения на их основе надежных прогнозных оценок.

Горно-геологические условия шахт или отдельных месторождений бассейна в существенной мере определяют уровень электропотребления при ведении подземных горных работ, а поэтому для разработки мероприятий, направленных на энергосбережение, необходимо располагать результатами анализа обобщенных характеристик шахт бассейна и факторов, определяющих уровень электропотребления.

Выбор применяемого на шахтах технологического оборудования, как и собственно технологии, в существенной мере определяется углом падения пластов. При углах падения до 30° находят применение гидрофицированные комплексы и очистные комбайны, а при больших углах - буровзрывные технологии. Эта градация, в определенной мере, определяется и другими горно-геологическими факторами. Так, на шахтах, разрабатывающих крутопадающие пласти, притоки воды меньше, чем на шахтах с пологими пластами.

Статистические данные по 25 шахтам о фактической производительности шахт D , тыс.т/год, электропотреблении W , тыс.кВт·ч/год, водообильности (среднего часового притока) шахтного поля V , $\text{м}^3/\text{ч}$, относительной газообильности i , $\text{м}^3/\text{т}$ и глубине ведения горных работ H , м, на протяже-

нии длительного времени (около 30 лет) послужили основой для разработки многофакторных регрессионных моделей потребления электрической энергии. В работе [1] установлено, что для большинства шахт Кузбасса существует линейная зависимость между уровнем электропотребления и производительностью, а также показано, что между электропотреблением и глубиной ведения горных работ, газо- и водообильностью действуют линейные парные корреляционные связи. Наличие таких закономерностей дает основание принять гипотезу о том, что многофакторная модель имеет также линейный характер.

В общем виде линейное уравнение множественной регрессии имеет вид

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^p b_j x_j. \quad (1)$$

Определение коэффициентов уравнения множественной линейной регрессии (1), проверка значимости уравнения регрессии и коэффициентов уравнения регрессии и множественный корреляционный анализ осуществлялся в соответствии с методикой, изложенной в [2-5] с использованием интегрированной системы статистического анализа и обработки данных Statistica (специализированный статистический модуль "Множественная регрессия").

Обработка статистических данных подобным образом проводилась при определении потребления электроэнергии в целом по шахте W_{Σ} , на подземную добычу $W_{n.d}$, на проветривание W_{prov} , на водоотлив W_{vod} и подъем W_{nod} . Полученные в результате этого уравнения множественной регрессии для вычисления потребляемой электроэнергии на разные нужды, значения коэффициентов корреляции R и детерминации R^2 , табличные F_T и расчетные F_p значения F -критериев при 5%-ном

Таблица 1

Уравнение регрессии	R	R^2	F_p	F_m
Потребление всей шахтой $W_{\Sigma} = -15000 + 10.33 D + 12.2 V + 98 H + 142 i$	0,930	0,872	20,1	4,53
Потребление на подземную добычу $W_{n.d} = -4640 + 14.7 D - 11.32 H + 376.5 i$	0,864	0,746	15,8	4,53
Потребление на проветривание $W_{prov} = -1760 + 4.28 D + 0.145 H + 350 i$	0,915	0,839	23,3	8,63
Потребление на водоотлив $W_{vod} = -860 + 1.25 D + 1.72 V + 3.22 H$	0,785	0,618	10,1	8,63
Потребление на подъем $W_{nod} = -1240 + 1.79 D + 5.94 H$	0,738	0,545	7,2	5,76

Таблица 2

Уравнение регрессии	R	R^2	F_p	F_m
Заявляемая мощность шахты $P_M = -22300 + 0.006 D + 3.3V + 18.8 H + 0.55 i$	0,864	0,742	18,0	5,76
Заявляемая мощность на подземную добычу $P_{M,pod} = 294 + 0.004 D + 1.17V + 1.07 H$	0,870	0,754	26,6	8,63
Заявляемая мощность на проветривание $P_{M,prov} = -620 + 0.0003D + 6.2H + 0.7 i$	0,880	0,771	14,1	8,63
Заявляемая мощность на водоотлив $P_{M,vod} = -1000 + 0.0007 D + 2.64V + 1.2 H$	0,845	0,715	9,2	8,63
Заявляемая мощность на подъем $P_{M,pod} = 323 + 0.0006 D + 2.48 H$	0,634	0,4	15,3	4,53

уровне значимости приведены в табл. 1, где годовая производительность D измеряется в тыс. т/год, а электропотребление W - в тыс. кВт·ч.

Высокие значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о том, что гипотеза о линейном характере связи энергопотребления с исследуемыми факторами подтверждается и близка к функциональной. Значения коэффициентов детерминации указывают, что факторы, входящие в уравнения, более чем на 55% определяют потребление электроэнергии на различные операции технологического процесса добычи.

Данные табл. 1 также свидетельствуют о том, что полученные уравнения статистически значимо описывают результаты наблюдений и могут быть использованы не только для анализа электропотребления шахт, но и для перспективного планирования ожидаемого электропотребления при известных их характеристиках.

Изложенный выше подход был применен для разработки многофакторной модели УРЭЭ шахты при значительно расширенном числе факторов. При этом учитывались:

D – добыча угля, млн. т/год; V – водообильность, $m^3/\text{ч}$; i – газообильность, $m^3/\text{т}$; Q – расход воздуха на проветривание, $m^3/\text{мин}$; L – протяженность горных выработок, км; H – глубина ведения горных работ, м.

Для выполнения расчетов матриц, составленных с учетом перечисленных выше факторов, было также использовано программное обеспечение Statistica, в результате чего получены следующие уравнения множественной регрессии для определения среднего значения УРЭЭ:

- для шахт УК «Кузбассуголь» (без шахты «Чертинская»):

$$w = -62 -0.035 H - 0.017 V + 2.36 L - 0.42 i - 37.5 D + 5.2 \cdot 10^{-3} Q;$$

- для шахт филиала «Ленинскуголь» УК «Кузбассуголь»:

$$w = -2.62 + 0.057 H + 0.052 V - 0.34 L + 0.82 i - 21.7 D + 6.8 \cdot 10^{-4} Q;$$

- для шахт Прокопьевско-Киселевского района:

$$w = 124.5 + 0.115 H - 0.07 V - 3.8 L - 2.65 i + 5.45 D + 0.01 Q;$$

- для шахт УК «Кузнецкуголь»:

$$w = 100.7 - 0.08 H + 0.043 V - 1.25 L + 0.35 i + 19.7 D - 3.8 \cdot 10^{-5} Q.$$

Заявляемая электрическая мощность предприятия, как составляющая двухставочного тарифа за электроэнергию, обычно определяется на основе изучения графиков нагрузки шахт. Методы математической статистики позволяют на основе многолетних данных получить статистические многофакторные уравнения регрессии, в которых влияние того или иного общешахтного потребителя на общий результат проявляется на основе его участия в формировании исследуемого фактора в течение длительного времени на определенном уровне.

При составлении математических моделей заявляемой оплачиваемой мощности шахт были включены факторы, оказывающие наибольшее влияние на исследуемый параметр, то есть, имеющие наибольшее значение парного коэффициента корреляции r_{yx} .

Полученные уравнения множественной регрессии для заявляемой мощности в часы максимума энергосистемы приведены в табл. 2.

Данные, представленные в табл. 2, говорят о том, что связь заявляемой мощности с исследуемыми факторами имеет линейный характер и близка к функциональной, а полученные уравнения статистически значимо описывают результаты наблюдений, что позволяет рекомендовать эти уравнения для практических расчетов.

Приведенные выше математические статистические модели заявляемой мощности могут быть использованы для анализа ее изменения под воздействием влияющих на нее факторов, для планирования ее на перспективу, а также для ориентировочного определения расчетной мощности электропотребителей при проектировании шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захарова А.Г. Закономерности электропотребления на угольных шахтах Кузбасса: Монография / Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2002. – 198 с.
2. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул.-М.: Высш.шк., 1988.-239.
3. Математическая статистика / Иванова В.М., Калинина В.М., Нешумова Л.А. и др. – М.: Высш. школа, 1981.- 371.
4. Закс, Лотар. Статистическое оценивание. - М.: Статистика, 1976.-598 с.
5. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ.-М.: Статистика, 1973.-279 с.

Автор статьи:

Захарова
Алла Геннадьевна
- канд техн. наук, доц.каф. электро-
привода и автоматизации

УДК 621.3:622.016.6

А.Г.Захарова

ОБОСНОВАНИЕ МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПЕРЕДВИЖНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ

Особенностью состояния электроснабжения очистных забоев (СЭС ОЗ) является то, что нагрузка наиболее мощного потребителя - комбайна - отнесена в силу причин технологического характера на большое удаление (до 500 м) от подземных участковых передвижных транспортных подстанций (ПУПП). По этой причине возникают трудности с обеспечением требуемого пускового и номинального момента из-за больших возможных потерь напряжения при пуске комбайновых электродвигателей и при работе их под нагрузкой.

В связи с этим особую важность приобретают методы расчета мощности трансформатора ПУПП и сечений кабелей, обеспечивающих устойчивую высокопроизводительную работу всего ГШО участка, в том числе и комбайна.

При выборе мощности участкового трансформатора используют известный метод коэффициента спроса:

$$S_{TP} \geq \sum P_i / \cos \varphi_{cp},$$

где $\sum P_i = k_c P_{n.ocm} + P_p$ - суммарная нагрузка потребителей участка; $P_{n.ocm}$ - суммарная

установленная (номинальная) мощность всех потребителей участка, питающихся от трансформатора, за исключением P_p – мощности наиболее мощного электродвигателя (может быть принята фактическая мощность электродвигателя комбайна в режиме S4 – 60%); $\cos \varphi_{cp} = \sum P_i \cos \varphi_i / \sum P_i$ - средний расчетный коэффициент мощности; $\cos \varphi_i$ - номинальный коэффициент мощности i -го потребителя; k_c – коэффициент спроса, учитывающий загрузку электродвигателей и неодновременность их работы.

Недостаток расчета нагрузок по методу коэффициента спроса известен - это низкий уровень точности. Кроме того, при его применении не учитывается наличие жестких технологических связей между основными потребителями очистного забоя – комбайном, конвейерами и маслостанцией. Все эти потребители работают одновременно и потребляют мощность (за исключением маслостанции), определяемую производительностью комбайна.

Низкая точность метода усугубляется тем, что рекомен-

дованная Центргипрошахтом [1] формула расчета k_c для очистных забоев, оборудованных гидрофицированными крепями и комбайнами, в виде:

$$k_c = 0,4 + 0,6 \frac{P_p}{\sum P_{ni}} \quad (1)$$

не отражает произошедшего в последние годы изменения соотношения мощностей электродвигателей комбайнов и конвейеров. Здесь $\sum P_{ni}$ - суммарная установленная мощность электроприемников участка (очистного забоя).

Отметим, что в те времена, когда создавалась формула (1), электродвигатель комбайна 60 - 100 кВт был самым мощным потребителем очистного забоя, а мощность электродвигателей забойных конвейеров не превышала 32 - 55 кВт.

Из табл. 1 видно, что в настоящее время установленная мощность электродвигателей конвейеров либо равна, либо превышает установленную мощность комбайна. В связи с этим возникают трудности в применении (1) для определения коэффициента спроса.

Если воспользоваться рекомендациями Центргипрошахта