

**Непша Федор Сергеевич**, канд. техн. наук, старший преподаватель, **Ефременко Владимир Михайлович**, канд. техн. наук, профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

E-mail: nepshafs@kuzstu.ru

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ АВАРИЙНОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БРОНИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

**Аннотация:** В статье рассмотрен вопрос определения величины аварийной и технологической брони электроснабжения на угольных шахтах. Отмечено, что в нормативных документах четко не определен порядок ее определения. В связи с этим потребители используют для расчетов наиболее простые коэффициентные методы (метод коэффициента спроса и метод коэффициента использования). Авторы отмечают, что коэффициентные методы не позволяют корректно определить величину аварийной и технологической брони электроснабжения, так как они не учитывают технические и организационные возможности использования потребителей-регуляторов, а также не принимают во внимание специфику функционирования оборудования при остановке технологического процесса. На примере одной из угольных шахт Кузбасса выполнен расчет величины аварийной и технологической брони электроснабжения с использованием коэффициентных методов. В результате установлено, что методы коэффициента спроса и использования дают практически идентичные результаты. В качестве заключения отмечено, что для определения величины аварийной и технологической брони электроснабжения следует применять метод технологического графика с имитационным моделированием режима работы шахты после остановки технологического процесса.

**Ключевые слова:** угольные шахты, аварийная и технологическая броня, электроснабжение, методы расчета электрических нагрузок, коэффициент использования, коэффициент спроса, метод технологического графика.

**Информация о статье:** принята 20 августа 2019 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-5-38-43

В соответствии с Приложением к [1] угольные шахты относятся к категории потребителей электрической энергии (мощности), ограничение режима потребления электрической энергии которых может привести к экономическим, экологическим, социальным последствиям. У подобных потребителей всегда имеются электроприемники аварийной и технологической брони электроснабжения. В соответствии с п. 36 [1] наличие аварийной и технологической брони электроснабжения подтверждается актом согласования технологической и (или) аварийной брони (далее – актом АиТБ), составленном потребителем и согласованном сетевой организацией.

В соответствии с п. 18 [1] при отсутствии акта АиТБ у потребителя величина аварийной брони определяется энергосбытовой компанией по согласованию с сетевой организацией в размере не менее 10 процентов максимальной мощности, определенной актом раздела балансовой принадлежности. В таком случае потребитель несет ответственность за последствия, в том числе перед третьими лицами, вызванные применением к нему ограничения режима потребления в соответствии с [1].

Таким образом, для угольных шахт разработка Акта АиТБ является обязательной процедурой и необходима для выполнения следующих задач:

1. Определение минимальных объемов электрической энергии, которые должны поставляться на угольную шахту для безопасного завершения технологического процесса и безаварийного простоя шахты.
  2. Определение мощности автономных источников питания, наличие которых на угольных шахтах предусмотрено п. 31(6)[2] и п. 3.10[3].
  3. Определение объема мощности, на который может быть ограничено потребление угольной шахты в случае аварии в энергосистеме. Информация необходима для формирования графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии (мощности) [4].
  4. Оценка соответствия схемы внутреннего электроснабжения угольной шахты требованиям ПУЭ. В частности, ранее в нормативных документах [5], определяющих порядок формирования актов АиТБ, существовало требование о том, что электроприемники аварийной брони электроснабжения должны быть выделены на отдельные питающие линии. В текущей редакции [4] такое требование отсутствует, однако оно существует в п. 37 [1].
- На первом этапе формирования Акта АиТБ выполняется определение перечня электроприемников, которые относятся к электроприемникам

аварийной и технологической брони электроснабжения (далее – электроприемникам АиТБ).

В зависимости от горно-геологических условий к электроприемникам АиТБ угольных шахт могут относиться следующие электроприемники: вентилятор главного проветривания ( $P_{вп}$ ); главный водоотлив ( $P_{в.г}$ ); механизмы котельной, обеспечивающей работу котельной с минимальной производительностью ( $P_k$ ); насосы системы пожаротушения ( $P_{п.т.}$ ); охранное освещение ( $P_{о.с.}$ ); устройства связи ( $P_{с.с.}$ ); собственные нужды АИП ( $P_{с.н.}$ ); участок водоотлив ( $P_{у.в.}$ ); клетевой людской или грузо-людской подъем ( $P_{кл.л.}$ ); угольный подъем ( $P_{у.л.}$ ); механизмы очистного механизированного комплекса очистного забоя ( $P_{о.з.}$ ); механизмы подземного транспорта, связанные с работой очистного комплекса ( $P_m$ ).

Далее выполняется определение величины аварийной и технологической брони электроснабжения. Опыт Филиала ПАО «МРСК Сибири» – «Кузбассэнерго – РЭС» показал, что потребители, как правило, выполняют расчет величины аварийной и технологической брони электроснабжения с использованием метода коэффициента спроса или метода коэффициента использования.

Отсутствие четких принципов в определении величины аварийной и технологической брони электроснабжения связано с тем, что в [4] нет указаний на методы, которые могут применяться для определения величины аварийной и технологической брони электроснабжения. Однако в [4] указано, что величины аварийной и технологической брони электроснабжения определяются как минимальный расход электрической энергии (наименьшая потребляемая мощность), необходимый для поддержания безопасного состояния предприятия и безопасного завершения технологического процесса соответственно. При этом в [4] указано, что наименьшая потребляемая мощность признается равной величине максимальной мощности токоприемников, необходимой для завершения технологического процесса. Таким образом, в [4] нет четких предписаний по применению определенного метода расчета электрических нагрузок.

Методам определения электрических нагрузок промышленных предприятий посвящены работы [3,6–12], в которых представлены теоретические положения и практические результаты для стадий проектирования и эксплуатации систем электроснабжения.

Расчет электрических нагрузок для угольных шахт в зависимости от режимов работы электроприемников и горно-геологических условий выполняется с помощью следующих методов:

1. Расчет активной нагрузки  $P_p$  (кВт) с использованием коэффициента спроса:

$$P_p = K_c \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность электроприемников, кВт;  $K_c$  – коэффициента спроса, определяемый по справочным данным [3].

Коэффициент спроса является отношением максимальной потребляемой активной мощности (в условиях эксплуатации электрооборудования) или расчетной нагрузки (при проектировании

электроустановок) к номинальной мощности группы электроприемников [7]. Таким образом, коэффициент спроса не позволяет определить наименьшую мощность или расход электроэнергии, как предписывает [4]. Метод коэффициента спроса был введен в 1891 г. Р. Кромптоном. При этом на практике было доказано, что электрические нагрузки, рассчитанные по методу коэффициента спроса, значительно превышают действительные.

2. Расчет активной нагрузки  $P_p$  (кВт) с использованием коэффициента максимума:

$$P_p = K_m \cdot P_{cp},$$

где  $P_{cp}$  – средняя нагрузка, кВт;  $K_m$  – коэффициент максимума, численно больший либо равный единице и определяемый по справочным данным.

Данный метод позволяет определить максимальную мощность, потребляемую электроприемником, что также противоречит определениям аварийной и технологической брони электроснабжения, представленным в [4].

3. Метод удельного расхода электроэнергии:

$$P_p = w_0 \cdot A / T_m, \quad (3)$$

где  $w_0$  – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т;  $A$  – производственная мощность (добыча) предприятия, т;  $T_m$  – годовое число часов максимума нагрузки, ч.

Метод удельного расхода электроэнергии не позволяет определить мощность электроприемников аварийной и технологической брони электроснабжения, так как применяется для определения нагрузки угольной шахты в нормальном режиме, когда добыча угля  $A \neq 0$ . Метод удельного расхода ЭЭ целесообразно применять для предварительного расчета нагрузки, когда известен годовой выпуск продукции.

4. Метод технологического графика:

$$P_p = f(P_{ном}, K_3, \dots), \quad (4)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки электроприемника.

Метод опирается на график работы агрегата или группы машин и позволяет учесть изменение потребляемой мощности при завершении технологического процесса на предприятии. При этом за максимум электрической нагрузки электроприемников аварийной и технологической брони электроснабжения принимается наибольшее усредненное за 30 минут значение электрической мощности.

5. Метод коэффициента использования:

$$P_c = K_u \cdot P_{ном} \quad (5)$$

где  $P_c$  – средняя мощность электроприемника за некоторый период (технологический цикл, смену, сутки, год и т. д.);

Данные о коэффициентах использования электрических нагрузок принимаются из [9]. Коэффициент использования может быть определен по формуле (6):

$$K_u = \frac{w_u}{P_{ном} \cdot t_u} = \frac{w_u}{w_{ном}}, \quad (6)$$

где  $w_{ном}$  – максимально возможный расход электроэнергии, который мог бы быть при условии, что электроприемник постоянно работает в течение цикла с номинальной мощностью без пауз. Из (6) следует, что коэффициент использования зависит от

Таблица 1. Результаты расчета величины АиТБ электроснабжения ООО «Шахта «Байкаимская»  
Table 1. The results of calculating the amount of emergency and technological standby reserve of power supply at LLC "Mine" Baykaïmskaya "

Наименование ЭП	Номинальная мощность ЭП, кВт	$K_c$ [3]	$K_n$ [9]	Величина брони по методу $K_c$ , кВт	Величина брони по методу $K_n$ , кВт
ВГП	2х500	0,65-0,85	0,75	650-850	750
Противопожарная насосная станция	190	0,75	0,75	142,5	142,5
Перекачная насосная станция	60	0,7-0,8	0,75	42-48	45
ВМП	7х45	0,65	0,65	204,75	204,75
ВНУ	614	0,7-0,75	0,75	429,8-460,5	460,5
Диспетчерская, сервер АГК, телефонная станция	25	0,75	0,75	18,75	18,75
Итого	2204			1487,8-1724,5	1621,5

\*ВГП – вентилятор главного проветривания, ВМП – вентилятор местного проветривания, ВНУ – воздухоподогревательная установка, АГК – аэрогазовый контроль

периода времени, для которого он определяется. При увеличении длительности паузы в работе ЭП уменьшается коэффициент использования за рассматриваемый период. Следовательно, коэффициент использования за сутки меньше, чем за рабочую смену, а среднегодовой - меньше, чем за рабочие сутки.

Для расчета электрических нагрузок АиТБ угольных шахт ввиду своей простоты в настоящее время используются коэффициентные методы. Важно отметить, что [4] предусматривает определение нагрузки только по методу коэффициента спроса. Тем не менее, документ [4] устанавливает порядок проектирования СЭС угольных шахт и не может быть использован в качестве руководящего документа при определении мощности аварийной и технологической брони электроснабжения.

На примере ООО «Шахта «Байкаимская» выполнен расчет величины аварийной и технологической брони электроснабжения с использованием коэффициента использования и коэффициента спроса. Результаты расчета представлены в таблице 1. Проведенный анализ коэффициентов спроса и использования в нормативных документах [3,9] показывает, что в большинстве случаев значения коэффициентов практически идентичны, при этом в отдельных случаях наблюдаются значительные отклонения:

1. Коэффициент использования для водоотливов мощностью свыше 400 кВт превышает значения коэффициента спроса для главного водоотлива в нормативном документе [3].

2. В [3] нет градации коэффициента спроса для ВГП разной мощности.

3. В [3] у большинства ЭП коэффициент спроса задается диапазоном, при этом нет четких указаний к выбору определенного  $K_c$ . Однако верхняя граница  $K_c$  в большинстве случаев не превышает значение  $K_n$  в [9].

Данные таблицы 1 показывают, что метод коэффициента спроса и метод коэффициента

использования практически идентичны при расчете величины аварийной и технологической брони электроснабжения.

Коэффициентные методы в силу своей узкой области применения (проектирование СЭС) не позволяют принять во внимание тип технологического оборудования, режим его работы и специфику производственного цикла. Коэффициентные методы были разработаны для получения максимального расчетного значения нагрузки предприятия на стадии проектирования. Таким образом, они не могут применяться для определения величины аварийной и технологической брони электроснабжения угольных предприятий. Кроме того, при определении величины АиТБ коэффициентными методами не выполняются требования п. 5.3 [3], т.к. потребители не учитывают технические и организационные возможности снижения ее величины с использованием потребителей регуляторов. Стоит отметить, что коэффициенты, приведенные в [3,9], были определены 20-50 лет назад, когда энерговооруженность горношахтного оборудования была значительно ниже.

В связи с вышесказанным, наиболее эффективным методом для определения величины аварийной и технологической брони электроснабжения является метод технологического графика, который получил свое развитие в «Методике определения аварийной и технологической брони электроснабжения предприятий угольной промышленности», утвержденной Минуглепромом СССР 12.11.1987 [6]. В [6] в качестве расчетной величины аварийной и технологической брони электроснабжения принимается наибольшее усредненное за 30 минут значение мощности. Также в [6] имеются указания по использованию потребителей-регуляторов.

В работе Рухлова А.В. [13] была предложена имитационная модель определения мощности электроприемников АиТБ для каждого характерного периода ограничения электроснабжения, которая учитывает горно-геологические условия и

технологические взаимосвязи. Имитационная модель предполагает выполнение анализа сочетаний индивидуальных графиков, которые получены наложением на них ограничений, что позволяет выбрать график электрических нагрузок, характеризующийся минимальной мощностью АиТБ электроснабжения. Такая модель наиболее эффективно реализует принципы, описанные в [6].

#### Выводы

1. Разработка Актов АиТБ на угольных предприятиях является важнейшей задачей, которая должна выполняться в обязательном порядке для обеспечения необходимого уровня надежности электроснабжения угольной шахты.

2. Нормативные документы не определяют четкого порядка определения величины аварийной и технологической брони электроснабжения. В связи с этим для определения величины аварийной и технологической брони электроснабжения применяются наиболее простые «коэффициентные» методы.

3. В рамках определения АиТБ методы коэффициента спроса и использования практически идентичны. При этом эти методы предназначены для определения нагрузок в нормальном режиме и не учитывают тип технологического оборудования, режим его работы и специфику производственного цикла. Следовательно, они не применимы для определения величины аварийной и технологической брони электроснабжения.

4. Для определения величины АиТБ следует применять метод технологического графика. Особенности применения метода технологического графика подробно описаны в [6].

5. При определении АиТБ на угольных шахтах не учитываются предписания п. 5.3 [3], т.к. потребители не учитывают технические и организационные возможности снижения ее величины с использованием потребителей-регуляторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 27 декабря 2004 г. № 861 (с изменениями, утвержденными в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 4 мая 2012 г. № 442). – Режим доступа: Система «Консультант плюс».

2. Об утверждении правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 27 декабря 2004 г. № 861 (с изменениями, утвержденными в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 4 мая 2012 г. № 442). – Режим доступа: Система «Консультант плюс».

3. Инструкция по проектированию электроустановок угольных шахт, разрезов, обогатительных и брикетных фабрик / М.: Министерство топлива и энергетики РФ, Комитет угольной промышленности. – 1993. – 114 с.

4. Об утверждении правил разработки и применения графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии (мощности) и использования противоаварийной автоматики [Электронный ресурс]: приказ Министерства энергетики РФ от 6 июня 2013 г. №290. – Режим доступа: Система «Консультант плюс».

5. Об утверждении Правил разработки и применения графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии и использования противоаварийной автоматики [Электронный ресурс]: приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 18 марта 2008 г. №124. – Режим доступа: Система «Консультант плюс».

6. Методика определения аварийной и технологической брони электроснабжения предприятий угольной промышленности, утверждена Минуглепромом СССР 12.11.1987, введена в действие с 01.01.1990, Москва, 1989. – 154 с.

7. Электрические нагрузки промышленных предприятий / Волобровский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н., Мешель Б.С. – Л.: Энергия, 1971. – 264 с.

8. Кудрин, Б.И. Основы комплексного метода расчета электрических нагрузок // Промышленная энергетика. 1986. - №11. - С. 23-27.

9. Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок/М: Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР, НПО «Электромонтаж» ордена трудового красного знамени всесоюзный научно-исследовательский проектный и проектно-конструкторский институт по комплексной электрификации промышленных объектов «Тяжпромэлектропроект имени Ф.Б. Якубовского». – 1990 – 118 с.

10. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках // Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. 1968. № 6. С. 3-17.

11. Электрификация стационарных установок шахт: Справочное пособие / Волотковский С.А., Крюков Д.К., Разумный Ю.Т. и др. – М.: Недра, 1990. – 399 с.

12. Розен В.П. Оперативное планирование и управление электрической нагрузкой промышленных предприятий (на примере угольных шахт): диссертация канд. техн. наук. – К., 1983. – 181 с.

13. Рухлов А.В. Метод определения мощности аварийной брони электроснабжения угольных шахт: диссертация канд. техн. наук. – Днепропетровск, 2005. – 163 с.

## ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE EMERGENCY AND TECHNOLOGICAL STANDBY RESERVE OF COAL MINES POWER SUPPLY

**Abstract:** The article considers the issue of determining the amount of emergency and technological standby reserve of power supply in coal mines. It is noted that the regulatory documents do not define clearly the procedure for its determination. In this regard, consumers use the simplest coefficient methods (demand coefficient method and utilization method) for calculations. The authors note that the coefficient methods do not allow to correctly determine the amount of emergency and technological standby reserve of power supply, since they do not take into account the technical and organizational possibilities of using consumer regulators, and also do not take into account the specifics of the operation of the equipment when the process is stopped. On the example of one of the coal mines of Kuzbass, the calculation of the amount of emergency and technological standby reserve of power supply using coefficient methods has been performed. As a result, it was found that the methods of the demand and utilization factors give almost identical results. As a conclusion, it was noted that to determine the amount of emergency and technological standby reserve of power supply, the method of the technological schedule should be applied with simulation modeling of the mine's operating mode after the technological process was stopped.

**Keywords:** coal mines, emergency and technological standby reserve, power supply, methods of calculating electrical loads, utilization factor, demand coefficient, technological schedule method.

**Article info:** received August 20, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-5-38-43

### REFERENCES

1. O funkcionirovaniy roznichnykh rynkov elektricheskoy energii, polnom i (ili) chastichnom ograniichenii rezhima potrebleniya elektricheskoy energii [Elektronnyy resurs]: postanovlenie Pravitel'stva RF ot 27 dekabrya 2004 g. № 861 (s izmeneniyami, utverzhdenymi v sootvetstvii s Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 4 maya 2012 g. № 442). – Rezhim dostupa: Sistema «Konsul'tant plyus».
2. Ob utverzhdenii pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam po peredache elektricheskoy energii i okazaniya etih uslug [Elektronnyy resurs]: postanovlenie Pravitel'stva RF ot 27 dekabrya 2004 g. № 861 (s izmeneniyami, utverzhdenymi v sootvetstvii s Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 4 maya 2012 g. № 442). – Rezhim dostupa: Sistema «Konsul'tant plyus».
3. Instrukciya po proektirovaniyu elektroustanovok ugol'nyh shaht, razrezov, obogatitel'nyh i briketnyh fabrik / M.: Ministerstvo topliva i energetiki RF, Komitet ugol'noj promyshlennosti. – 1993. – 114 s.
4. Ob utverzhdenii pravil razrabotki i primeneniya grafikov avariynogo ograniicheniya rezhima potrebleniya elektricheskoy energii (moshchnosti) i ispol'zovaniya protivovariynoj avtomatiki [Elektronnyy resurs]: prikaz Ministerstva energetiki RF ot 6 iyunya 2013 g. №290. – Rezhim dostupa: Sistema «Konsul'tant plyus».
5. Ob utverzhdenii Pravil razrabotki i primeneniya grafikov avariynogo ograniicheniya rezhima potrebleniya elektricheskoy energii i ispol'zovaniya protivovariynoj avtomatiki [Elektronnyy resurs]: prikaz Ministerstva promyshlennosti i energetiki RF ot 18 marta 2008 g. №124. – Rezhim dostupa: Sistema «Konsul'tant plyus».
6. Metodika opredeleniya avariynoj i tekhnologicheskoy broni elektrosnabzheniya predpriyatij ugol'noj promyshlennosti, utverzhdena Minuglepromom SSSR 12.11.1987, vvedena v dejstvie s 01.01.1990, Moskva, 1989. – 154 s.
7. Elektricheskie nagruzki promyshlennyh predpriyatij / Volobrinskij S.D., Kayalov G.M., Klejn P.N., Meshel' B.S. – L.: Energiya, 1971. – 264 s.
8. Kudrin, B.I. Osnovy kompleksnogo metoda rascheta elektricheskikh nagruzok // Promyshlennaya energetika. 1986. - №11. - S. 23-27.
9. Spravochnye dannye po raschetnym koeffitsientam elektricheskikh nagruzok/M: Ministerstvo montazhnyh i special'nyh stroitel'nyh rabot SSSR, NPO «Elektromontazh» ordena trudovogo krasnogo znameniy vsesoyuznyy nauchno-issledovatel'skij proektnyj i proektno-konstruktorskij institut po kompleksnoj elektrifikacii promyshlennyh ob'ektov «Tyazhpromelektroproekt imeni F.B. Yakubovskogo». – 1990 – 118 s.
10. Ukazaniya po opredeleniyu elektricheskikh nagruzok v promyshlennyh ustanovkakh // Instruktivnye ukazaniya po proektirovaniyu elektrotekhnicheskikh promyshlennyh ustanovok. 1968. № 6. S. 3-17.

11. Elektrifikaciya stacionarnyh ustanovok shaht: Spravochnoe posobie / Volotkovskij S.A., Kryukov D.K., Razumnyj Yu.T. i dr. – M.: Nedra, 1990. – 399 s.

12. Rozen V.P. Operativnoe planirovanie i upravlenie elektricheskoy nagruzkoy promyshlennyh

predpriyatij (na primere ugol'nyh shaht): dissertaciya kand. tekhn. nauk. – K., 1983. – 181 s.

13. Ruhlov A.V. Metod opredeleniya moshchnosti avarijnoj broni elektrosnabzheniya ugol'nyh shaht: dissertaciya kand. tekhn. nauk. – Dnepropetrovsk, 2005. – 163 s.

#### **Библиографическое описание статьи**

Непша Ф.С., Ефременко В.М. Анализ методов определения величины аварийной и технологической брони электроснабжения на угольных шахтах // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 5 (145). – С. 38-43.

#### **Reference to article**

Nepsha F.S., Efremenko V.M. Analysis of methods for determining the emergency and technological standby reserve of coal mines power supply. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 5 (145), pp. 38-43.