

УДК 621.32 (075.8)

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЯВЛЯЕМОЙ ПОЛУЧАСОВОЙ МОЩНОСТИ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Канд. техн. наук, доц. РАДКЕВИЧ В. Н., магистр техн. наук МИХНЕВИЧ О. А.

Белорусский национальный технический университет

В связи с высокими ценами на энергоресурсы энергетическая составляющая в себестоимости продукции может быть весьма значительной и на энергоемких промышленных предприятиях достигать 60 % и более. Для ее снижения нужно не только рационально использовать энергоресурсы, разрабатывать и реализовывать мероприятия по их экономии, но и правильно заявлять ожидаемые показатели электропотребления на расчетный период (месяц, квартал, год), которые указываются в договоре с энергоснабжающей организацией на снабжение электрической энергией.

Промышленные и приравненные к ним потребители с присоединенной мощностью 750 кВ·А и более производят оплату за электропотребление по двухставочным тарифам, представляющим собой системы ценовых ставок, по которым осуществляются расчеты за электрическую энергию (мощность). При этом максимальная мощность (заявленная или фактическая) в часы наибольших нагрузок энергосистемы является одним из показателей электропотребления [1].

Для потребителей, не имеющих расчетной автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), применяется двухставочный тариф, состоящий из платы за 1 кВт заявленной наибольшей активной мощности P_{\max} , участвующей в максимуме нагрузки энергосистемы, и платы за 1 кВт·ч потребленной электроэнергии W за расчетный период. В этом случае плата за электроэнергию подсчитывается по выражению

$$\Pi_3 = aP_{\max} + bW, \quad (1)$$

где a – плата за 1 кВт заявленной максимальной мощности (основная ставка тарифа); b – плата за 1 кВт·ч активной электроэнергии (дополнительная ставка тарифа).

Таким образом, при оплате полученной электроэнергии по двухставочному тарифу необходимы приборы учета, фиксирующие P_{\max} и W . Под заявленной (договорной) мощностью понимается наибольшая получасовая активная мощность, которую потребитель обязуется не превышать ежедневно в часы максимальной нагрузки энергосистемы. Величина заявленной мощности, как правило, устанавливается на год с разбивкой по месяцам.

В соответствии с действующими в Республике Беларусь нормативными документами потребитель, имеющий расчетную АСКУЭ и рассчитывающийся за электропотребление по двухставочному тарифу, по согласованию с энергоснабжающей организацией вправе выбрать для себя один из двух видов тарифа:

- двухставочный – с основной платой за фактическую величину наибольшей потребляемой активной мощности;
- двухставочно-дифференцированный – с основной платой за фактическую величину наибольшей потребляемой активной мощности.

При применении двухставочного тарифа полная плата за потребленные электрическую мощность и энергию за расчетный период рассчитывается по следующей формуле:

$$\Pi_3 = aP_{\text{фmax}} + bW, \quad (2)$$

где $P_{\text{фmax}}$ – фактическая максимальная потребляемая мощность предприятия в часы наибольших нагрузок энергосистемы, кВт.

В случае использования двухставочно-дифференцированного тарифа плата за электропотребление за расчетный период определяется по выражению

$$\Pi_3 = ak_a P_{\text{фmax}} + b(k_n W_n + k_{\text{пп}} W_{\text{пп}} + k_{\text{п}} W_{\text{п}}), \quad (3)$$

где k_a – понижающий коэффициент к основной ставке двухставочного тарифа, $k_a = 0,5$; k_n , $k_{\text{пп}}$ и $k_{\text{п}}$ – соответственно ночной, полупиковый и пиковый тарифные коэффициенты, применяемые к дополнительной ставке тарифа; W_n , $W_{\text{пп}}$ и $W_{\text{п}}$ – количество активной энергии, потребленной в ночной, полупиковой и пиковой тарифных зонах суток соответственно, кВт·ч.

При этом полное количество активной энергии, потребленной за расчетный период, определяется как

$$W = W_n + W_{\text{пп}} + W_{\text{п}}. \quad (4)$$

Если потребитель с присоединенной мощностью 750 кВ·А и более имеет лишь одну точку учета электроэнергии, то в качестве расчетной автоматизированной системы допускается применять электронный программируемый многотарифный счетчик активной энергии, осуществляющий фиксацию величин наибольшей получасовой активной мощности (потребляемой в утренние и вечерние часы максимальных нагрузок энергосистемы) и отдельный учет потребляемой активной энергии в тарифных зонах суток.

При повреждении любого из технических средств, входящих в состав расчетной автоматизированной системы, расчеты с потребителем, начиная с расчетного периода, в котором произошло повреждение, переводятся на двухставочный тариф с основной платой за договорную величину наибольшей потребляемой активной мощности, определяемой по формуле (1). Такая система оплаты применяется до устранения повреждений в расчетной АСКУЭ, проведения внеочередной государственной поверки указанной автоматизированной системы и завершения текущего расчетного периода.

В случае превышения за расчетный период договорных величин наибольшей потребляемой активной мощности и (или) потребления актив-

ной энергии, потребитель обязан оплатить величины превышения потребления активной мощности и (или) энергии на тех же условиях, что и при применении двухставочного тарифа с основной платой за договорную величину наибольшей потребляемой активной мощности. В такой ситуации потребитель уплачивает энергоснабжающей организации десятикратную стоимость электрической мощности (энергии), израсходованной сверх количества, предусмотренного договором на соответствующий расчетный период [1]. При расчете платы за превышение договорной величины наибольшей потребляемой активной мощности понижающий коэффициент k_a в формуле (3) не применяется. Если в часы максимума энергосистемы фактическая мощность потребителя превысит заявленную величину или снижается по вине электроснабжающей организации, то расчет за энергопотребление осуществляется по фактической нагрузке. В остальных случаях расчет производится по заявленной максимальной мощности.

Таким образом, независимо от применяемой системы отпускных цен на электроэнергию, дифференцированных для различных групп потребителей, определение заявляемой получасовой мощности предприятия является актуальной и важной эксплуатационной задачей, влияющей на плату за электропотребление.

Задача определения заявляемого максимума нагрузки $P_{\max 3}$ промышленного предприятия на некоторый расчетный период вероятностно-статистическим методом сводится к прогнозированию его величины на основе анализа фактических значений потребляемой активной получасовой мощности в часы максимальных нагрузок энергосистемы. Для этого необходима информация о показателях электропотребления предприятия в течение рабочих суток за предшествующие аналогичные расчетные периоды. Достоверность прогнозируемой величины $P_{\max 3}$ зависит от количества и точности измерений получасовых активных нагрузок, систематичности и тщательности сбора исходной информации для прогнозирования. Если в сутки производить измерения в течение периодов контроля максимумов нагрузки (утром – 2 часа, вечером – 4 часа [1]), то в сутки следует производить 12 измерений нагрузок. При непрерывном режиме работы предприятия за месяц необходимо выполнить 360–372, за квартал – 1440–1448, а за год – 5760–5792 измерений получасовой мощности. Естественно, что такой объем измерительной информации реально может быть получен лишь при автоматизации учета энергоресурсов на предприятии и эффективно обработан с применением средств вычислительной техники. Для этого необходимы соответствующие алгоритмы и компьютерные программы.

При нормальном законе распределения заявляемая активная нагрузка промышленного предприятия на очередной расчетный период может быть определена по следующему выражению [2]:

$$P_{\max 3} = \bar{P}_{\max} + \beta \sigma(P), \quad (5)$$

где \bar{P}_{\max} – среднее значение (математическое ожидание) получасовой активной максимальной мощности за аналогичный расчетный период предыдущего года; β – принятая кратность меры рассеяния случайной величины; $\sigma(P)$ – среднее квадратическое отклонение максимальной потребляемой мощности от математического ожидания.

При вероятности достоверности 0,997 величина $\beta = 3$. В этом случае

$$P_{\max 3} = \bar{P}_{\max} + 3\sigma(P). \quad (6)$$

Среднее значение получасовой активной максимальной мощности за некоторый период вычисляется по формуле

$$\bar{P}_{\max S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{\max \phi i}, \quad (7)$$

где $P_{\max \phi i}$ – фактическая получасовая активная мощность, полученная при i -м измерении максимальных нагрузок; n – количество выполненных измерений за рассматриваемый период.

Среднее квадратическое отклонение (стандарт отклонения) определяется по выражению

$$\sigma(P) = \sqrt{\left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n P_{\max \phi i}^2 - \bar{P}_{\max}^2 \right)}. \quad (8)$$

В ряде случаев допустимо и возможно находить значения \bar{P}_{\max} и $\sigma(P)$ приближенными способами. В частности, при нормальном законе распределения с вероятностью 0,997 практически все значения случайной величины электрической нагрузки укладываются в диапазон $\bar{P}_{\max} \pm 3\sigma(P)$. Тогда среднее квадратическое отклонение можно найти приближенно по наибольшим $P_{\phi \max \delta}$ и наименьшим $P_{\phi \max \mu}$ значениям числового ряда фактических максимальных получасовых мощностей по такому выражению [3]:

$$\sigma(P) = (P_{\phi \max \delta} - P_{\phi \max \mu})/6. \quad (9)$$

Когда возможный диапазон изменения случайной величины неизвестен и количество данных невелико, чтобы определить значение $\sigma(P)$ по формуле (8), для ориентировочного расчета среднего квадратического отклонения применяется выражение

$$\sigma(P) = (P_{\phi \max \delta} - P_{\phi \max \mu})/4. \quad (10)$$

В формуле (10) учитывается, что при небольшом количестве исходных данных маловероятно, что в их число попали $P_{\phi \max \delta}$ и $P_{\phi \max \mu}$.

При необходимости, достаточно грубую оценку среднего значения можно произвести по выражению

$$\bar{P}_{\max} = (P_{\phi \max \delta} + P_{\phi \max \mu})/2. \quad (11)$$

Найденные по формулам (9)–(11) статистические показатели случайной величины могут быть использованы для предварительного анализа полученных в результате измерений значений максимальных получасовых нагрузок. Возможная ошибка отдельного измерения получасовой нагрузки не должна превышать величины $3\sigma(P)$, т. е. мощности, отличающиеся от \bar{P}_{\max} больше чем на $3\sigma(P)$, должны отбраковываться и не участвовать в дальнейших расчетах.

С целью повышения достоверности величины заявляемой активной мощности промышленного предприятия, участвующей в максимуме нагрузки энергосистемы, рассчитанное по формуле (6) значение P_{\max} умножается на коэффициент, учитывающий ожидаемое изменение электропотребления в расчетном периоде. Этот коэффициент вычисляется по выражению [4]

$$k_w = \frac{W}{W_{\text{пр}}}, \quad (12)$$

где W – расход электроэнергии, планируемый на расчетный период; $W_{\text{пр}}$ – фактический расход электроэнергии в аналогичном расчетном периоде прошлого года.

Величина $W_{\text{пр}}$ принимается по отчетным данным предприятия. Ожидаемый расход электроэнергии наиболее точно можно оценить по удельным нормам электропотребления и планируемым объемам выпускаемой продукции

$$W = \sum_{i=1}^m w_{yi} \Pi_i + W_{\text{п}}, \quad (13)$$

где w_{yi} – планируемая удельная общепроизводственная норма расхода электроэнергии на i -й вид продукции; Π_i – планируемый объем выпускаемой продукции i -го вида; m – количество видов продукции, планируемых к выпуску на предприятии; $W_{\text{п}}$ – планируемый расход электроэнергии на прочие производственные нужды, неучтенные при разработке удельных норм.

С учетом коэффициента k_w формула (6) приобретает вид

$$P_{\text{maxз}} = k_w (\bar{P}_{\text{max}} + 3\sigma(P)). \quad (14)$$

Для прогнозирования значения $P_{\text{maxз}}$ следует рассчитать требуемое минимальное число наблюдений (измерений получасовых мощностей), обеспечивающее заданную доверительную вероятность, по следующей формуле [3]:

$$N = \left(\frac{t\gamma_p \cdot 100}{\Delta} \right)^2, \quad (15)$$

где t – параметр, величина которого зависит от желаемого значения вероятности достоверности; γ_p – коэффициент вариации величины получасовой активной максимальной мощности; Δ – допустимая погрешность расчета, выраженная в процентах.

В подавляющем большинстве случаев вполне достаточной является вероятность достоверности $p = 0,95$, при которой $t = 2$.

Коэффициент вариации величины максимальной мощности вычисляется по такому выражению:

$$\gamma_p = \sigma(P) / \bar{P}_{\text{max}}. \quad (16)$$

Если количество имеющихся результатов измерений максимальной получасовой мощности $P_{\text{фmax}}$ меньше N , рассчитанного по формуле (15), то увеличивается объем выборки до значения N , если это возможно. При отсутствии необходимых для этого данных при известном объеме выборки соответствующую ему погрешность определяют по формуле

$$\Delta = \frac{t\gamma_p \cdot 100}{\sqrt{N}}. \quad (17)$$

Приведенные выше математические выражения положены в основу алгоритма определения заявляемой активной нагрузки промышленного предприятия на очередной расчетный период, блок-схема которого показана на рис. 1.

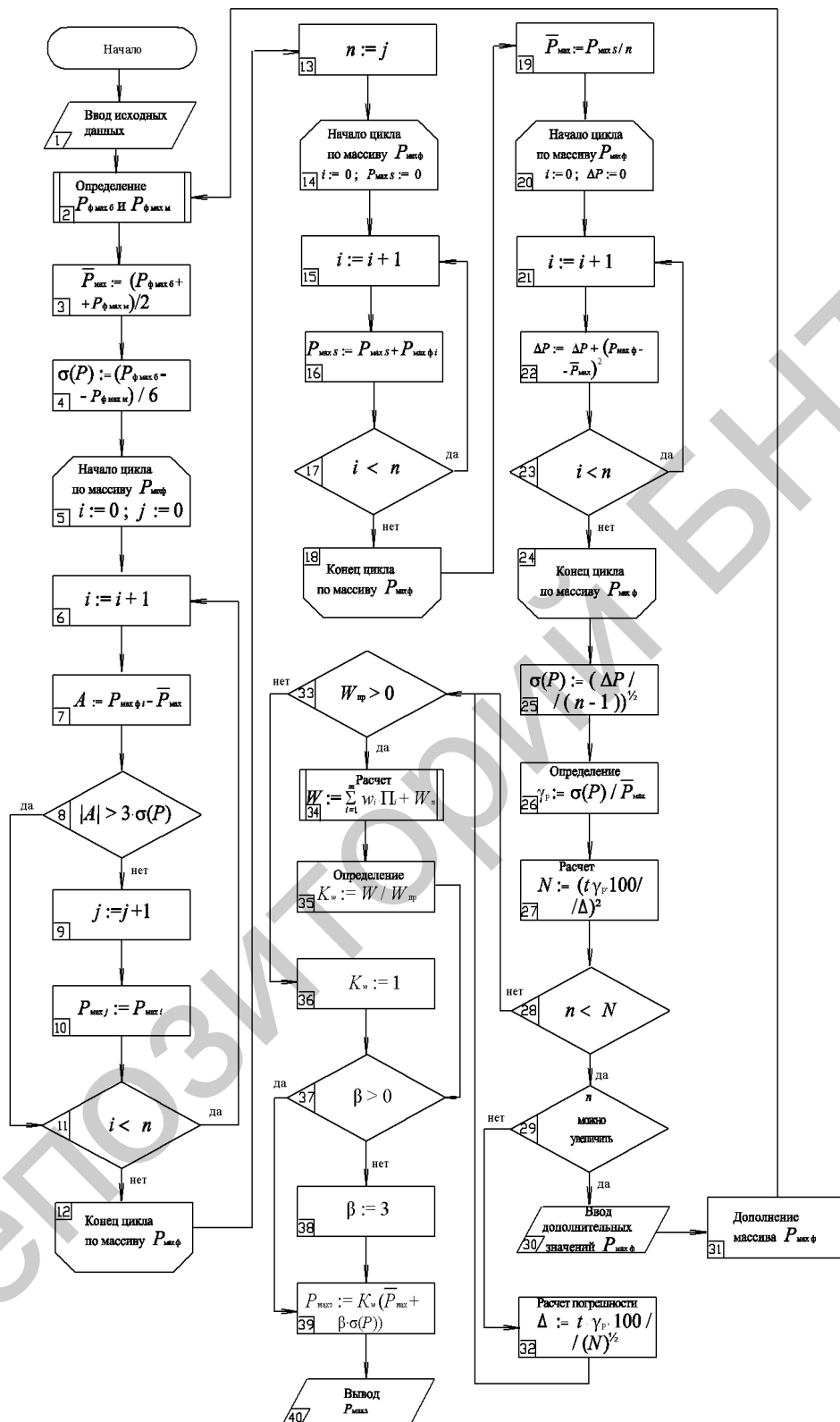


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения заявляемой получасовой мощности вероятностно-статистическим методом

В схеме использованы дополнительные вспомогательные переменные, идентифицированные в табл. 1.

Таблица 1

Идентификация переменных

Обозначение переменной	Назначение переменной
A	Накопление суммы разностей между значениями фактических максимальных активных мощностей и их средней величиной
$P_{\max S}$	Накопление суммы фактических максимальных активных мощностей
ΔP	Накопление суммы квадратов разности между значениями фактических максимальных активных мощностей и их средней величиной

Дадим некоторые пояснения разработанной блок-схеме. Исходная информация вводится в виде массива переменных, отражающих значения максимальных получасовых активных мощностей, полученных в течение периода наблюдений. Процессы 2–4 приблизительно определяют среднюю максимальную мощность \bar{P}_{\max} и среднеквадратическое отклонение $\sigma(P)$ для введенных данных. После этого выполняются анализ исходной информации и отбраковка данных, отличающихся от \bar{P}_{\max} на величину более чем на $3\sigma(P)$ (блоки 5–12). Затем по выражению (7) вычисляется средняя максимальная получасовая мощность (блоки 13–19) и по формуле (8) – среднеквадратическое отклонение (блоки 19–25). Процессы 26–31 осуществляют проверку соответствия объема исходных данных требуемой вероятности достоверности расчета. При необходимости и возможности вводится дополнительная исходная информация (блоки 29–31), и вычислительный процесс повторяется. Если дополнить исходную информацию не представляется возможным, то определяется погрешность расчета по формуле (17) при имеющемся объеме данных. Процессы 33–40 определяют заявляемую получасовую мощность потребителя в период максимальных нагрузок энергосистемы.

Разработанный алгоритм может быть программно реализован и использован при оценке ожидаемой получасовой активной нагрузки промышленных предприятий с присоединенной мощностью 750 кВ·А и более.

ВЫВОДЫ

1. Вероятностно-статистический метод определения величины заявляемой получасовой активной мощности базируется на измерении только одного вида исходной информации – максимальной получасовой активной нагрузки потребителя в часы максимума энергосистемы. Это является достоинством данного метода. Однако требуемый объем однотипной исходной информации получается достаточно большим, что затрудняет ее обработку без применения средств вычислительной техники.

2. Для решения задачи определения заявляемой мощности промышленного предприятия на очередной расчетный период на основе компьютерных технологий необходимо разработать алгоритм программы и элементы организации информационного обеспечения расчетов. Наиболее точную

исходную информацию можно получить при наличии на предприятии АСКУЭ. На предприятии необходимо создать информационную базу по электропотреблению и выпуску продукции и систематически ее поддерживать.

3. По разработанному алгоритму может быть составлена компьютерная программа для оценки величины ожидаемой получасовой мощности промышленного предприятия, заявляемой в часы максимума нагрузок энергосистемы. Применение программы позволит повысить точность расчетов за электропотребление и энергетической составляющей себестоимости выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. П р а в и л а пользования электрической и тепловой энергией. – Минск: Редакция журнала «Тыдзень», 1996. – 176 с.
2. Ф е д о р о в, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
3. Ж е л е з к о, Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.
4. И н с т р у к т и в н ы е материалы Государственной инспекции по энергонадзору. – М.: Энергия, 1977. – 350 с.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 30.05.2013

УДК 621.311.22

ОБОСНОВАНИЕ ПОНЯТИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДУБЛИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Докт. техн. наук, проф. АНИЩЕНКО В. А., асп. НЕМКОВИЧ А. С.

Белорусский национальный технический университет

Увеличение мощностей энергетических объектов, аварии на которых могут привести к значительному недоотпуску электрической и тепловой энергии и представляют большую опасность для экологии окружающей среды, требует повышения надежности измерений технологических переменных, характеризующих состояние объектов. С точки зрения надежности, измерения можно разделить на достоверные, которым сопутствуют нормальные (допустимые) погрешности измерений, и недостоверные, произведенные с аномально большими (недопустимыми) погрешностями. Последние связаны с резкими изменениями условий работы информационно-измерительной аппаратуры и чаще всего возникают в процессе измерительных преобразований. Большие погрешности могут быть также след-