

Алгоритмы определения нагрузок электрических сетей основанные на сборе и обработке больших объёмов данных

З.Х.Юлдашев, А.А.Ибрагимов, А.Г.Саидходжаев

Национальный университет Узбекистана, ziyaut@mail.ru

Навоийский Государственный педагогический институт, alim-ibragimov@mail.ru

Ташкентский Государственный технический университет, anvarsaidkhodjaev@yandex.ru

Аннотация.

В работе рассмотрены вопросы определения нагрузок непромышленных электрических сетей (ЭС), необходимых для проектирования новых и реконструкции эксплуатируемых ЭС. Предложены улучшенные вероятно-статистические, интерполяционные, а также интервальные алгоритмы, позволяющие в рамках интервального анализа учитывать неточности измерений или данных. Описывается созданное программное обеспечение, предлагаемое для определения характеристик ЭС, приведены численные примеры.

1. Постановка задачи

Достоверная информация об электрических нагрузках необходима не только при построении новых или реконструкции существующих электрических сетей, но и для решения важнейших вопросов их эксплуатации. Расчеты электрических сетей в проектных и планирующих организациях проводятся на основе удельных норм электрических нагрузок либо других производных характеристических величин, приводимых в соответствующих нормативных документах[1]. Однако реальные и нормативные электрические нагрузки функционирующих сетей, в некоторых случаях имеют разницу в 1,5 – 2 раза. Например, такая диспропорция между нормативными и реальными измерениями нагрузок нередко наблюдается при анализе причин перебоев электроснабжения и сравнении данных в микрорайонах конкретных городов с номинальными показателями, заложенными в проекты реальных ЭС[2].

Причинами указанных диспропорций являются:

недостаточная точность измерительных приборов;

недостаточная адекватность методов сбора и обработки данных, соответствующих целям определения базовых характеристик ЭС.

Проблема повышения точности измерительных приборов относится к разряду инвестиционных: либо закупаются более совершенные приборы, либо создаются отечественные импортозамещающие варианты, что очевидно является более предпочтительным.

Проблема адекватности методов сбора и обработки данных, соответствующих целям определения базовых характеристик ЭС, носит системный и алгоритмический характер. Системность заключается в том, что в действительности электрические сети должны рассчитываться с учётом всех либо основных потребительских особенностей хозяйствующих субъектов и домохозяйств. Как хозяйствующие субъекты, так и домохозяйства с целью повышения адекватности определяемых базовых характеристик ЭС могут быть продифференцированы по целому ряду критериев и характерных

особенностей функционирования или производственной деятельности, а также использования электрических установок и приборов. Важным критерием при выборе типов характеристик и установлении пользовательских приоритетов являются перспективы развития отрасли или инфраструктуры региона, а также директивно обозначенные приоритеты. Как правило, такая проблема имеет долговременный характер, а именно, возникает регулярно, как в связи с научно-техническим процессом, так и в связи со структурными изменениями в экономике и обществе.

Настоящая работа посвящена проблеме адекватности методов обработки данных, точнее совершенствованию известных и разработке новых алгоритмов определения базовых характеристик ЭС. На настоящее время большинство работ и самих разработок по типовым расчётам посвящено проблемам, связанным с расчетом электрических сетей промышленных предприятий[3-4]. Уточняя рассмотренную в работе проблему, отметим, что в ней исследованы вопросы определения нагрузок непромышленных электрических сетей, необходимых для проектирования новых и реконструкции эксплуатируемых ЭС.

2.Вероятностно - статистические методы определения характеристик ЭС

В настоящее время принято, что расчётные нагрузки должны быть достигнуты в течение 10 лет, после чего сеть может быть подвергнута реконструкции, поскольку, согласно статистике, общая нагрузка сети удваивается за 10 лет[1]. Наиболее распространённым методом определения характеристик ЭС является вероятностно – статистический подход или вероятностно – статистическое моделирование [5-7], что в большей степени распространено при исследованиях проблем энергоснабжения городов и населённых пунктов. Так, например[1], один из наиболее распространённых методов расчета ожидаемой максимальной электрической нагрузки потребителя P_{\max} состоит в использовании данных о его суммарном годовом электропотреблении $A_{\text{год}}$ и продолжительности использования максимальной нагрузки T_{\max} :

$$P_{\max} = A_{\text{год}}/T_{\max}. \quad (1)$$

Процесс разработки систем электроснабжения промышленных предприятий в [1] характеризуется следующим образом: «...При разработке систем электроснабжения промышленных предприятий определение электрических нагрузок должно производиться на всех стадиях проектирования объекта. При предпроектной проработке (схема внешнего электроснабжения) должна определяться результирующая электрическая нагрузка предприятия, позволяющая решать вопросы, связанные с его присоединением к сети энергосистемы. На этой стадии проектирования ожидаемая электрическая нагрузка предприятия может быть определена:

- по фактическому электропотреблению предприятия-аналога;
- значению коэффициента спроса при наличии достоверных данных о суммарной установленной мощности электроприемников;
- удельным показателям электропотребления.

Потребность в электроэнергии на перспективу для отдельных промышленных предприятий может быть определена:

для действующих (не реконструируемых и не расширяемых) предприятий — на основании отчетного электропотребления с учетом тенденции его изменения в перспективе;

вновь сооружаемых или реконструируемых предприятий — по данным специализированных проектных институтов.

Годовой расход энергии, потребляемой промышленным предприятием, может быть определен по выражению

$$A_{\text{год}} = P_p T_{\text{max}}, \quad (2)$$

где P_p — математическое ожидание расчетной активной мощности (нагрузки) на границе балансового разграничения с электроснабжающей организацией;

T_{max} — годовое число часов использования максимума активной мощности, определяемое в зависимости от сменности предприятия.»

Указанные формулы пригодны для случаев с явно выраженным регулярным режимом работы, характерным для промышленных предприятий, и приводят к указанным выше диспропорциям для домохозяйств. Эти диспропорции возникают вследствие существенных различий между сезонными и временными (в течение суток) различиями в интенсивности энергопользования, что приводит к необходимости учёта фактора времени собственного максимума электрических нагрузок каждого потребителя и коэффициента его участия в максимуме энергопотребления.

Для получения достоверных данных при разработке типовых графиков и определения их числовых характеристик необходимо адекватно обработать результаты экспериментальных исследований. При применении традиционных методов математической статистики и теории вероятностей, следует иметь в виду, что, согласно закону больших чисел результаты определения средней совокупности будут тогда достоверны, когда число испытаний или, иначе говоря, число обследованных членов совокупности будет достаточно велико. С другой стороны, с возрастанием числа членов совокупности, обследование их представляет весьма трудоёмкую работу и в связи с этим возникает вопрос определения количества контрольных измерений, существенной по объёму базы данных или членов в совокупности, чтобы получить средние величины с достаточной степенью точности.

На одном из этапов наших исследований обработка и анализ суточных графиков нагрузки проводились на основе вероятностно-статистического метода с использованием известных (для сравнения) и разработанных алгоритмов расчета числовых характеристик: математического ожидания и среднеквадратического отклонения, характерного типового суточного графика нагрузки с часовым, получасовым и 15 минутным интервалом времени. На описываемые ниже алгоритмы и соответствующую программу получены два патента [8,9]. Программа состоит из двух подпрограмм. В первой определяются математическое ожидание и величина максимальной нагрузки, во второй – на базе первой другие полезные величины: среднеквадратическое отклонение, удельная нагрузка, коэффициент участия в общесетевом максимуме, число часов использования максимума нагрузки. В результате - математическое ожидание для построения характерного (типового) графика нагрузки однотипных потребителей будет равно средней максимальной из среднемаксимальных величин данного типа потребителей из средних

максимальных суточных по объектам, построенных на основе средних максимальных часовых или получасовых нагрузок, которое потребовалось бы для непосредственного определения \overline{P} и σ_p . т.е.

$$\overline{P}_{срi} = \frac{\sum_{\beta=1}^m \sum_{\gamma=1}^l \sum_{j=1}^n Y_{ij\gamma\beta}}{m \ln} \quad (3)$$

где $\overline{P}_{срi}$ – математическое ожидание случайной нагрузки;

Y_{ij} – матрица исходных значений величины нагрузки суточного графика;

n – количество точек измеряемой величины суточного графика на получасовом или часовом интервале;

l – количество дней проведенных измерений нагрузки в каждой точке электрической сети;

m – количество объектов однотипных потребителей, принятых в качестве экспериментальных.

Тогда, соответственно, среднеквадратическое отклонение равно:

$$\sigma_{pi} = \sqrt{D_i} = \sqrt{\frac{\sum_{\beta=1}^m \sum_{\gamma=1}^l \sum_{j=1}^n Y_{ij\gamma\beta}^2}{m \ln} - \left(\frac{\sum_{\beta=1}^m \sum_{\gamma=1}^l \sum_{j=1}^n Y_{ij\gamma\beta}}{m \ln} \right)^2} . \quad (4)$$

Величина измеренной нагрузки суточного графика может быть задана в виде матрицы Y_{ij} – тока или мощности.

В зависимости от величины нормированного отклонения величина максимума будет иметь разные значения. Нормированное отклонение

$$t_{\alpha} = \frac{P_{макс} - \overline{P}_{ср.макс}}{\sigma_p} \quad (5)$$

показывает, на сколько стандартов от среднего отклоняется максимум нагрузки. Одновременно t_{α} показывает, как часто, то есть, насколько вероятно, возможны такие отклонения от среднего. Для внутренних сетей жилых и общественных зданий с малыми сечениями проводов и с относительно малой постоянной времени нагрева целесообразно принимать большие значения t_{α} , в частности $t_{\alpha} = 3$ (вероятность 99,7%). Для наружных сетей, для которых характерны большие величины постоянной времени нагрева, принимают $t_{\alpha} = 1,65$ (вероятность, примерно, 95%).

В зависимости от требуемой точности сетевых расчетов проектировщик может задаться необходимой достоверностью расчетных нагрузок путем выбора величины нормируемого отклонения t_{α} , по правилам «трех сигм» или «двух сигм»:

$$P_{\text{макс}} = P_{\text{ср.макс}} + 3\sigma_P \text{ или } P_{\text{макс}} = P_{\text{ср.макс}} + 2\sigma_P . \quad (6)$$

Выполнение сетевых электротехнических расчетов по графикам нагрузки потребителей представляется вообще перспективным. На основе графиков нагрузки потребителей можно провести, например, более обоснованный расчет сети на допустимые отклонения напряжения, определить интегральный показатель качества электроэнергии – неодинаковость напряжения, или действительную потерю электрической энергии в элементах сети.

Проведя многочисленные измерения электропотребителей с использованием информационно-аналитических моделей электропотребления, мониторинга автоматизированных систем учета и контроля энергии, с учетом многих факторов и требуемой точности были разработаны характерные типовые суточные графики электрических нагрузок однотипных электропотребителей в городах, на основе разработанных алгоритмов определения расчетных нагрузок электрических сетей, питающих жилые и общественные здания. Обработка и анализ суточных графиков нагрузки проводилась на основе вероятностно-статистического метода, а именно формул (3)-(6). В частности они используют экспериментальные суточные графики нагрузок потребителей жилых и общественных зданий и обеспечивают на их основе расчет числовых характеристик: математического ожидания и среднеквадратического отклонения, типового суточного графика нагрузки с получасовым и 15 минутным интервалом времени.

3. Интервальные алгоритмы

Измерения во многих случаях имеют погрешности. Они связаны как износом оборудования, так и с его несовершенством. Отсюда разрабатываемые нормативы имеют определённую этими обстоятельствами степень надёжности или степень ненадёжности, что приводит к многочисленным претензиям со стороны потребителей. Низкая надёжность как было упомянуто выше, также связана с неадекватностью математических методов обработки усреднённой информации, т. е. информации, которая априори допускает неточности и берётся за основу при разработке нормативных актов.

В качестве альтернативы для выработки соответствующих решений, принимаемых на основе обработки недетерминированных данных, ниже предлагается использование *интервальных методов*[10-12]. Применению интервального подхода при решении задачи повышения адекватности методов сбора и обработки данных, соответствующих целям определения базовых характеристик ЭС, посвящён ряд работ[13-15]. Так в [14] предложен метод повышения точности интервальной оценки отклонения напряжения от номинального значения при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий. В основе метода лежит представление отклонения значения напряжения в зажимах электроприемников от его номинального значения посредством *треугольных чисел*.

В нашем случае предлагается ряд подходов, использующих идею гарантированной апостериорной аппроксимации искомых характеристик. Так, например, замена энтропийных мер неопределённости доверительными интервалами в формулах (2)-(6), позволяет на основе интервализации результатов измерений получать интервалы, содержащие соответствующие характеристики ЭС, что в свою очередь даёт возможность использовать определённый набор содержательных интерпретаций.

Ниже будем придерживаться обозначений интервальных величин, следуя работе [12]. В частности, если нет особых оговорок, интервальные величины при написании будут выделяться форматом “*ж*” без предварительного объявления типа. Однако интервальность по типу трактуется в абстрактном смысле[16], а при реализации бинарных операций автоматически механизмом перегрузок значение интервального выражения получается как результат в соответствующей арифметике[11].

В частности формулы (3)-(6) могут быть записаны в виде:

$$\bar{P}_{cpi} = \frac{\sum_{\beta=1}^m \sum_{\gamma=1}^l \sum_{j=1}^n b_{ij} Y_{ij\gamma\beta}}{m \ln} \quad (7)$$

где \bar{P}_{cpi} – математическое ожидание случайной нагрузки;

Y_{ij} – матрица исходных значений величины нагрузки суточного графика;

b_{ij} – доверительный интервал величин Y_{ij} ;

n – количество точек измеряемой величины суточного графика на получасовом или часовом интервале;

l – количество дней проведенных измерений нагрузки в каждой точке электрической сети;

m – количество объектов однотипных потребителей, принятых в качестве экспериментальных.

Тогда, соответственно, среднеквадратическое отклонение равно:

$$\sigma_{pi} = \sqrt{D_i} = \sqrt{\frac{\sum_{\beta=1}^m \sum_{\gamma=1}^l \sum_{j=1}^n b_{ij} Y_{ij\gamma\beta}^2}{m \ln} - \left(\frac{\sum_{\beta=1}^m \sum_{\gamma=1}^l \sum_{j=1}^n b_{ij} Y_{ij\gamma\beta}}{m \ln} \right)^2} \quad (8)$$

Величина измеренной нагрузки суточного графика может быть задана в виде матрицы Y_{ij} – тока или мощности.

В зависимости от величины нормированного отклонения величина максимума будет иметь разные значения. Нормированное отклонение

$$t_{\alpha} = \frac{P_{i \hat{\alpha} \hat{\epsilon} \hat{n}} - \bar{P}_{\hat{n} \hat{\delta} \cdot i \hat{\alpha} \hat{\epsilon} \hat{n}}}{\sigma_{\hat{\delta}}} \quad (9)$$

показывает, на сколько стандартов от среднего отклоняется максимум нагрузки. Одновременно t_{α} показывает, как часто, то есть, насколько вероятно, возможны такие отклонения от среднего. Для внутренних сетей жилых и общественных зданий с малыми сечениями проводов и с относительно малой постоянной времени нагрева целесообразно принимать большие значения t_{α} , в частности $t_{\alpha} = 3$ (вероятность 99,7%). Для наружных сетей, для которых характерны большие величины постоянной времени нагрева, принимают $t_{\alpha} = 1,65$ (вероятность, примерно, 95%).

В зависимости от требуемой точности сетевых расчетов проектировщик может задаться необходимой достоверностью расчетных нагрузок путем выбора величины нормируемого отклонения t_{α} , по правилам «трех сигм» или «двух сигм»:

$$P_{\text{макс}} = P_{\text{ср.макс}} + 3\sigma_P \text{ или } P_{\text{макс}} = P_{\text{ср.макс}} + 2\sigma_P \quad (10)$$

Формирование реальных значений интервальных величин в расчётных формулах может быть осуществлено не только заменой случайных величин их доверительными интервалами, как это было сделано в формулах (7)-(10), но по принципу допустимых

нормативных отклонений, следуя работе [14]. В этом случае формула (2) может быть изменена на следующую:

$$A_{\text{год}} = [-0.05, 0.05] P_p T_{\text{max}}, \quad (11)$$

если допустимая норма отклонений должна составлять не более чем 5%.

В целом предложенные методы носят не только вероятностно-статистический характер, но и предполагают построение интервальных интерполяционных приближений [17-19]. Следует отметить, что требование ограниченности амплитуды колебаний недетерминированных данных, а именно результатов измерений характеристик ЭС, сравниваемых с нормативными, в данном случае, кроме исключительных ситуаций, можно считать выполненным, поскольку в самих нормативных документах закладываются допустимые нормы отклонений, выраженные в процентах, вводимые вследствие упомянутой недостаточности в точности измерительных приборов. Последнее предположение позволяет использовать методы интервального анализа в каждом случае на необходимом уровне интервализации параметров, избегая эффекта раскрутки [10].

Математическое моделирование, в условиях недетерминированных данных, имеет достаточно общий характер. В отдельных случаях степень неопределённости решения, задаваемая характером решаемой задачи, позволяет обойтись стандартными компромиссными подходами. Например, неопределённые данные можно усреднять либо аппроксимировать, определив допустимую погрешность, а для упрощения анализа связей между параметрами процесса, линеаризовать сложные моделирующие функции, применять подходящие эмпирические формулы [20], наконец выбрать оптимальную аппроксимацию в виде интерполяционного полинома. В более сложных случаях, когда степень неопределённости либо начальная информация не позволяет утверждать об адекватности выбранного способа моделирования процесса, возникает задача выбора метода описания для данного вида неопределённости среди существующих методов.

Как упоминалось выше, вероятностно-статистические методы являются наиболее распространёнными при математическом моделировании процессов в условиях недетерминированных данных. При данном подходе, когда производится замена неизвестного параметра a , одним числом или так называемая точечная оценка считается необходимым установить надёжность и точность такой замены, чтобы знать - к каким ошибкам может привести замена параметра a его точечной оценкой a^* , и с какой уверенностью можно ожидать, что ошибки не выйдут за известные пределы. Иначе говоря, чтобы дать представление о точности и надёжности оценки a^* , в математической статистике пользуются так называемыми доверительными интервалами и доверительными вероятностями. Доверительный интервал в данном случае рассматривается в качестве критерия надёжности или меры неопределённости. Другое направление или методы в исследовании неопределённостей параметров объектов – это методы теории нечётких множеств, когда характеристики признаков объектов являются не только числовыми, но и лингвистическими, в допущении их принадлежности многозначной логике [21]. При данном подходе введение соответствующих критериев для оценки мер неопределённости позволяет, как принимать решения, так и давать количественные характеристики или оценки адекватности имеющихся лингвистических характеристик.

Далее в данной работе рассматривается третий метод исследования мер неопределённости параметров объектов – метод интервального оценивания, при использовании которого считается, что недетерминированные параметры имеют ограниченную амплитуду колебания. Конкретно рассматривается задача интерполирования в рамках интервального анализа в предположении, что базовая интервальная арифметика может быть произвольной. В работе [18] задача интерполяции рассмотрена в классической интервальной арифметике – “интервальной арифметике по Муру”. При этом для гарантирования условия интерполяции применяется метод вложения операции вычитания интервалов из \mathbb{R} в пространство \mathbb{R}^2 .

Пусть $I([a,b])$ множество подинтервалов отрезка $[a,b]$ и на нём определена вещественная функция $f(x)$, для которой в точках $x \in I([a,b])$ определено интервальное расширение $f(x)$ [11]. Далее предположим, что в точках $x_i = [\underline{x}_i, \bar{x}_i] \in I([a,b]) (i=1, \dots, n)$, заданы интервалы $y_i = f(x_i)$ такие, что

$$f(x_i) \in y_i, \quad \forall x_i \in x_i (i=1, \dots, n). \quad (12)$$

Задача интерполяции (или интерполирования) интервальнозначной функции $f(x)$ состоит в построении интервальнозначной функции $g(x)$, такой, что

$$g(x_i) = y_i (i=1, \dots, n). \quad (13)$$

Задачу определения функции $g(x)$, при условиях ((12),(13)) назовём задачей **IIIN1**. Как и в вещественном случае, эта задача не имеет единственного решения.

Пусть точки $x_i = [\underline{x}_i, \bar{x}_i] \in I([a,b]) (i=0, \dots, n)$, таковы, что

$$\underline{x}_0 = a, \quad x_i \cap x_j = \emptyset \text{ при } i \neq j, \quad \bar{x}_n = b, \quad (14)$$

и любое вещественное сужение функции $g(x)$, принадлежит классу многочленов степени n :

$$Rs \quad g(x) \in P = \left\{ \sum_{i=0}^n a_i x^i \mid a_i \in R \right\}. \quad (15)$$

Задачу ((13),(14),(15)) назовём задачей **IIIN2**.

Пусть точки $x_i = [\underline{x}_i, \bar{x}_i] \in I([a,b]) (i=0, \dots, n)$, таковы, что

$$\omega(x_i) = \omega(x_j) \text{ при } i \neq j, \quad (16)$$

$$\underline{x}_{i+1} - \bar{x}_i = \underline{x}_{i+2} - \bar{x}_{i+1} \text{ при } i=0, \dots, n-2. \quad (17)$$

Задачу ((12)-(16)) назовём задачей **IIIN3**.

Проведено исследование сформулированных задач, проведены численные эксперименты. В частности для решения задачи **IIIN2** предлагается использовать функцию

$$g(x) = L_n(x) = \sum_{k=0}^n y_k \prod_{j \neq i} \frac{x \ominus x_j}{x_k \ominus x_j}, \quad (18)$$

где символ \ominus означает операцию нестандартного вычитания по Маркову[11], а любое вещественное сужение $g(x)$ даёт интерполяционный полином Лагранжа. Доказана

Теорема. Для $L_n(x)$ выполняются условия (12), (13), и имеет место оценка

$$\| \omega(L_n(x)) \| \leq \frac{M}{(n+1)!} \left\| \prod_{i=0}^n (x-x_i) \right\|, \quad (19)$$

$$\text{где } \| [a, b] \| = \max\{|a|, |b|\}, M = \max_{x \in [a, b]} |f^{(n+1)}(x)|.$$

Аналогичные результаты получены для интервальных вариантов интерполяционных формул Ньютона, Эрмита и Чебышева.

Построенные машинные варианты интерполяционных интервальных полиномов оформлены в виде комплекта модулей с соответствующим интерфейсом расширяемой системы[23]. Вычисление значений интервальных интерполяционных формул в точках или интерполирование для любой точки $x \in I([a, b])$ производится адаптированной системой[22], путём перегрузки соответствующих интервальных операций подходящего варианта интервальной арифметики.

На основе применения разработанного программного обеспечения сама базовая арифметика для программного обеспечения в интерфейсе пакета дополнена модулями или новыми методами класса обобщённой арифметики[11], что позволят при использовании механизма перегрузок добиться выполнения условий интерполяции для новых методов класса, реализующих интервальные аналоги интерполяционных формул. Последнее означает, что механизмом перегрузки пользователь может выбрать конкретную интервальную арифметику или интервальный интерполяционный полином.

4. Численные расчёты

Пример 1. Для реальных объектов энергопотребления: совокупности жилых домов с единой системой энергоснабжения, школы, региональной энергосистемы освещения улиц, промтоварного магазина и т.п., имеющих 4 характерные экстремальные точки суточного графика электрических нагрузок, применяя метод интерполирования без интервализации данных, а именно, предполагая, что данные не имеют погрешности, можно построить полином 3 порядка. Например для промтоварного магазина с точечными данными: $x_0 = 1, x_1 = 10, x_2 = 16, x_3 = 22; y_0 = 10, y_1 = 54, y_2 = 98, y_3 = 10$; находим полином Лагранжа:

$$\begin{aligned} L_3(x) &= 10 \frac{(x-10)(x-16)(x-22)}{(1-10)(1-16)(1-22)} + 54 \frac{(x-1)(x-16)(x-22)}{(10-1)(10-16)(10-22)} + \\ &+ 98 \frac{(x-1)(x-10)(x-22)}{(16-1)(16-10)(16-22)} + 10 \frac{(x-1)(x-10)(x-16)}{(22-1)(22-10)(22-16)} = \\ &= 21.95057 - 15.91852x + 2.72962x^2 - 0.260847x^3. \end{aligned} \quad (20)$$

Заменяв x на « t » и y на « P » получим формулу

$$P(t) = 21.95057 - 15.91852t + 2.72962t^2 - 0.260847t^3, \quad (21)$$

применимую, для определения характерного (типового) суточного графика электрических нагрузок данного объекта.

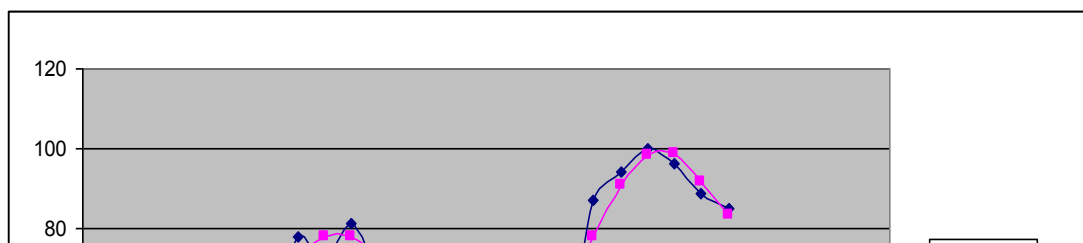


Рис 1. Суточный график электрической нагрузки по формуле Лагранжа (21).

В действительности для домохозяйств с целью повышения степени достоверности необходимо существенное повышение числа контрольных измерений и построение соответствующих интерполяционных полиномов.

Пример 2. В предположении, что данные имеют допустимые погрешности, а именно полагая, что данные суточных измерений с интервалом в один час для совокупности домохозяйств после усреднений большой выборки, приняты в качестве табличных по некоторой неизвестной функции, строились сплайн-приближения.



Рис. 2. Суточный график электрической нагрузки по формуле кубическому сплайну.

Пример 3. Применяя принцип рациональной интервализации на основе формулы (18) на базе пакета интервальных алгоритмов(23), получим график электрических нагрузок для промышленного предприятия на некотором участке энергопотребления с характерной картиной возрастания потребности в электропитании:

11. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. Новосибирск: Наука, 1986.
12. С.П. Шарый Конечномерный интервальный анализ. Издательство «XYZ», 2008.
13. Манусов В.З., Моисеев С.М., Перков С.Д. Интервальный анализ в задачах расчета токов короткого замыкания//Техническая электродинамика. –1987, –№5, –С.13–18.
14. Патрушев С.Б. Повышение точности интервальных оценок отклонении напряжения в электрических сетях общего назначения//Вычислительные технологии. – Новосибирск, 1997. Т. 2. №1.–С.45–51.
15. Перков С.Д. Постановка задачи интервального расчета режима электрической цепи. –Новосибирск: НЭТИ, 1990.
16. Страуструп Б. Язык программирования С++: Спец. изд./ Пер. с англ. – М.: Изд-во БИНОМ; СПб.: Невский диалект, 2001.
17. Добронец Б.С., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Задача интерполяции интервального анализа// ИК АН УзССР., Ташкент, Сб. “Вопросы вычислительной математики”, Вып. 31., 1975г.
18. Добронец Б.С., Юлдашев З.Х. Интервально-аналитические методы решения краевых задач// Нов.ГУ. Материалы XIV Всесоюзной студенческой научной конференции. 1975г.
19. Yuldashev Z.Kh., Ibragimov A.A., Tadjibaev Sh. Kh. Interval polynomial interpolation for bounded-error data// Materials of 15th GAMM-IMACS– International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic and Verified Numerical Computations, Novosibirsk, 2012, pp. 190-191.
20. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова И.З. Численные методы анализа.— М., Наука, 1968.
21. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к понятию приближенных решений. –М.: Мир, 1976. –256с.
22. Юлдашев З.Х., Ибрагимов А.А., Калханов П.Ж. Пакет интервальных алгоритмов для широкого пользователя. Зарегистрирован в государственном реестре программ для ЭВМ Республики Узбекистан, Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № DGU 02201, г.Ташкент, 19.05.2011.
23. Юлдашев З.Х., Ибрагимов А.А., Калханов П.Ж. Комплекс программ для вычисления значений интервальных алгебраически допустимых выражений в рамках различных интервальных арифметик. Зарегистрирован в государственном реестре программ для ЭВМ Республики Узбекистан, Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № DGU 02202, г. Ташкент, 19.05.20011.