



ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Прогноз суточного графика поставки электроэнергии консолидированному городскому потребителю

Коваленко Ю. П., инж., Петушков М. Ю., канд. техн. наук,
Пальчиков А. С., Чернышев Г. В., инженеры

МГТУ им. Г. И. Носова, Магнитогорск

Рассмотрен способ прогноза суточного графика поставки электроэнергии городскому потребителю на основе принципа сохраняемости признаков идентичности в форме графиков, построенных для одних и тех же календарных дней двух и более недель. Выполнен анализ отклонения объемов электропотребления по дням недели от среднего значения. Проведена оценка погрешности краткосрочного прогноза, полученного при соблюдении правила недельной цикличности, при определении прототипа для расчетного диспетчерского графика, дополненного приведением принятого макета графика к ожидаемому суточному объему электропотребления. Сделан вывод о достаточности такой точности для эффективного планирования почасовой поставки электроэнергии городским абонентам.

Ключевые слова: расчетный диспетчерский график нагрузки, электрическая нагрузка, недельный цикл, прогноз почасового электропотребления, признаки идентичности графиков, расход электроэнергии, почасовые отклонения.

Изменения городской электрической нагрузки происходят непрерывно, носят устойчивый характер, хорошо коррелируются с природными процессами и тесно связаны с производственно-хозяйственной деятельностью предприятий. Они возникают по вполне объективным причинам, для содержательной интерпретации которых следует обратиться к графикам, поскольку их профиль и количественные показатели содержат основные сведения о важных свойствах нагрузки и электропотребления.

Во-первых, графики годовых объемов расхода электроэнергии (и среднегодовых значений мощности) за последние 5–7 лет характеризуются четко выделяющимся линейным восходящим трендом. В этой тенденции электропотребления отражаются положительная динамика электрификации быта и рост энергоемкости технических систем жизнеобеспечения современного городского хозяйства. Во-вторых, на годовых графиках среднесуточных значений мощности хорошо просматриваются контуры метео-климатического цикла, сопрягающегося с плавными изменениями длительности светового дня и температуры атмосферного воздуха. Подробные сведения о природных явлениях, вызывающих сезонные флуктуации электрической

нагрузки, приведены в [1]. В-третьих, в изменениях городской нагрузки имеется недельный цикл, обусловленный факторами производственно-хозяйственной деятельности. Его границы и периодичность легко идентифицируются на месячном графике суточных объемов электропотребления (и поставки электроэнергии). Недельный цикл отражает суточные графики почасовой нагрузки рабочих дней и дней массового отдыха (суббота, воскресенье, государственные праздники). На календарной подборке графиков воспроизводится также регулярная последовательность внутрисуточных изменений городского электропотребления. Ежедневная повторяемость формы неравномерного распределения расхода электроэнергии по часам суток — следствие природного ритма активной деятельности человека в дневные и отдыха в ночные периоды.

Закономерности, свойственные городскому электропотреблению, нельзя игнорировать без риска понести потери в достоверности плановых показателей покупки электроэнергии. Вместе с тем они довольно просто и точно могут быть учтены при подготовке прогноза почасового электропотребления на очередные сутки, двое и более.

Следует отметить, что принять в качестве модели суточный график, усредненный в рамках одной недели (тем более месяца), не позволяют различия в графиках нагрузок как рабочих, так и субботных, воскресных и праздничных дней. Эти различия начинаются с неравномерности распределения интегральных объемов электроэнергии по дням недели: интервал отклонений от среднего значения достигает $\pm 5\%$, причем максимальное значение не имеет какой-либо постоянной привязки к конкретному рабочему дню, а минимальное приходится на субботу, в остальные же дни недели объем электропотребления имеет промежуточные значения, отличающиеся от соседних на $1,5 - 2,5\%$ и более.

Конечно, абсолютное совпадение или равенство графиков можно предположить лишь теоретически. В форме графиков реальной нагрузки всегда есть элементы неповторимой индивидуальности. Они могут проявляться, например, в несхожести однотипных фрагментов профиля, привязанных к тому или иному конкретному отрезку суточного времени, в максимальных значениях нагрузки, в темпах ее набора в утренние и вечерние часы, в суммарных за сутки объемах электропотребления и др.

Различие усиливается, если сопоставить суточные графики одних и тех же календарных суток двух, но не следующих друг за другом недель, например, суточные графики, зарегистрированные на первой и третьей неделях месяца. Максимальный набор отличий выявляется при сравнении между собой графиков нагрузки зимних и летних суток. Вместе с тем у графиков одних и тех же календарных суток двух следующих друг за другом недель общих признаков намного больше, чем отличий. На отрезках ночного времени и в ранние утренние часы отмечается не только контурная аналогия форм, но и единство в положении линий, которое определяется практическим равенством расхода электроэнергии. Утренние максимумы нагрузки либо совпадают во времени, либо имеют незначительное смещение. Отсутствие временного сдвига свойственно и вечерним максимумам нагрузки. Поэтому в основу методики краткосрочного мониторинга почасовых нагрузок, как и почасовых поставок электроэнергии консолидированному городскому потребителю, положен принцип сохраняемости признаков практического совпадения формы

графиков, построенных для одних и тех же календарных дней двух недель.

График почасовой нагрузки предстоящего понедельника предлагается строить, принимая в качестве прототипа известный профиль графика нагрузки ближайшего состоявшегося понедельника. Это общее правило подобия распространяется на все дни обычной семидневной недели (без праздничных дней и официальных переносов выходных дней). Исходными для прогнозирования суточных графиков на следующую неделю служат данные о нагрузках текущей недели. При вынужденном отступлении от принятого порядка приходится обращаться к информации о нагрузках прошедшей недели. Так, для первых пяти рабочих дней, следующих непосредственно за новогодними каникулами, в качестве первоосновы для проектов почасовых графиков поставки электроэнергии используются суточные графики нагрузки последней недели декабря.

Подготовленный прообраз будущего расчетного диспетчерского графика (РДГ) городской нагрузки приводится в соответствие с объемом электроэнергии, запланированным к потреблению на прогнозируемые сутки. Расчетные значения часовых расходов вычисляются по формуле

$$W_{i,j,k+1} = \frac{W_{i,j,k} W_{j,k+1}}{W_{j,k}} \quad (i = 1, 2, \dots, 24),$$

где $W_{i,j,k+1}$ — расход электроэнергии, планируемый на i -й час j -х календарных суток недели $k+1$; $W_{i,j,k}$ — фактический расход электроэнергии в i -й час j -х календарных суток недели k ; $W_{j,k}$ — фактический расход электроэнергии в j -е календарные сутки недели k ; $W_{j,k+1}$ — суммарный расход электроэнергии, планируемый на j -е календарные сутки недели $k+1$.

Плановое задание на суточное потребление электроэнергии устанавливается на основе известного планового значения на месяц, утвержденного для города энергосбытовой организацией — гарантирующим поставщиком. Порядок расчета предусматривает вычисление суточного значения, среднего в пределах каждой декады месяца для промышленных предприятий с непрерывным графиком работы и (или) для каждой недели — потребителям коммунально-бытового назначения и другим, приравненным к ним. Для этого запланированный на месяц объем в общем

случае распределяется по декадам (неделям) неравными частями.

Переход от расчетного среднесуточного электропотребления к плановому сводится к внесению ряда уточнений, с помощью которых учитываются:

а) объективно сложившиеся соотношения между объемами электропотребления города в рабочие и выходные (праздничные) дни недели;

б) планируемые изменения в производственной деятельности отдельных городских промышленных предприятий и энергетических объектов, заметно влияющие на часовые и суточные расходы электроэнергии;

в) прогнозные ожидания особых метеорологических условий.

При оценке метеопрогноза обращается внимание на плотность облаков (выражается в баллах), длительность и интенсивность осадков, ожидаемую аномально низкую температуру атмосферного воздуха. Для коррекции расчетного суточного электропотребления города по показаниям метеопрогноза используют регрессионные уравнения и специальные таблицы, по которым определяют возможные объемы энергетической метеодобавки (ее интегральное значение зависит от сочетания метеорологических условий и длительности их проявления). Она приплюсовывается к расчетному среднесуточному электропотреблению города, уже отнесенному к конкретному дню недели и уточненному по изменившемуся производственному фактору.

Аналитико-статистический аппарат, используемый для оценки влияния того или иного метеофактора на коммунально-бытовое и промышленное электропотребление, разработан службами ОАО «ММК». Исследования по этой тематике проводятся с 1996 г.

Наполнение информационной базы данными энергетического и метеорологического назначения осуществляется с помощью автоматизированной системы диспетчерского управления энергохозяйством (АСДУЭ) металлургического комбината [2]. С дискретностью в 3 мин эта система непрерывно измеряет и регистрирует расход электроэнергии и мощность как отдельных, так и объединенных в группы электроприемников, в том числе консолидированного городского потребителя, а также температуру и давление атмосферного воздуха. Накопленный статистический материал о расходе электроэнергии и температуре воздуха был использован при составлении регрессионных уравнений в оп-

тимальной форме полиномов четвертого порядка и таблиц метеоэнергетических зависимостей [3]. Сведения о бальности плотности облаков систематизированы на основе данных Магнитогорского филиала Челябинского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

При неблагоприятном метеопрогнозе проект РДГ подлежит обязательной коррекции. Она заключается в распределении и привязке интегральной метеодобавки к тому интервалу времени суток, на который проецируется экстренное предупреждение синоптиков. В параметры проекта РДГ на этом временном интервале вносятся необходимые изменения.

Погрешность мониторинга энергетических параметров поставки электроэнергии городу с розничного рынка определяется на суточных отрезках времени и за расчетный период. Ее значение, вычисленное за расчетный период, относится к группе отчетных технических показателей при подведении итогов работы на розничном рынке за месяц. Ежедневно рассчитываемые значения суточной погрешности используются при текущем анализе качества прогноза РДГ, выявлении причин его ухудшения и принятии оперативных мер к исправлению.

В пределах соответствующего временного интервала вычисляется сумма почасовых объемов превышения фактического потребления над плановым, и наоборот. Эта сумма отклонений, отнесенная к интегральному объему фактического потребления, обычно имеет вполне приемлемое значение. Абсолютное большинство ее суточных значений находится в пределах 0,5 – 2,5 %. Максимальная сумма отклонений не превышает 4 – 5 % (наблюдается редко). Итоговая погрешность для расчетного периода в целом (за месяц) находится в пределах 1,4 – 2,5 %.

Отдельные пики погрешности прогноза, достигающие 4 – 5 %, обусловлены типичными ошибками и просчетами, которые искажают результат. Некоторые из них:

подача эксплуатационным (технологическим) персоналом городских предприятий неточных сведений о времени включения (вывода из работы) энергоемких электроприемников;

неверный выбор исходных графиков для дней, календарно смещенных на неделю относительно перенесенных дней отдыха;

непринятие во внимание возникающих особых метеоусловий.

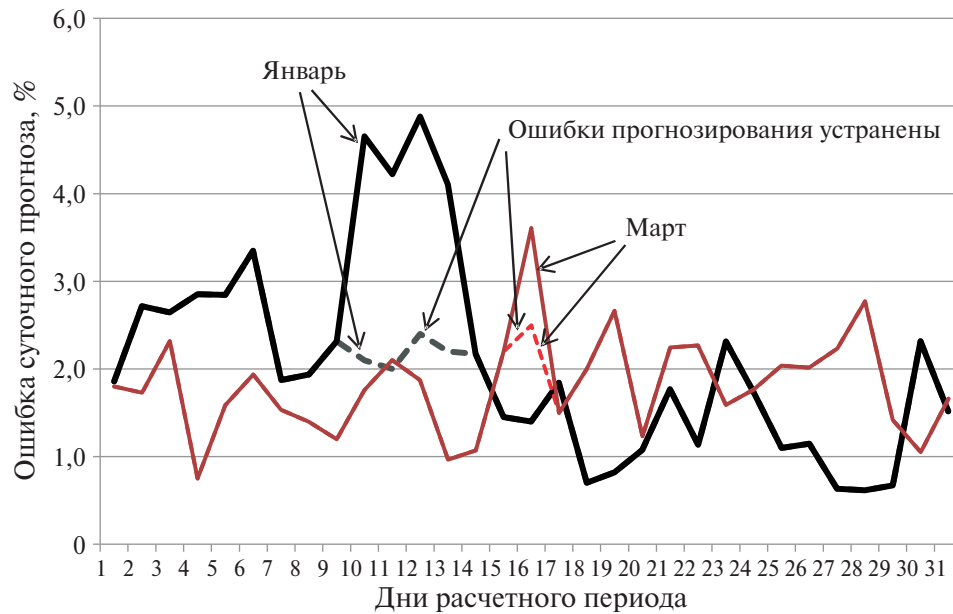


Рис. 1. Кривые погрешности суточных прогнозов почасового электропотребления

Прогнозирование почасового графика поставки электроэнергии для дней официально перенесенного отдыха больших затруднений не вызывает. За прототип принимается суточный график нагрузки ближайшей прошедшей субботы. Вместе с тем просчеты могут возникнуть при составлении прогнозов на рабочие дни, которые следуют за праздниками и календарно совпадают с днями перенесенного отдыха. В основном они предопределены формальным принятием и распространением на рабочие сутки графика нагрузки выходного дня. Так было, например, с подготовкой проекта РДГ на 16 марта 2012 г. Погрешность прогноза, составившая 3,6 %, объясняется только неверным выбором прототипа для планируемого графика (рис. 1). Прогноз на 16 марта (пятница, рабочий день) выполнен по графику нагрузки 9 марта — дня отдыха, перенесенного с воскресенья (11 марта). Если бы в качестве исходного был принят график нагрузки за 2 марта (пятница, рабочий день), то ошибка в планировании почасовых объемов поставки на 16 марта не превысила бы 2,5 %.

Причины и последствия неучета метеорологической составляющей электропотребления в проекте РДГ почасовой поставки электроэнергии городу на сутки вперед рассмотрим на следующем примере. В период с 10 по 14 января 2012 г. были зафиксированы посуточно большие суммы почасовых отклонений фактического электропотребления от планового. На графике относительной погрешности суточных прогнозов они соответствуют

выбросу до 5 %, который приходится на отмеченный календарный отрезок времени (см. рис. 1). Недопустимое увеличение погрешности явилось следствием неучета возможного изменения в РДГ на этапе их подготовки. Проекты РДГ на эти дни составляли по суточным графикам состоявшегося электропотребления в соответствующие календарные дни последней недели декабря 2011 г. Среднесуточная температура воздуха в конце декабря не опускалась ниже $-9 \div -12$ °С. При наличии сведений о таком температурном фоне было оставлено без внимания существенное снижение температуры атмосферного воздуха до $-27 \div -32$ °С в начале второй декады января, несмотря на предупреждение синоптиков об ожидаемых сильных морозах.

Известно, что следствием понижения температуры атмосферного воздуха до аномально низких значений ($-30 \div -42$ °С) является дополнительное увеличение расхода электроэнергии на нужды города. В структуре его прироста преобладают составляющие, не связанные с функционированием централизованной теплофикационной системы. Основная из них приходится на автономные приборы местного электрообогрева, включенные по необходимости на ограниченные сроки, а также на осветительные приборы, продолжительность работы которых в светлое время суток увеличивается, поскольку сильные морозы сопровождаются в отдельные часы густыми туманами. В результате суточное электропотребление города возрастает на 7 – 10 %. В Магнито-

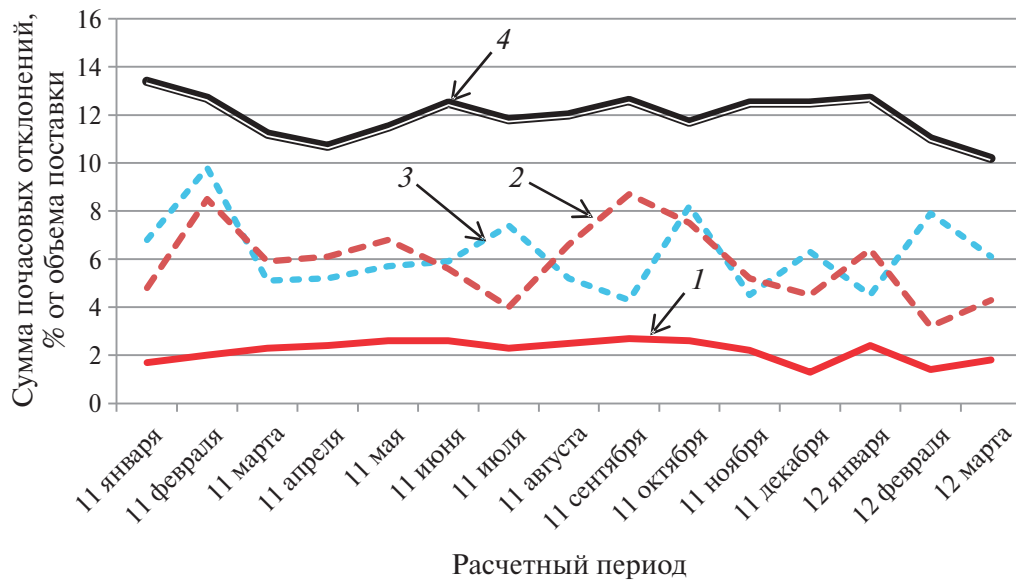


Рис. 2. Кривые суммы почасовых отклонений в поставках электроэнергии при следующих вариантах составления прогноза: 1 — по правилу недельной цикличности при определении прототипа для РДГ, дополненному приведением параметров графика к планируемому суточному объему электропотребления; 2 — при подготовке РДГ по фактическому суточному графику нагрузки — календарному прототипу с недельной цикличностью; 3 — при сквозном календарном планировании РДГ по фактическим суточным графикам прошедшего года; 4 — при представлении РДГ плановым значением среднемесячной мощности

горске периоды низких температур атмосферного воздуха длятся в среднем 5–7 дней.

Влияние anomalно низких температур на объемы электропотребления города следует рассматривать как самостоятельный фактор. Результаты его действия не могут быть подменены сезонной энергетической метеодобавкой. Она уже присутствует в фактических электрических нагрузках, начиная с осеннего периода перехода среднесуточной температуры через рубеж $+8^{\circ}\text{C}$ в область отрицательных значений. Это следует принимать во внимание при составлении проектов РДГ.

Оценка и учет дополнительной составляющей расхода электроэнергии, обусловленной очень низкими температурами атмосферного воздуха, как показывает опыт, не представляют трудностей при наличии соответствующей статистической информации. В ОАО «ММК» она накапливалась с помощью АСДУЭ в течение 15 лет. На ее основе подготовлены рабочие таблицы приростов объемов электропотребления (количества электроэнергии, средней мощности прироста и др.) городской и промышленной нагрузки при достижении температурой воздуха в дневное время значений: -25°C , -30°C , -35°C и ниже. Отметим, что максимальный прирост расхода электроэнергии приходится на температуры воздуха в интервале от -25 до -30°C . При дальнейшем понижении температуры темпы

прироста городского электропотребления заметно снижаются.

В заключение следует отметить, что практическое применение изложенной методики на протяжении длительного времени устойчиво обеспечивает высокую достоверность прогноза при подготовке проекта РДГ почасовой поставки электроэнергии городу на сутки вперед. На рис. 2 (кривая 1) показано, что для 15 следующих друг за другом расчетных периодов суммы абсолютных значений отклонений почасовых объемов фактического потребления от планового находятся в узком интервале с максимальным размахом между предельными его точками не более 1,1% и верхней границей не выше 2,5%.

Если из этой методики краткосрочного прогноза по календарному прототипу с недельной цикличностью удалить положение о необходимости приведения параметров исходного графика нагрузки к планируемому на сутки объему поставки электроэнергии, то сумма отклонений увеличится в 2–3,5 раза, т. е. до 4,5–9% (кривая 2). Методически обусловленное низкое качество прогноза параметров поставки электроэнергии не отвечает интересам консолидированного городского потребителя при работе на площадке розничного рынка.

Приблизительно такого же высокого уровня (6–10%) достигают суммы отклонений при подготовке РДГ на основе фактических

суточных графиков поставки электроэнергии за прошедший год при обращении к параметрам последних по аналогии с годовым кругооборотом календарных дней (кривая 3).

В случаях, когда по каким-либо причинам краткосрочное прогнозирование проводить не предполагается, а в качестве часовых параметров РДГ принимается средняя мощность, рассчитанная по плановому объему поставки электроэнергии на месяц, сумма отклонений (не ниже 11 – 13 %) также недопустимо велика (кривая 4).

Выводы

1. При подготовке проекта почасовой поставки электроэнергии консолидированному городскому потребителю на сутки вперед целесообразно использовать суточные графики почасовых значений фактической нагрузки, следуя правилу недельной цикличности при определении прототипа для РДГ, дополнен-

ного его параметрами, приведенными к плановому суточному объему электропотребления.

2. В параметры проекта РДГ следует внести уточнения в размере дополнительной метеодобавки к электропотреблению при складывающихся особых метеорологических условиях.

Список литературы

1. Славгородский В. Б., Прудаев В. П., Коваленко Ю. П. Влияние сезонного изменения температуры на электропотребление Магнитогорского металлургического комбината. — Промышленная энергетика, 1998, № 12.
2. Переход от локальных систем учета к общезаводской информационной системе / Г. В. Чернышев, В. Н. Михайловский, С. В. Казаков и др. — Главный энергетик, 2012, № 9.
3. Коваленко Ю. П., Славгородский В. Б. Сезонные закономерности электропотребления Магнитогорского промышленного узла. — Промышленная энергетика, 2003, № 7.

alexander1313@yandex.ru