

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АВТОНОМНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Обухов С.Г., Хошнау З.П.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Введение

Системы автономного электроснабжения занимают значительное место в энергетике России как по площади обслуживаемых территорий, так и по количеству подключенных к ним потребителей. Большинство, находящихся в эксплуатации изолированных энергетических систем, построены на базе дизельных электростанций (ДЭС) и имеют ряд схожих проблем, обусловленных большим износом основного энергетического оборудования, сложными транспортными схемами доставки горюче-смазочных материалов, острым дефицитом оборотных средств и т.п. Все эти факторы негативным образом влияют на уровень надежности электроснабжения и предопределяют высокую стоимость электрической энергии для потребителя.

Повышение энергетической эффективности локальных систем электроснабжения – актуальная задача развития энергетики России, успешное решение которой способствует социально-экономическому развитию децентрализованных регионов и улучшению уровня жизни населения.

Соизмеримость мощностей основного генерирующего оборудования и электрической нагрузки потребителя в изолированных энергетических системах требуют тщательного согласования режимов производства и потребления электрической энергии. Достоверный прогноз режимов электропотребления, как в целом, так и по сезонам года, определение зимнего и летнего максимумов нагрузки, а также предсказание характерной формы суточного графика электрических нагрузок является необходимым условием проектирования и модернизации систем автономного электроснабжения.

Основная сложность прогнозирования режимов потребления электрической энергии автономным потребителем заключается в небольшом объеме имеющейся исходной информации, которая чаще всего ограничивается лишь общей численностью населения, количеством и типом социальных и производственных объектов. Применение в данных условиях типовых методов расчета электрических нагрузок [1], используемых при проектировании промышленных предприятий, крупных жилых и социальных объектов, не представляется возможным.

Целью настоящих исследований является разработка инженерной методики расчета прогнозных режимов электропотребления автономными энергетическими системами.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по направлению «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области создания эффективных накопителей электрической энергии для нужд централизованной и автономной энергетики».

Постановка задачи

Децентрализованные зоны России расположены преимущественно в Сибири, на Дальнем Востоке и Крайнем Севере, а потребителями электроэнергии в них являются, главным образом, небольшие населенные пункты (н.п.) с численностью жителей от единиц до нескольких сотен человек. Как правило, на данных территориях отсутствуют крупные промышленные центры, и объемы электропотребления определяются бытовой и социальной нагрузкой, а также небольшими предприятиями по переработке местных природных ресурсов и сельскохозяйственного назначения.

Основными факторами, определяющими режимы электропотребления населенного пункта, обеспечиваемого электроэнергией от автономной энергетической системы, являются численность жителей и характер электрических нагрузок, который в общем случае подразделяется на три вида:

- бытовая – нагрузка, потребляемая населением (жилые дома, общежития);
- социальная – нагрузка, потребляемая объектами социального назначения (магазины, школы, кинотеатры и т.д.)
- производственная – нагрузка, потребляемая предприятиями.

Кроме того, существенное влияние на режимы электропотребления могут оказывать географические, климатические и технические характеристики конкретного населенного пункта: среднегодовая температура воздуха, тип отопительной системы, уровень комфортности коммунально-бытовой сферы и т.п.

Прямой учет всех обозначенных выше факторов крайне затруднителен, поэтому приходится использовать вероятностно-статистические методы определения электрических нагрузок [1,3] и нормативные документы [4,5,6], действующие в РФ.

Предлагаемая укрупненная схема расчета режимов электропотребления автономной энергетической системы представлена на рис.1.



Рис.1. Схема расчета прогнозных режимов потребления электрической энергии автономной энергетической системой

Предлагаемая методика предполагает расчет и построение для каждого вида нагрузок: бытовой, социальной и производственной своего характерного суточного графика с их последующим суммированием.

Описание методики

В зависимости от требований к результатам расчета и имеющихся исходных данных, методика (рис. 1) позволяет реализовать различные варианты решения задачи, отличающиеся детализацией режимов электропотребления.

Для населенных пунктов, электроснабжение которых осуществляется от действующих ДЭС, в качестве исходных данных для расчета прогнозных режимов электропотребления целесообразно использовать фактические технологические показатели электростанций, полученные в результате их эксплуатации за длительный период времени: суточные ведомости электрических нагрузок, полезный отпуск электроэнергии, годовой график среднедневной температуры и т.д. Подробный перечень технологических параметров ДЭС, который обязан контролировать дежурный персонал электростанции, приведен в [7].

На основании имеющихся статистических данных с использованием методов математической статистики и методики, представленной в [8], можно получить достаточно точный детальный прогноз режимов потребления электрической энергии для конкретного объекта электроснабжения со специфическими для него особенностями.

Более сложная, и в то же время типичная ситуация складывается когда у проектировщика отсутствуют полноценные исходные данные о режимах электропотребления проектируемой автономной энергетической системы, например населенный пункт еще не электрифицирован. В этих случаях для определения режимов электропотребления используются типовые графики электрических нагрузок для различных групп потребителей, приведенные в [6].

Вероятностно-статистические графики нагрузок представлены в виде математических ожиданий активных и реактивных мощностей в различные часы суток в процентах от математического ожидания максимальной активной нагрузки каждого сезона года. Для всех часов суток каждого сезона приведены значения коэффициентов вариации, равные отношению среднеквадратического отклонения к соответствующему математическому ожиданию:

$$C_P = \frac{\sigma_P}{\bar{P}}; C_Q = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}, \quad (1)$$

где C_P, C_Q – коэффициенты вариации активной и реактивной нагрузки, соответственно;

\bar{P}, \bar{Q} – математическое ожидание максимальной нагрузки;

σ_P, σ_Q – среднеквадратическое отклонение максимальной нагрузки;

Пересчет типового графика на любую другую нагрузку производится через коэффициент подобия X , для определения которого используется выражение:

$$X = \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta \cdot C_P \cdot \bar{P}}{100}\right)^2 + \bar{P} \cdot P_M} - \frac{\beta \cdot C_P \cdot \bar{P}}{100}}{\bar{P}}, \quad (2)$$

где P_M – максимальная нагрузка;

β – коэффициент надежности расчета (при вероятности 0,975 $\beta=2$).

Показатели пересчитываемого графика P_{ij} для расчета нагрузки любого i -го часа и месяца и их среднеквадратического отклонения σ_{Pij} определяются по выражениям:

$$\bar{P}_{ij} = \frac{\bar{P} \cdot \bar{P}_{ik} \cdot X^2 \cdot k_{Pj}}{100}, \quad \sigma_{Pij} = \frac{2 \cdot \bar{P} \cdot C_{Pik} \cdot X \cdot k_{Pj}}{100}, \quad (3)$$

где k_{Pj} – коэффициент сезонности;

\bar{P}_{ik} – математическое ожидание активной нагрузки i -го часа k -го сезона (определяется по статистическим графикам).

Максимальное значение активной нагрузки за i -й час:

$$P_{ij} = \bar{P}_{ij} + \beta \cdot \sigma_{Pij} \quad (4)$$

С использованием соответствующего типового графика по выражениям (1)-(4) можно рассчитать вероятностный суточный график электрических нагрузок для каждой группы потребителей: бытовая, социальная и производственная нагрузка. Применяя теоремы сложения математических ожиданий и дисперсий, легко найти суммарный график электрических нагрузок всего населенного пункта.

Основная сложность практического использования описанного выше метода расчета заключается в достоверном определении коэффициента подобия, для вычисления которого по выражению (2) должна быть известна величина максимальной активной нагрузки P_M для каждой группы потребителей.

Коэффициент подобия можно определить, если известна величина математического ожидания максимальной активной нагрузки \bar{P}_M [9]:

$$X = \sqrt{\frac{\bar{P}_M}{P}}, \quad (5)$$

или величина годового потребления электрической энергии $W_{\text{потр}}$:

$$X = \sqrt{\frac{W_{\text{потр}}}{W}}, \quad (6)$$

где \bar{W} – годовое потребление электроэнергии, соответствующее статистическому типовому графику:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{k=1}^{12} m_k \cdot \bar{P} \cdot \sum_{j=1}^{12} k_{Pj} \cdot \sum_{i=1}^{24} \bar{P}_{ik}}{1200}, \quad (7)$$

где m_k – число дней в месяце.

Очевидно, что годовой объем потребляемой электрической энергии $W_{\text{потр}}$ (кВт·ч) во многом определяется численностью населения, которая как правило, является известной величиной.

В нормативных документах [4,5] приведены укрупненные показатели электропотребления для поселений различных типов. Для малых и средних сельских населенных пунктов (число жителей от 50 до 1000 чел.) в [5] установлены следующие нормы потребления электрической энергии, кВт·ч/чел. в год:

- для н.п. не оборудованных стационарными электроплитами – 950;
- для н.п., оборудованных стационарными электроплитами – 1350.

Отметим, что в [4] приведены укрупненные показатели электропотребления для городов различных категорий и они существенно выше.

Приведенные в нормативных документах укрупненные показатели предусматривают электропотребление жилыми и общественными зданиями, предприятиями коммунально-

бытового обслуживания, наружным освещением, объектами транспортного обслуживания, системами водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения, т.е. объединенной бытовой и социальной нагрузкой.

Проведенный анализ фактических данных по годовому потреблению электрической энергии автономными энергетическими системами показал, что объединение бытовой и социальной нагрузки с привязкой ее к численности населения, принятое в нормативных документах, обеспечивает невысокую точность прогноза.

На рис.2 представлены осредненные за 2006-2010 гг. зависимости годового объема потребленной электрической энергии, построенные по фактическим данным электропотребления 79 автономными энергетическими системами Республики Саха (Якутия) с численностью обслуживаемого населения от 20 до 859 чел.

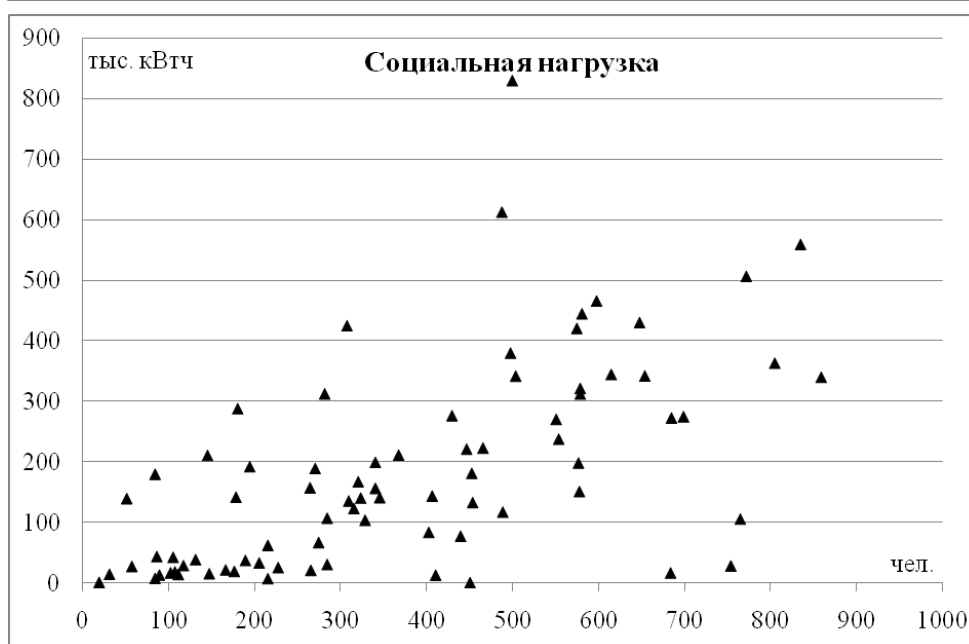
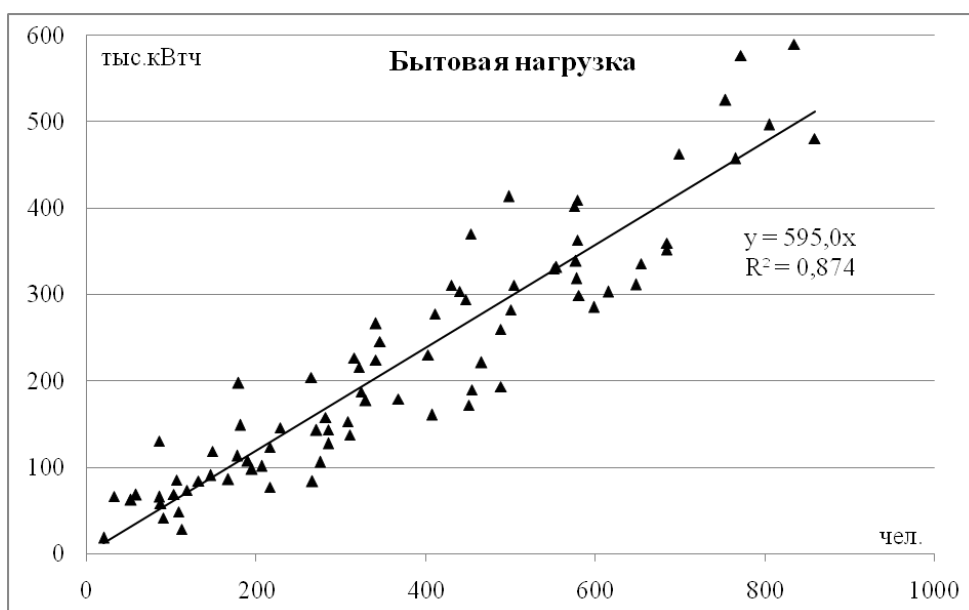


Рис. 2. Фактическая зависимость годового потребления электроэнергии от численности населения автономных систем электроснабжения Республики Саха (Якутия)

Из рис.2 хорошо видно, что между численностью населения и электропотреблением на бытовые нужды существует высокая корреляционная связь, которая с большой достоверностью может быть аппроксимированная линейной зависимостью вида:

$$W_{\text{быт}} = 595.0 \cdot N, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (8)$$

где N – численность населения, чел.

Расход же электроэнергии на социальные нужды главным образом определяется количеством и типом коммунальных и социальных объектов, расположенных в конкретном населенном пункте, и слабо привязан к численности населения.

Проведенный авторами анализ нормативных документов по расчету электрических нагрузок показал, что расчет режимов электропотребления объектами социальной сферы целесообразно проводить через величину математического ожидания максимальной активной нагрузки \bar{P}_M , которая определяется в зависимости от типа социального объекта в соответствующей таблице, приведенной в [6]. Фрагмент этой таблицы представлен ниже.

Табл.1. Электрические нагрузки производственных, общественных и коммунально-бытовых потребителей

Наименование объекта	$P_{\text{МД}}$	$\beta_{\text{орд}}$	$\bar{P}_{\text{МД}}$	$P_{\text{МВ}}$	$\beta_{\text{орв}}$	$\bar{P}_{\text{МВ}}$	K_z	$K_{\text{л}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Начальная школа								
на 40 учащихся	5	3,5	1,5	2	1,8	0,2	1	0,1
на 80 учащихся	7	5,5	1,5	2	1,8	0,2	1	0,1
на 160 учащихся	11	9	2	4	3,5	0,5	1	0,1
Дом культуры со зрительным залом								
на 150 - 200 мест	5	4,2	0,8	14	12	2	1	0,7
на 300 - 400 мест	10	8	2	32	26	6	1	0,7
на 400 - 600 мест	10	8	2	50	37	13	1	0,7
Фельдшерско-акушерский пункт	4	3,5	0,5	4	3,5	0,5	1	0,7
Магазин								
на 2 рабочих места, смешанный ассортимент	2	1,2	0,8	4	2,4	1,6	1	0,4
на 4 места продовольственный	10	8	2	10	8	2	1	0,4
на 4 места промтоварный	6	5	1	6	5	1	1	0,4
смешанный ассортимент на 6 - 10 мест	4	3	1	4	3	1	1	0,4
продовольственный	10	8	2	10	8	2	1	0,4
промтоварный	3	2,5	0,5	3	2,5	0,5	1	0,4
Сельсовет с отделением связи	7	5,5	1,5	3	2,8	0,2	1	0,7
Библиотека с залом								
на 150 - 200 мест	3	2,5	0,5	10	8	2	1	0,7
300 - 400 мест	6	5	1	18	13	5	1	0,7

Детские ясли-сад								
на 25 мест	4	3,5	0,5	3	2,8	0,2	1	0,8
50	9	7	2	6	5,5	0,5	1	0,8
90	12	9	3	8	7	1	1	0,8
с электроплитой								
на 50 мест	18	13	5	12	9	3	1	0,8
90	23	15	8	14	10	4	1	0,8
140	30	20	10	20	15	5	1	0,8

Примечание: Максимальная нагрузка \bar{P}_M определяется экстраполяцией или интерполяцией показателей граф 2 и 5 по данным установленной мощности проектируемого потребителя.

В табл.1 использованы следующие условные обозначения:

P_{MD}, P_{MB} – максимальная активная нагрузка дневного и вечернего максимумов, соответственно, кВт;

$\bar{P}_{MD}, \bar{P}_{MB}$ – среднее значение (математическое ожидание) максимальной активной нагрузки дневного и вечернего максимумов, соответственно, кВт;

$\beta_{\sigma PD}, \beta_{\sigma PB}$ – коэффициент надежности (обеспеченности) расчета для максимальной активной нагрузки дневного и вечернего максимумов, соответственно;

K_z, K_L – коэффициенты сезонности: зимнего и летнего максимумов нагрузки.

Величина производственной нагрузки также слабо связана с численностью населения, поэтому ее расчет производится аналогично расчету социальной нагрузки.

Предложенная схема расчета режимов электропотребления (рис.1) была апробирована на пяти поселках Томской области, обеспечиваемых электроэнергией от автономных ДЭС. Количество и тип социальных объектов этих поселков были определены по данным официальных сайтов администраций и представлены в табл.2 [10,11]. Укрупненные расчетные показатели электропотребления приведены в табл.3.

Табл. 2. Социальные объекты поселков Томской области

Поселок	Население, чел.	Школа, кол. мест	Магазин, кол. раб. мест	Дом культуры, кол. мест	Библиотека, кол. мест	Сельсовет	Фельдшерско-акушерский пункт	Детский сад, кол. мест
п.Первопашенск	172	10	2	-	-	1	1	-
с. Сосновка, п.Восток	604	81	6	335	334	1	2	-
с. Новый Тевриз	334	40	4	158	210	1	1	-
с. Тымск	341	49	5	263	208	1	1	-
с. Усть-Тымск	557	95	6	401	271	1	1	31

Табл. 3. Укрупненные показатели электропотребления населенных пунктов Томской области

поселок	Расчетное годовое электропотребление, тыс. кВт·ч			Фактическое годовое электропотребление, тыс. кВт·ч		
	общая	социальная	бытовая	общая	социальная	бытовая
п. Первопашенск	156,2	53,9	102,3	170,8	64,7	106,1
с. Сосновка, п.Восток	704,4	345,1	359,3	687,0	287,2	399,8
с. Новый Тевриз	329,3	130,6	198,7	380,9	176,0	204,9
с. Тымск	452,1	249,2	202,9	511,9	264,6	247,3
с. Усть-Тымск	710,2	378,8	331,4	814,2	395,0	419,2
Среднеквадратическое отклонение, тыс. кВт·ч	59,3	34,7	47,7			
Процент ошибки от среднего, %	11,6	14,6	17,3			

Результаты расчетов показывают, что ошибки в определение прогнозных режимов электропотребления не носят систематического характера и составляют не более 20 %. Относительно высокая погрешность прогноза объясняется невысоким качеством имеющихся исходных данных. Тем не менее, точность прогноза несколько выше в сравнении с прямым прогнозным электропотреблением, определяемым по нормативам [4,5,6].

Выводы

Предлагаемая инженерная методика расчета позволяет выполнить прогноз режимов электропотребления автономных энергетических систем при минимуме исходных данных. С ее помощью можно определить не только годовой объем потребленной электроэнергии, но и рассчитать более детальные показатели, такие как суточные графики электрических нагрузок в любой день года с часовой дискретизацией, зимний и летний максимумы нагрузок отдельно для каждой группы потребителей. Методика легко автоматизируется средствами простых прикладных программ и может быть полезна при проектировании систем автономного электроснабжения небольшой мощности.

Список литературы:

1. Шидловский А.К. и др. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий / А.К.Шидловский, Г.Я.Вагин, Э.Г.Куренный. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
2. Будзко И.А. и др. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А.Будзко, Т.Б.Лещинская, В.И.Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
3. Жежеленко И.В. и др. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей / И.В. Жежеленко, Ю.Л.Саенко, В.П.Степанов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 126 с.

4. Нормативы для определения расчетных электрических нагрузок зданий (квартир), коттеджей, микрорайонов (кварталов), застройки и элементов городской распределительной сети. Утверждены Приказом Минтопэнерго России от «29» июня 1999г. № 213
5. СНиП 2.07.01-89 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений
6. РД 34.20.178. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства./ Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения. – М.: Всесоюзный государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Сельэнергопроект», 1985.
7. Правила технической эксплуатации дизельных электростанций (ПТЭД)
8. Лукутин Б.В., Климова Г.Н., Обухов С.Г., Шутов Е.А. Парников Н.М. Исследование закономерностей формирования графиков электрических нагрузок децентрализованных потребителей Республики Саха (Якутия) // Электрические станции, 2008. - № 9. - с. 53-58
9. Воротницкий В.Э., Заслонов С.В., Калинкина М.А. Методы расчета потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ // "Вестник ВНИИЭ-2003", М.- "Издательство НЦ ЭНАС", 2003, с.73-78
10. Официальный сайт Администрации Каргасокского района Томской области, <http://www.kargasok.ru/newusp.html>
11. Официальный сайт муниципального образования «Асиновский район» Томской области <http://asino.ru/baturino.html>