ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.3.017(075.8)

**Гринь Александр Иванович, Гринь Анна Александровна,
Скороходова Ирина Георгиевна**

ПРИЗНАКИ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН ПОВЫШЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ И НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В статье показаны тенденции и проблемы снижения эффективности работы распределительных сетевых компаний. Предложен методологический подход выявления мест в электрической сети с повышенными техническими потерями электроэнергии на основе анализа режимной информации. Предложены критерии выявления мест несанкционированного потребления электроэнергии на основе статистических методов и анализа профилей нагрузки, получаемых от системы Smart Metering.

Ключевые слова: *технические потери электроэнергии, снижение потерь электроэнергии, выявление мест хищений электроэнергии, выявление очагов технических потерь.*

Alexander Grin, Anna Grin, Irina Skorokhodova

SIGNS IDENTIFY AREAS TO INCREASE TECHNICAL LOSS AND UNAUTHORIZED ELECTRICITY CONSUMPTION IN ELECTRIC NETWORKS

In article tendencies and problems reduce the efficiency of the distribution grid companies. A methodological approach to identify places in the electrical network based on analysis of information regime increased technical losses of electricity. The criteria to identify sites of unauthorized consumption of electricity on the basis of statistical methods and analysis of load profiles derived from Smart Metering System.

Key words: *technical losses of electricity, reduce electricity losses, the identification of places of theft of electricity, identifying centers of technical losses.*

Отсутствие официальной статистики и непрозрачность хозяйственной деятельности сетевых компаний затрудняет оценку объемов хищений электроэнергии (ЭЭ) в масштабах всей страны. По официальным данным электробаланса Росстата и Центра экономических исследований Института глобализации и социальных движений, ежегодно в России объемы хищений превышают 4 млрд кВт ч.

Северо-Кавказский регион относится к регионам с наибольшими отчётными потерями, если в среднем величина относительных потерь ЭЭ в структуре «Россетей» составляет порядка 8 %, то относительные потери в МРСК СК превышают 14,5 %.

Стоимость потерь ЭЭ в общих затратах на её транспортировку составляет от 10 до 30 % в зависимости от уровня номинального напряжения. В сетевой составляющей тарифа стоимость потерь в сетях распределительных сетевых компаний составляет около 6 %, следовательно, рост потерь неизбежно приводит и росту цены ЭЭ и задолженности сбытовых компаний на оптовом рынке и розничном рынках. Так, в 2015 г. потребители не оплатили 6 % потребленной ЭЭ, а в Ингушетии оплачено только 65 %.

При тарифном регулировании величина фактических потерь ЭЭ представляется в виде двух составляющих: нормативных потерь (компенсируются сетевой компании потребителями) и сверхнормативных потерь (оплачиваются из прибыли сетевой компании).

Величина коммерческих потерь ЭЭ в электрических сетях региона изменяется в диапазоне 2–5 % от отпуска электроэнергии в сеть, что может привести к быстрому банкротству сетевых компаний, так как величина нормируемой прибыли сетевых компаний в значительной степени зависит от уровня фактических потерь ЭЭ, а сетевые компании не имеют реальных возможностей существенно влиять на величину коммерческих потерь.

В настоящее время все сетевые компании МРСК Северного Кавказа работают с убытком, что в основном связано с наличием коммерческих потерь, на которые сетевая компания не может оказать существенного влияния.

Основным источником коммерческих потерь является жилищно-коммунальное хозяйство региона со своими бытовыми и мелкомоторными потребителями ввиду их огромного количества, низкого качества технического обслуживания электрических сетей напряжением 0,38 кВ, наличия бездоговорного и безучетного потребления.

В последнее время также наблюдается увеличение незаконного потребления крупными промышленными потребителями и мелкомоторными предприятиями. В бытовом секторе величина хищений доходит до 60 % в основном из-за постоянного роста тарифов на ЭЭ и снижения платежеспособности потребителей.

Существенную часть коммерческих потерь составляет несанкционированное потребление, которое в первую очередь обусловлено кризисом экономики, снижением платежеспособности населения, несовершенством нормативно-правовой базы и отраслевых нормативных документов, недостаточной обеспеченностью приборами учета электроэнергии, нахождением счетчиков на территории и на балансе потребителя, большой разветвленностью схем, относительно малой загрузкой элементов, подключением вводных и коммутационных аппаратов до приборов учета ЭЭ, а главное, постоянно растущими тарифами на электроэнергию.

Росту коммерческих потерь ЭЭ в значительной степени способствует сформированное общественное мнение, что воровство ЭЭ не считается преступлением, так как воруют не у государства, а у перепродавцов – энергосбытовых компаний.

Целью работы является разработка с помощью статистических методов и анализа профилей нагрузки, получаемых от системы Smart Metering, признаков выявления зон с повышенными техническими потерями электроэнергии и обнаружения мест несанкционированного потребления ЭЭ.

По нашему мнению, основными признаками выявления зон с повышенными техническими потерями являются:

- низкие уровни рабочих напряжений в опорных точках электрической сети в случае, если суммарные нагрузочные потери существенно превышают условно-постоянные потери при максимальной загрузке сети;
- большие удельные потери мощности в трансформаторах и линиях различных номинальных напряжений;
- наличие длинных линий или участков ВЛ 0,4 кВ превышающих 1,5 км;
- существование линии с плотностями тока на головном участке, превышающими 2,5 А/мм^2;
- наличие линий 0,4 кВ, с падением напряжения, превышающим 5 %;
- наличие силовых трансформаторов со средней загрузкой в режиме максимальной нагрузки менее чем на 50 % для однотрансформаторных подстанций и 35 % для двухтрансформаторных подстанций;
- наличие линии напряжением 0,4 кВ с удельными потерями, превышающими 20 тыс. кВт ч/км.

Совершенствование систем АСКУЭ, АСКУЭ БП, внедрение пилотных проектов с использованием технологии Smart Metering создают принципиально новые возможности по выявлению мест несанкционированного потребления ЭЭ.

Разработка признаков, позволяющих выявить несанкционированное потребление электроэнергии, основана на использовании метода аналитических группировок [1], параллельных рядов [3] и методов прогнозирования нагрузок [2].

При использовании метода аналитических группировок предлагается выполнить разделение потребителей на характерные группы (ХГ) и сравнить статистическую информацию, полученную на основе интеллектуальных счетчиков, без привязки потребителей к конкретным линиям, отходящим от шин ТП на напряжении 0,4 кВ.

Метод параллельных рядов целесообразно использовать при однородном характере нагрузки потребителей. В этом случае выполняется анализ изменения статистических параметров обработанных профилей нагрузки на головном участке линии и у конкретного потребителя.

При использовании методов прогнозирования сравниваются реальные нагрузки потребителя с прогнозными.

На рис. представлен общий алгоритм выявления несанкционированного потребления, основанный на анализе ретроспективных данных, хранящихся в энергосбытовых базах.

Выявление несанкционированного потребления основано на выполнении представленных на рис. действий алгоритма, который может быть реализован двумя способами.

В первом случае предлагается разделить всех потребителей на ХГ (коммерческие, бытовые, коммунальные, сельскохозяйственные и т.д.).

В дальнейшем потребители каждой группы делятся по диапазонам потребления на подгруппы. Пример формирования подгруппы для сельскохозяйственных потребителей показан в таблице.

Таблица

Диапазоны потребления сельскохозяйственных потребителей

С малым потреблением, кВт	Со средним потреблением, кВт		Мощные потребители, кВт	
до 2	2–4	4–6	6–8	Больше 8
	однофазные	трехфазные	однофазные	трехфазные

Для обеспечения возможности сравнения статистических данных в каждой ХГ фиксируется максимальное значение $P_{\max}$ и все статистические данные нормируются по выражению

$$P_i = \frac{P_i}{P_{мах}}. \quad (1)$$

Для каждого потребителя и ХГ определяются статистические параметры потребления ЭЭ за расчетный период ΔT. Далее производится их статистический анализ и выявляются подозрительные потребители, к которым применяются методы инструментального контроля.

Для определения мест несанкционированного потребления электроэнергии необходимо:

- выявить наличие в суточных профилях нагрузки потребителя нулевого потребления (П1), особенно в ночные часы, или в других зонах суточного графика;
- оценить близость основных статистических параметров (математического ожидания (МО), среднеквадратического отклонения (СКО), минимального значения (МИН), максимального значения (МАХ) за характерный период времени) для ХГ без исследуемого потребителя и у конкретного потребителя (П2);
- оценить с заданной доверительной вероятностью диапазоны изменения статистических параметров у конкретного потребителя и в ХГ за рассматриваемый период времени (П3), которые рассчитываются по выражениям:

$$P_{мах} = MO + t \cdot CKO, \quad (2)$$

$$P_{мин} = MO - t \cdot CKO, \quad (3)$$

где t – значение коэффициента Стьюдента;

– оценить степень изменения статистических параметров потребления каждым потребителем по коэффициенту изменчивости потребления (П4):

$$K_u = \frac{CKO_i - MO_i}{MO_i}; \quad (4)$$

– сравнить схожесть профилей нагрузки каждого потребителя и потребителей ХГ по коэффициентам Тейла или Аткинсона, рассчитываемых по следующим выражениям:

$$K_T = \frac{\sqrt{\frac{\sum (P_i - P_i)^2}{n}}}{\sqrt{\frac{\sum P_i^2}{n}} + \sqrt{\frac{\sum P_i^2}{n}}}, \quad A = 1 - e^{-K_T}; \quad (5)$$

– сравнить скользящее среднее для ХГ и каждого потребителя в характерных зонах суточного графика.

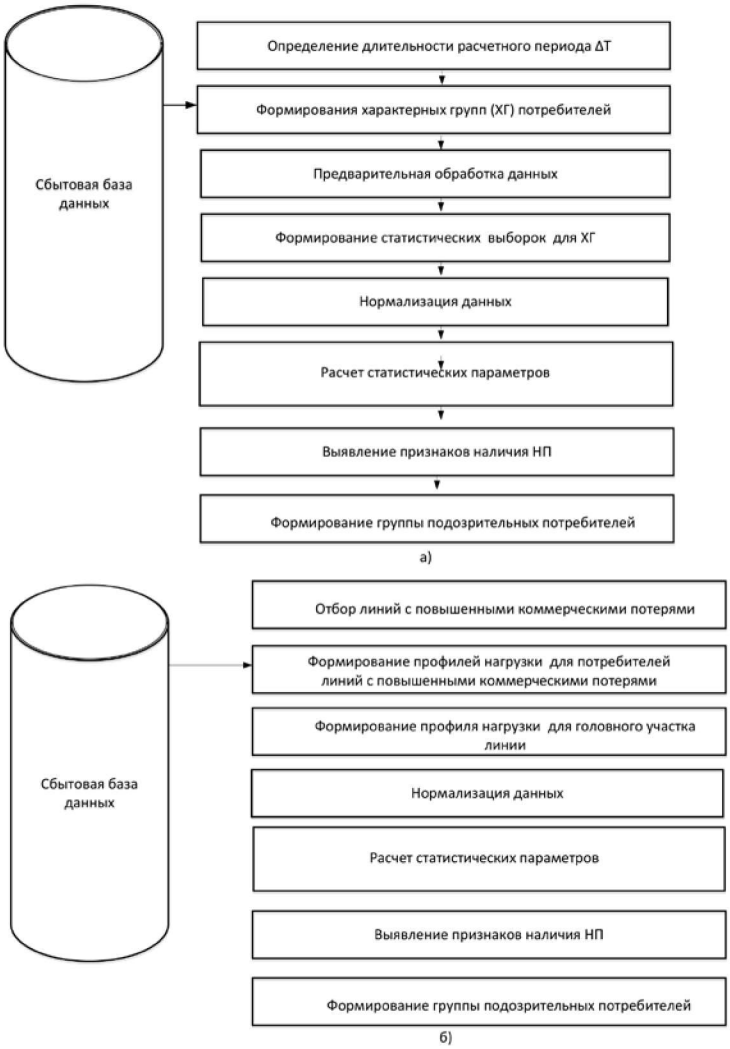

Рис. Основные этапы выявления несанкционированного потребления:
а) при использовании метода аналитических группировок; б) при использовании метода параллельных рядов

В качестве характерных зон предлагается использовать часы повышения нагрузки. Для этих часов сравниваются темпы роста нагрузки и если окажется, что в ХР нагрузка растет, а у потребителя снижается, то его следует отнести к группе подозрительных.

Если при использовании признака П2 значения отклонений МО, СКО, МИН или МАХ составляют более 20 %, то потребителя также относят к группе подозрительных и к нему применяются меры инструментального контроля.

При рассмотрении признака П3, анализируется диапазон изменения нагрузки и если окажется, что нагрузка потребителя выходит за диапазон группы более чем на 20 %, то потребителя следует отнести к группе подозрительных.

Если значение П4 потребителя существенно отличается от П4 ХГ, то потребитель относится к группе подозрительных.

При значениях коэффициента несоответствия Тейла, близких к нулю, профили считаются подобными, а потребителей с максимальным отличным от нуля значением коэффициента Тейла следует отнести к группе подозрительных.

Второй путь основан на использовании данных реального времени и привязке потребителя к конкретной линии. В этом случае используются не результаты статистического анализа, а анализируются тенденции суточного или часового потребления.

Использование метода параллельных рядов предполагает отбор подстанций напряжением 10/0,38 кВ, у которых небалансы ЭЭ превышают 5 %. По этим ПС формируется выборка с профилями нагрузки для всех линий. Графики синхронно снимаются на ГУ линии и у каждого потребителя.

Для анализа тенденций потребления предлагается сравнить скользящие средние в характерной зоне графика и каждого потребителя за трое и более суток (П7). В качестве характерных зон можно рассмотреть утренний и вечерние максимумы и ночной провал нагрузки.

Если на ГУ линии нагрузка возрастает, а у потребителя наблюдается снижение, то он рассматривается как подозрительный.

Признак П7 можно использовать для сравнения темпов роста нагрузки в характерные часы на ГУ линии и у каждого потребителя при изменении погодных условий.

Если у потребителя наблюдается снижение нагрузки в исследуемой зоне графика, а на головном участке линии рост, то есть подозрение о несанкционированном потреблении ЭЭ.

Признак П8 предлагается использовать для сравнения доли каждого потребителя в среднем потреблении ГУ за длительный период времени ΔT. Если доля конкретного потребителя в среднем потреблении ГУ периодически существенно меняется, то его можно отнести к группе подозрительных.

Признак П9 предлагается использовать для сравнения подобия графиков на ГУ и у конкретного потребителя по коэффициенту Тейла. Если значение коэффициента Тейла значительно отличается от нуля, то потребителя можно рассматривать как подозрительного. Данный признак целесообразно использовать для подстанций с однородным характером нагрузки.

При использовании методов прогнозирования возможны подходы по прогнозированию нагрузки по данным за несколько рабочих или выходных дней в этом случае сравниваются прогнозные нагрузки с реальными.

Прогноз может выполняться по регрессионным зависимостям, по скользящим средним, по долевому участию в суммарном потреблении ГУ линии или при использовании любых доступных методов.

Если прогнозные значения существенно отличаются от реальных, то потребителя следует отнести к группе подозрительных.

Таким образом, 1) многочисленные хищения со стороны абонентов и субабонентов приводят к возрастанию коммерческих потерь ЭЭ и значительным убыткам сетевых компаний, которые в настоящее время не имеют действенных рычагов для выявления и устранения фактов хищений, а также для привлечения расхитителей ЭЭ к ответственности; 2) предложен ряд признаков для выявления мест повышенных потерь электроэнергии и мест несанкционированного потребления ЭЭ и конкретных потребителей, для которых необходимо осуществлять постоянный контроль потребления.

Литература

1. Кириллов А. В. Статистика. Часть 1. Общая теория статистики: учеб. пособие. Самара: Изд-во СГАУ, 2012. 112 с.
2. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур. Сыктывкар: КНЦ УрО РАН, 2008. 77 с.
3. Ряузов Н. Н. Общая теория статистики: учебник для студ. экон. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 1984. 343 с.

УДК 621.315.592

Девицкий Олег Васильевич, Сысоев Игорь Александрович, Батищев Виталий Валерьевич, Васильев Виктор Александрович, Касьянов Иван Владимирович

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ РАМАНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР A_3B_5/SI (100), ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ[1]

В статье рассматривается задача по определению спектров комбинационного рассеивания света в гетероструктурах $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}P_y$/Si $Al_xGa_{1-x}As$ / Si. Целью работы стало исследование спектров комбинационного рассеяния гетероструктур соединений $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}Py$ / Si $Al_xGa_{1-x}As$ / Si, полученных методом импульсного лазерного напыления (ИЛН). Для гетероструктур, выращенных на кремниевых подложках, с ориентацией (100) сдвиги частот оптических фононов, полученных при Т= 300 °С минимальны и составляют 10 см$^{-1}$. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что снижение температуры синтеза гетероструктур типа $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}P_y$ / Si до Т=300 °С позволяет получать образцы с пониженным значением уровня механических напряжений. Показано, что методом импульсного лазерного напыления, на примере $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ / Si, можно получать гетероструктуры A_3B_5/Si достаточно высокого качества.

Ключевые слова: *гетероструктуры соединений A_3B_5, импульсное лазерное напыление, комбинационное рассеяние света, $Al_xGa_{1-x}As$ / Si, $Al_xGa_{1-x}PyAs_{1-y}$ / Si, GaP, солнечные элементы.*

Oleg Devitsky, Igor Sysoev, Vitaliy Batishchev, Viktor Vasiliev, Ivan Kasyanov

THE SPECTRUM OF RAMAN SCATTERING HETEROSTRUCTURES A_3B_5/Si (100) OBTAINED BY PULSED LASER DEPOSITION

The article discusses the problem of determining the Raman spectra of the lighttion in the hetrostructure $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}P_y$ / Si $Al_xGa_{1-x}As$ / Si.

The aim is to study the Raman spectra of hetero-structures of compounds $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}P_y$ / Si $Al_xGa_{1-x}As$ / Si, obtained by pulsed laser deposition (PLD). For heterostructures grown on silicon substrates with the (100), shifts the optical phonon frequencies obtained at T = 300 °C is minimal and is 10 cm^{-1}. From this it can be concluded that the synthesis temperature decrease heterostructure type $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}P_y$ / Si up to T = 300 °C produces samples with low value of stress level. It is shown that Meto-house pulsed laser deposition on $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ / Si example, can be produced hetero-structures A_3B_5 / Si of sufficient quality.

Key words: *heterostructures A_3B_5 compounds, pulsed laser deposition, Raman scattering, $Al_xGa_{1-x}As$ / Si, $Al_xGa_{1-x}P_yAs_{1-y}$ / Si, GaP, solar cells.*

На данный период развития современной фотовольтаики кремний и арсенид галлия по-прежнему остаются основными материалами для получения солнечных элементов. Из-за большого различия величины постоянной решетки и коэффициента линейного термического расширения (ЛКТР) Si и GaAs долгое время считалось сложно реализуемым получение пленок соединений A_3B_5 на подлож-

1 Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственно-го задания по проекту №2014/216, код проекта: 2516.