

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.Е. Коченгин (Компания Прософт), Г.П. Павлюк, В.А. Шихин (НИУ МЭИ)

Предложен метод выявления существенных отклонений при ведении контроля потребляемой электроэнергии, направленный на повышение полноты учета всех технологических событий в процессе энергоснабжения. Метод позволяет определять факт наличия критического события и в ряде случаев производить их идентификацию. Посредством введения в рассмотрение типового перечня критических событий для процесса поставки электроэнергии составлена таблица их отличительных признаков и признако-устанавливающих функций. С целью проведения идентификации критических событий предложена признако-событийная маска, позволяющая выявлять активные признаки и дискриминировать близкие по признакам события. Произведенные численные эксперименты на основе учетных данных по электропотреблению позволили протестировать возможность применения критерия Вилкоксона в составе вычислительной процедуры разработанного алгоритма выявления критических событий.

Ключевые слова: технологическое событие, выявление события, критические события, профиль нагрузки, признако-устанавливающая функция, непараметрический критерий.

### Введение

Экономическая и технологическая эффективность функционирования электросетевых и энергосбытовых компаний во многом зависит от полноты учета всех технологических событий в процессе энергоснабжения как со стороны поставщиков, так и потребителей электроэнергии. Это тем более важно, поскольку с 1 января 2019 г. в РФ вступит в силу национальный стандарт, устанавливающий общие требования к балансовой надежности энергосистем при планировании и проектировании развития энергосистем, а также при определении спроса на мощность в ходе реализации конкурентных отборов мощности на оптовом рынке электрической энергии (мощности).

Мониторинг параметров систем электроснабжения и электропотребления осуществляется средствами телемеханики (ТМ, ОИК ССПТИ и др.), а также автоматизированными информационно-измерительные системы контроля и учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Постоянно возрастают возможности увеличения частоты съема данных измерений и учета различных параметров поставленной электроэнергии, перечень доступных для измерения физических переменных (параметров сети), точность измерений. Все это повышает информативность получаемых данных о контролируемом объекте. Оператор, осуществляющий контроль за системой, не всегда в состоянии быстро и правильно проанализировать весь массив данных. Отсюда возникает проблема пропуска важной информации, не нарушающей в целом технологический процесс, однако оказывающей существенное влияние на оптимальное функционирование объекта управления и контроля. Кроме того, соблюдение технологической дисциплины процесса энергоснабжения является также весьма важным требованием к организации производственных взаимоотношений между поставщиками и потребителями электроэнергии [1].

Принятая в электроэнергетике практически всех стран мира процедура регистрации электрических нагрузочных профилей может являться не только источником ясного графического и числового отображения технологического процесса распределения электроэнергии, но и средством получения важной информации об особенностях соответствующих производственных процессов, для обеспечения их технологического контроля и для разработки мероприятий по их совершенствованию [2].

Оперативное выявление событийной информации, не нарушающей технологический процесс энергоснабжения, имеет существенное значение для взаиморасчетов сетевых компаний, энергосбытовых организаций и потребителей, например, по условиям заключенных договоров на энергоснабжение. Отдельные критические события также могут приводить к появлению неоправданных пиков мощности, неоптимальному соотношению активной и реактивной мощности, неоправданному включению в работу систем регулирования напряжения, повышению технических потерь электроэнергии и другим отрицательным факторам.

### Профиль нагрузки как источник событийной информации

Профили электрической нагрузки, фиксируемые в различных временных разрезах, являются обяза-



Рис. 1

тельными для всех субъектов рынка электроэнергии и могут служить в качестве источника информации для выявления важных технологических событий. Профиль нагрузки — это набор данных по мощности потребляемой электроэнергии на определенном интервале времени (сутки, неделя, месяц, год), собираемых информационной системой с фиксированной дискретностью. Согласно техническим требованиям к средствам коммерческого учета, на оптовом и розничных рынках электроэнергии в РФ (<https://www.np-sr.ru>) интервал учета установлен в 30 мин. Профиль нагрузки представляется графически в виде почасового потребления электроэнергии.

Основным источником данных учета считаются интеллектуальные счетчики, которые могут записывать десятки различных параметров сети, таких как напряжения и токи по фазам, двунаправленные потоки активной и реактивной энергии, показатели качества электроэнергии и др. Глубина хранения профиля нагрузки в памяти коммерческих счетчиков составляет  $\geq 1$  мес. Также счетчик хранит журнал событий, существенных для ведения процесса учета, который является дополнительным источником информации для анализа данных.

Дополнительные возможности для анализа учетных данных представляют штатные вычислительные средства в составе АИИС КУЭ, которые позволяют регистрировать выход контролируемых параметров за установленные пороги, проводят процессы достоверизации, верификации получаемых данных и др. ([www.izmerenie.ru](http://www.izmerenie.ru)).

В настоящее время актуальной является проблема не только точного учета потребления электроэнергии, но и оперативного выявления событийной информации, не нарушающей технологический процесс энергоснабжения, но имеющей существенное значение для взаиморасчетов сетевых компаний, энергосбытовых организаций и потребителей, например, по условиям заключенных договоров на энергоснабжение. Такие критические события также могут приводить

к появлению потенциально опасных пиков мощности, неоптимальному соотношению активной и реактивной мощности, неоправданному включению в работу систем регулирования напряжения, повышению технических потерь электроэнергии и другим отрицательным факторам.

В последнее время появились публикации, связанные с рассмотрением профиля нагрузки как источника дополнительной технологической информации, но не в связи с выявлением критических событий, а для решения задач прогнозирования, апостериорного анализа, оптимального перераспределения внутрисуточной нагрузки и др. [3]. Предлагаемые математические подходы при этом сводятся к применению искусственных нейронных сетей [4], анализу временных рядов [4], фрактальному анализу [5], методов кластеризации [6].

Особенность данной работы состоит в том, что профили нагрузки предлагается использовать в качестве исходной и основной информации для выявления и идентификации, например, следующих критических событий: несанкционированное присоединение к электросети новых электроприемников и генераторов, получение электроэнергии в обход счетчика, факты нарушения договорных обязательств, наличие несвоевременно устраняемых технических неисправностей и сбоев, внесение намеренных искажений в показания приборов. В качестве математического инструмента решения поставленной задачи предлагается использовать непараметрические статистические критерии [7, 8], что ниже обосновывается.

#### Формализация представления критического события и признако-устанавливающих функций

Предлагается формально описать «критическое событие» посредством соответствующих блоков, представленных на рис. 2.

В качестве основной информации для выявления и идентификации указанных критических событий, предлагается исследовать профиль нагрузки  $LP(\Delta t)$ ,

поступающий со счетчиков электроэнергии с заданной частотой съема информации (как правило, от 30 мин, отображающийся с  $\Delta t = 1$  час). При этом учетные данные проходят первичную обработку на сервере АИИС КУЭ, где, в том числе производится их верификация и валидация. Профили нагрузки, прошедшие процедуры достоверизации, могут считаться пригодными для их последующей обработки с целью извлечения информации о возможных критических событиях.

Кроме того, вместе с профилем нагрузки  $LP(\Delta t)$ , отражающим потребляемую мощность,

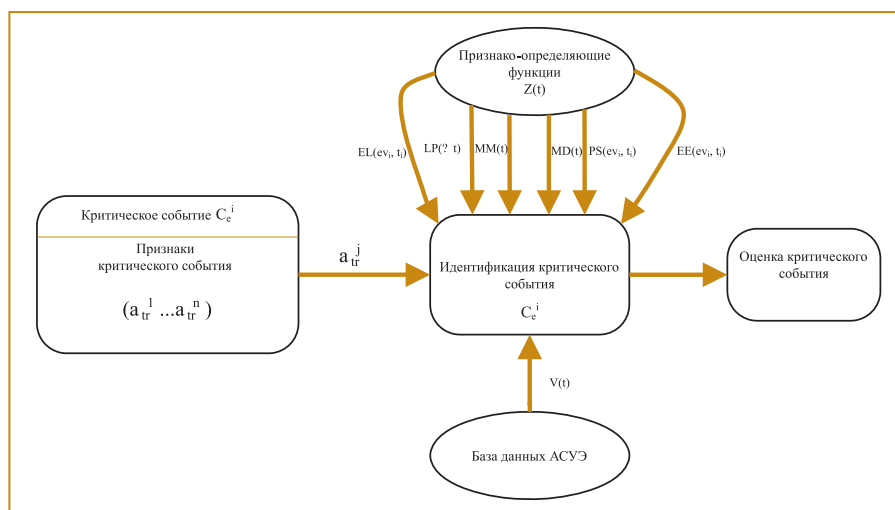


Рис. 2

Таблица 1. Сводная таблица критических событий и признако-устанавливающих функций

№	Наименование критического события $C_e^i$	Признако-определяющая функция, $Z(t)$	Признак, $a_r^j$
1	Несанкционированное подключение к электросети на стороне потребителя новых электроприемников	НПд $C_e^1$ 1.1 Профиль нагрузки $LP(\Delta t)$ 1.2 Телеизмерения $MM(t)$	- Смещение по вертикали ( $a_r^1$ ) - Пусковые токи ( $a_r^2$ )
2	Превышение договорной мощности	ПДМ $C_e^2$ 2.1 Профиль нагрузки $LP(\Delta t)$ 2.2 Сервер АИИС КУЭ $EE(ev_i, t_i)$	- Смещение по вертикали ( $a_r^1$ ) - Сигнализация нарушений пороговых значений ( $a_r^3$ )
3	Вмешательство в работу счетчика	ВРС $C_e^3$ 3.1 Профиль нагрузки $LP(\Delta t)$ 3.2 Журнал событий счетчика $EL(ev_i, t_i)$ 3.3 Сервер АИИС КУЭ $EE(ev_i, t_i)$	- Масштаб ( $a_r^4$ ) - Событие из журнала счетчика ( $a_r^5$ ) - Событие с сервера АИИС КУЭ ( $a_r^6$ ) - Изменение тарифных границ ( $a_r^7$ )
4	Потеря измерений, неполнота данных	ПИД $C_e^4$ 4.1 Профиль нагрузки $LP(\Delta t)$ 4.2 Журнал событий счетчика $EL(ev_i, t_i)$ 4.3 Сервер АИИС КУЭ $EE(ev_i, t_i)$	- Смещение по вертикали ( $a_r^2$ ) - Событие из журнала счетчика ( $a_r^5$ ) - Событие с сервера АИИС КУЭ ( $a_r^6$ )
5	Повреждения коммуникационной линии АИИС КУЭ	ПКЛ $C_e^5$ 5.1 Профиль нагрузки $LP(\Delta t)$ 5.2 Измерительные данные ОИК $MD(t)$ 5.3 Средства (терминал) РЗА $PS(ev_i, t_i)$ 5.4 Сервер АИИС КУЭ $EE(ev_i, t_i)$	- Смещение по вертикали ( $a_r^1$ ) - Отклонение регламентированного показателя качества электроэнергии ( $a_r^8$ ) - Событие с сервера АИИС КУЭ ( $a_r^6$ )

Таблица 2. Маска признаков и событий MSK

	НПд	ПДМ	ВРС	ПИД	ПКЛ	Индикатор активации признака
Смещение по вертикали ( $a_r^1$ )	X	X		X	X	Статистическая оценка, ИНС
Пусковые токи ( $a_r^2$ )	X					Статистическая оценка, ИНС
Сигнализация нарушений пороговых значений ( $a_r^3$ )		X				Детерминированное сообщение
Масштаб ( $a_r^4$ )			X			Статистическая оценка, ИНС
Событие из журнала счетчика ( $a_r^5$ )			X	X		Детерминированное сообщение
Событие с сервера АСКУЭ ( $a_r^6$ )			X	X	X	Детерминированное сообщение
Изменение тарифных границ ( $a_r^7$ )			X			Детерминированное сообщение
Отклонение регламентированного показателя качества электроэнергии ( $a_r^8$ )					X	Детерминированное сообщение

$\delta_i, i = \overline{1, N}$  исследуемого профиля, являющееся односторонним, где  $N$  — число значений в выборке с дискретизацией  $\Delta t$ . Пусковые токи ( $a_r^2$ ) — токи, возникающие при подключении и запуске электрооборудования и характеризующиеся значительным превышением номинальных значений. Сигнализация нарушений пороговых значений ( $a_r^3$ ) — изменение значения до предельно допустимых верхних или нижних границ. Масштаб ( $a_r^4$ ) — изменение профиля нагрузки таким образом, что число положительных и отрицательных сдвигов примерно равно, однако абсолютная величина смещения велика. Событие из журнала счетчика ( $a_r^5$ ) — события, действия, отклонения значений фиксируемые во внутреннем журнале электросчетчика, например, вскрытие счетчика, изменение параметров счетчика и др. Событие сервера АСКУЭ ( $a_r^6$ ) выбирается из журнала событий сервера АИИС КУЭ, где фиксируется информация о любых изменениях, происходящих в системе учета электроэнергии. Изменение тарифных границ ( $a_r^7$ ) — изменение установленных тарифных зон. Отклонения регламентированного показателя качества электроэнергии ( $a_r^8$ ) — подразумевается отклонения основных параметров электроэнергии от норм, установленных ГОСТ 32144-2013.

доступными для исследования являются другие измеренные счетчиком параметры электрической энергии  $MM(t)$  и журнал событий электросчетчика  $EL(ev_i, t_i)$ . Средства РЗА также могут служить дополнительным источником информации в виде массива событийных данных  $PS(ev_i, t_i)$ . Важную роль играет событийная информация по результатам обработки данных на сервере АИИС КУЭ  $EE(ev_i, t_i)$ . Также в большинстве случаев доступна информация от средств телеметрии и ОИК в виде измеренных фазных токов  $MD(t)$ .

В табл. 1 для каждого критического события  $C_e^i$  указан его вектор признако-определяющих функций  $Z(t) = [LP(\Delta t), MM(t), EL(ev_i, t_i), PS(ev_i, t_i), EE(ev_i, t_i), MD(t)]^T$  и непосредственно признаки  $a_r^j$  на основе имеющихся (возможно, в БД) экспертных знаний. Соответственно без потери общности далее ограничимся рассмотрением пяти возможных критических событий  $i = \overline{1..n}, n = 5$  и вводом восьми признаков-атрибутов  $j = \overline{1..m}, m = 8$ .

В табл. 1 под смещением по вертикали  $a_r^1$  понимается незначительное по абсолютной величине смещение

как видно из табл. 1, имеет место повторение признаков для отдельных событий. С целью учета данного факта при последующем проведении анализа введем признако-событийную маску (ПСМ)  $MSK\{a_r^j, C_e^i\}$ , отображающую пересечение признаков и критических событий для конкретного рассмотрения из табл. 1:  $i = \overline{1, N}, n = 5; j = \overline{1..m}, m = 8$ . Построенная таким образом ПСМ представлена в виде табл. 2.

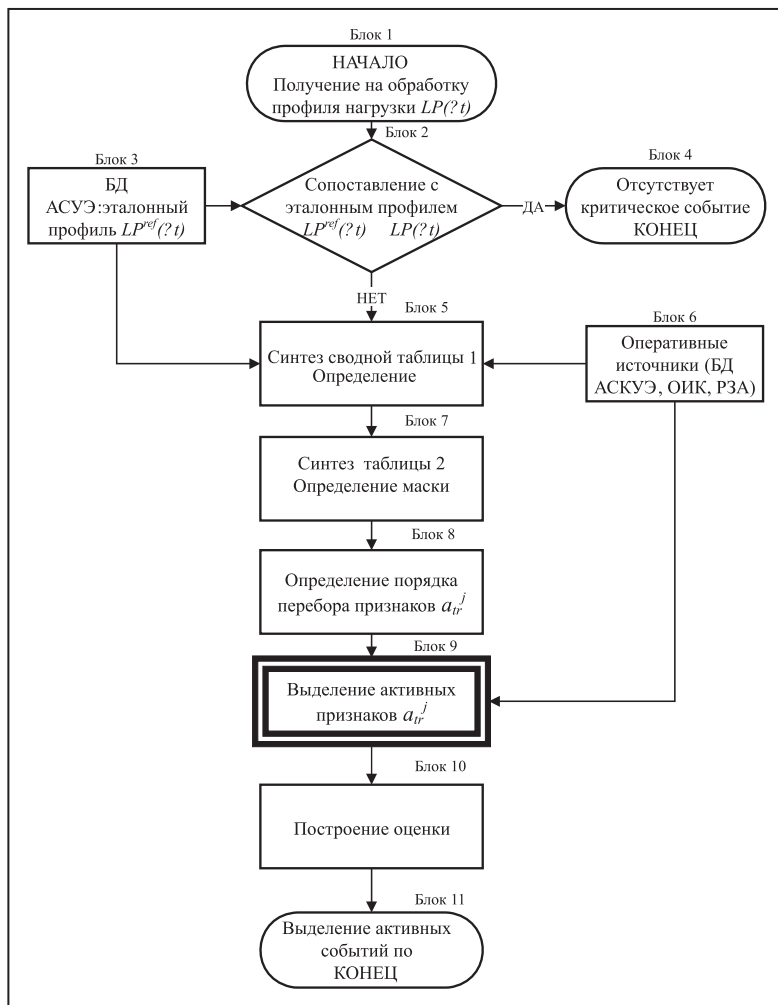


Рис. 3. Блок-схема алгоритма выявления критических событий

ПСМ является исходной информацией для разработки алгоритма выявления и идентификации критических событий.

#### Алгоритмы выявления и идентификации критических событий

На рис. 3 приведена блок-схема предлагаемого алгоритма выявления критических событий, описывающего работу в режиме реального времени с активацией по изменению/получению суточного профиля нагрузки.

В блоке 1 производится процедура загрузки профиля нагрузки электроэнергии  $LP(\Delta t)$  за выбранные сутки.

Блок 2 отображает наличие базы данных АСУЭ (АСУ электроснабжения или как возможного фрагмента АСУ предприятия). Предполагается, что в данной БД хранится множество суточных профилей нагрузки  $LP^{ref}(\Delta t)$ , выделенных экспертами как эталонные для данного предприятия на основе договорных отношений по электроснабжению и типового технологического графика работы предприятия.

В блоке 3 производится сопоставление профилей нагрузки путем расчета СКО суточного профиля от эталонного.

В блоке 4 при незначительном  $СКО \leq \delta_{доп}$  делается вывод об отсутствии критического события и завершается анализ данного профиля. Значение  $\delta_{доп}$  связано с точностью выполнения измерений, указанной в утвержденной (в установленном порядке) для конкретной точки поставки электроэнергии «Методикой выполнения измерений» (МВИ).

В блоке 5 производится синтез таблицы критических событий (табл. 1) — выделение типов критических событий их признако-устанавливающих функций и признаков, актуальных для конкретного исследования. Для успешного синтеза табл. 1 необходима информация из смежных (если они существуют или доступны) баз данных АИИС КУЭ, ОИК, аварийных регистраторов и средств РЗА, отображенных в блоке 6.

В блоке 7 создается маска признаков и событий  $MSK$ . В блоке 8 определяется порядок переборки признаков  $a_{tr}^j$  из множества возможных.

Блок 9 является особо ответственным блоком, включающим алгоритм выявления активных признаков. Его внутренняя структура определяется выбором способа тестирования наличия признаков, например, путем статистического анализа, что соответствует, в частности, специфической процедуре, алгоритм которой рассмотрен ниже.

В блоке 10 производится интеграция выявленных активных признаков в форме получения оценки маски признаков и событий  $MSK = \{a_{tr}^j(\varepsilon), C_e^i(p)\}$  и рассчитываются вероятности наличия критических событий. Здесь  $\varepsilon$  — ошибка оценки активации признака,  $p$  — вероятность наличия критического события.

В блоке 11 производится окончательный вывод по наличию критических событий, анализируется их различимость, степень достоверности полученных результатов.

#### Статистический анализ как один из способов выявления активных признаков

Блок 9 на рис. 2 отображает выявление активных признаков и его содержание соответствует выбору конкретной вычислительной процедуры, что зависит от ряда факторов, включая непосредственную зависимость от типа исследуемого признака и признако-устанавливающей функции. Так, например, в работе [9] для тестирования критического события типа «Несанкционированное подключение» авторы успешно использовали методы машинного обучения, а именно — аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС). Однако, как известно, математическим моделям типа ИНС присущ эффект «черного ящика» [10],

что в значительной степени затрудняет анализ обоснованности получаемого результата. В таких случаях для проведения классификации признаков представляется целесообразным использовать комбинацию из нескольких методов, то есть для достижения необходимой точности при минимальных вычислительных затратах предлагается использовать гибридные модели принятия решения.

Принимая во внимание статистическую природу учетных данных по потреблению электроэнергии для решения задачи выявления активных признаков воспользуемся статистическими методами анализа. Поскольку указанный путь анализа чувствителен к принимаемым предпосылкам и ограничениям, то сделаем некоторые замечания.

*Замечание 1.* На этапе обработки и подготовки данных предполагается, что экспертами может быть определен эталонный суточный профиль нагрузки, отражающий медианные значения потребляемой предприятием мощности за определенный срок. Принятая предпосылка позволяет производить процедуры сравнения вновь поступающих суточных профилей с эталонным профилем на предмет выявления критических событий

*Замечание 2.* Принимая во внимание характер исследуемых данных, а именно, наличие существенно ограниченного объема выборки — всего 24 измеренных значения одного параметра — можно утверждать, что отсутствуют достаточные аргументы для постулирования априори закона распределения выходных величин и их статистических свойств.

Этот факт существенно ограничивает возможность использования традиционных статистических тестов. Применимость же в этих случаях, предложенных Д. Боксом робастных статистических методов анализа, т.е. низко-чувствительных к нарушениям предпосылок, связана с гарантиями наличия нарушений в четко ограниченных пределах, что также затруднительно исполнить. Если эти установленные пределы не соблюдаются, то применение робастных методов представляет большой риск.

В этих условиях перспективным представляется использование непараметрических методов тестирования, которые свободны от ограничений на вероятностные свойства распределений. Единственное существенное предположение, которое следует учитывать, связано с непрерывностью функций распределения случайных величин. Заметим, что многие непараметрические критерии, в том числе критерии Смирнова и Колмогорова, основаны на рассмотрении эмпирической функции распределения, что в силу сделанного Замечания 2, трудноосуществимо.

В связи с этим предлагается рассматривать в первую очередь критерии, основанные на порядковых статистиках, когда строятся вариационные ряды, а далее осуществляется либо сравнение членов вариационного ряда с медианой, либо вводится понятие целочисленных рангов.

Для сравнения двух выборок в настоящее время широко используются критерии парных сравнений. Наиболее мощным тестом на функциях распределения логистического типа является критерий Вилкоксона.

Произведем тестирование двух суточных выборок, соответствующих текущему профилю нагрузки и эталонного соответственно, имеем две выборки  $Y_{эм}$  и  $Y_l$ . Гипотеза, требующая проверки, состоит в том, что обе выборки принадлежат одной и той же генеральной совокупности  $Y_0$ :

$$H: Y_{эм} \in Y_0 \ \& \ Y_l \in Y_0 \quad (1)$$

или подчиняются одному и тому же закону распределения:

$$H: P_1(Y_{эм}) = P_2(Y_l). \quad (2)$$

При этом полагаем, что мы имеем возможность сформировать  $N$  пар взаимосвязанных данных  $(Y_{эм1}, Y_{l1}), (Y_{эм2}, Y_{l2}), \dots, (Y_{эмN}, Y_{lN})$ .

Алгоритм дискриминации по критерию Вилкоксона в традиционной версии состоит из следующих этапов:

1. Выдвижение гипотезы.
2. Вычисляются разности  $\delta_i, i = \overline{1, N}$  из  $N$  пар наблюдений  $(Y_{эм1}, Y_{l1}), (Y_{эм2}, Y_{l2}), \dots, (Y_{эмN}, Y_{lN})$ :  $\delta_i = Y_{эмi} - Y_{li}$ .
3. Вычисленные разности  $\delta_i, i = \overline{1, N}$  упорядочиваются по абсолютной величине в виде вариационного ряда  $\delta(1), \delta(2), \dots, \delta(N)$  и каждой разности в порядке возрастания присваивается соответствующий ранг  $R_i$  — целое положительное число:  $R_i = \overline{1, N}, i = \overline{1, N}$ .
4. Каждому рангу  $R_i = \overline{1, N}$  приписывается знак соответствующей разности пары наблюдений  $(Y_{эмi} - Y_{li}), i = \overline{1, N}$  и вычисляется сумма положительных рангов  $T_{N+}$ .
5. Вычисленное значение  $T_{N+}$  сравнивается с критическим значением критерия  $A[\alpha, N]$ , которое определяется из статистических таблиц в соответствии с заданным уровнем значимости  $\alpha$  и числом сравниваемых пар  $N$ .

6. Гипотеза (1) отвергается, если:

$$T_{N+} > A[\alpha, N]. \quad (3)$$

Среди основных достоинств критерия Вилкоксона отметим то, что он опирается на стандартизованную нормальную статистику, оптимален на классе функций распределения логистического типа.

Использование предложенного статистического критерия является важной частью алгоритма анализа профиля нагрузки для выявления критических событий согласно.

#### Пример выявления активного признака по критерию Вилкоксона по профилю нагрузки нефте-химического предприятия

Рассмотрим совокупность двух суточных профилей нагрузки одного из промышленных нефте-химических предприятий. Выдвигается гипотеза о возможном критическом событии типа «Несанкционированное подключение к электросети на стороне потребителя новых электроприемников (НПд  $C_0^1$ )». В соответствии с табл. 1 профиль нагрузки потребителя  $LP(\Delta t)$  устанавливается как единственная доступ-

Таблица 3. Результаты расчетов по критерию Вилкоксона для сравниваемых выборок  $Y^{ref}$  и  $Y_I$

Часы	Эталонная выборка $Y^{ref}$ , кВтч	Исследуемая выборка $Y_I$ , кВтч	$ \delta  =  Y^{ref}_i - Y_{Ii} $	Знак $\delta$	Ранг $rank( \delta )$
0:00	11 871	13 801	1930	-1	8
1:00	11 781	13 643	1862	-1	7
2:00	12 683	13 594	911	-1	1
3:00	12 100	13 746	1646	-1	5
4:00	11 726	13 779	2053	-1	12
5:00	11 328	13 483	2155	-1	13
6:00	10 533	12 029	1496	-1	2
7:00	13 984	11 807	2177	1	15
...	...	...	...	...	...
16:00	14 135	11 957	2178	1	16
17:00	11 921	13 490	1569	-1	4
18:00	11 590	14 292	2702	-1	23
19:00	11 589	13 749	2160	-1	14
20:00	11 399	13 890	2491	-1	21
21:00	11 506	13 006	1500	-1	3
22:00	10 605	13 067	2462	-1	20
23:00	10 972	12 945	1973	-1	9

ная на стороне энергоснабжающей компании признако-устанавливающая функция так как в конкретном случае вторая признако-устанавливающая функция «Телеизмерения  $MM(t)$ » на конкретном предприятии не реализована и соответствующие данные измерений на диспетчерский центр поставщика электроэнергии не передаются. Соответственно, в качестве признака указанного критического события из табл. 1 выбирается «Смещение по вертикали  $a_{tr}^1$ », а в качестве «Индикатор активации признака», согласно табл. 2, выбирается «Статистическая оценка» или «ИНС», либо они могут использоваться совместно. В данном случае выберем статистический метод индикации активности признака «Смещение по вертикали  $a_{tr}^1$ » на основе применения критерия Вилкоксона.

Положим известным фактом (согласно принятой выше предпосылке), что один из профилей  $LP^{ref}(\Delta t)$  отражает нормальную работу предприятия без каких-либо критических событий и соответствует выборке  $Y^{ref}$ . В выборке  $Y_I$  профиля  $LP_I(\Delta t)$  содержатся намеренно симитированная информация (на основе экспертных данных) о критическом событии типа  $C_e^1$  НПД. В табл. 3 представлены сравниваемые профили нагрузки  $LP^{ref}(\Delta t)$  и  $LP_I(\Delta t)$ , и сведены результаты расчетов с применением критерия Вилкоксона.

Таблица 4. Результаты проверки гипотезы  $H$  с применением традиционного критерия Вилкоксона при различных уровнях значимости

Критические значения $A[\alpha, N]$	Сравниваемые выборки	$Y^{ref} \leftrightarrow Y_I$ $\sum T_{N+} = 157$
$A[\alpha=0,025, N=24]=81$		Отвергается
$A[\alpha=0,01, N=24]=69$		Отвергается
$A[\alpha=0,005, N=24]=61$		Отвергается

В табл. 3 произведено тестирование профилей нагрузки  $Y^{ref}$  и  $Y_I$  по критерию Вилкоксона в соответствии с алгоритмом (рис. 3). При этом заранее известно для данного примера, что профиль нагрузки  $Y_I$  характеризует событие типа: «Несанкционированное подключение к электросети на стороне потребителя новых электроприемников».

Как видно из табл. 4, проверка условия (3) производилась при варьировании заданного уровня значимости  $\alpha$  в широких пределах 0,005...0,25. Во всех случаях тестирование идентифицирует невыполнение гипотезы  $H$ , что соответствует наличию в профиле  $Y_I$  существенных отклонений от эталонного профиля  $Y^{ref}$ . Таким образом статистически обоснованным является решение о выявлении наличия критического события «Несанкционированное подключение к электросети на стороне потребителя новых электроприемников», что соответствует произведенной имитации в исходных выборках.

Заметим, что в данном случае, выявление возможного события производилось на основе единственной признако-устанавливающей функции «профиль нагрузки». Мощность принятия решения может быть значительно повышена, если в соответствии с табл. 1 могла бы быть привлечена к обработке вторая признако-устанавливающая функция «Телеизмерения»  $MM(t)$ , позволяющая ввести в рассмотрение еще один признак — «Пусковые токи» ( $a_{tr}^2$ ).

## Выводы

1. Предложен метод выявления существенных отклонений при ведении контроля и учета потребляемой электроэнергии на границе балансовой принадлежности электросетевой компании и потребителя от установленных договорными отношениями параметров. Предложенный метод выявления критических событий в процессе электроснабжения позволяет дистанционно на основе обработки имеющихся разнотипных данных определять как факт наличия критического события, так и в ряде случаев производить его идентификацию.

2. Посредством введения в рассмотрение типового перечня критических событий для процесса поставки и учета потребляемой электроэнергии составлена таблица их отличительных признаков и признако-устанавливающих функций. С целью проведения идентификации критических событий предложена признако-событийная маска, позволяющая выявить соответствующие активные признаки. Содержание указанных таблиц положено в основу разработанного алгоритма.

3. Принимая во внимание статистическую природу учетных данных по потреблению электроэнергии, а также специфику доступных статистических данных для решения задачи выявления активных признаков событий предложено использовать в качестве одного из возможных подходов непараметрический критерий Вилкоксона. Произведенные численные эксперименты на основе учетных данных по электропотреблению одного из нефтехимических промышленных предприятий позволили протестировать возможность применения процедуры выявления активного признака по традиционному критерию Вилкоксона в составе вычислительной процедуры разработанного алгоритма выявления критических событий.

4. Направления дальнейших исследований. Представляется важным разработать комплексное решение проблемы выявления событийной информации за счет как совмещенного использования различных математических подходов, так и повышения мощности принятия решений по отдельным вычислительным процедурам, применяемым в составе предложенного метода.

#### Список литературы

1. *Rahimifard S., Seow Y., Childs T.* Minimising embodied product energy to support energy efficient manufacturing // CIRP

Annals - Manufacturing Technology. 2010. p.25 – 28.

2. *Spiering T.* Energy efficiency benchmarking for injection moulding processes // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2015. 36: p45 – 59.

3. *Teiwes H.* Energy load profile analysis on machine level // CIRP. 2018. 69: p271 – 276.

4. *Damayanti R.* Electrical Load Profile Analysis Using Clustering Techniques // IOP conf. 2017.

5. *Сухов В.Е.* Система обнаружения аномалий сетевого трафика на основе искусственных иммунных систем и нейросетевых детекторов // Вестник РГТУ. 2015. № 54.

6. *Басараб М.А.* Обнаружение аномалий в информационных процессах на основе мультифрактального анализа. 2014.

7. *Hogg R.V.* Probability and Statistical Inference. Prentice Hall. 2006.

8. ГОСТ Р 50.1.037-2002. Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика: Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Ч. II: Непараметрические критерии // Госстандарт РФ. 2002.

9. *Коченгин А.Е.* Выявление и идентификация значимых технологических событий при анализе профиля электроснабжения промышленного предприятия // Автоматизация в промышленности. 2018. №11.

10. *Шохина К.С., Иванова М.Н.* Искусственный интеллект как "черный ящик" и нейрокибернетика // Международный студенческий научный вестник. 2016. 3 (ч. 1).

*Коченгин Алексей Евгеньевич – инженер-программист компании Прософт, Павлюк Галина Прокофьевна – старший преподаватель, Шихин Владимир Анатольевич – канд. техн. наук, доцент НИУ МЭИ. E-mail: kochenginalexey@gmail.com PavliukGP@mpei.ru ShikhinVA@mpei.ru*

#### НОВЫЕ КНИГИ

*Кангин В. В., Кангин М. В., Ямолдинов Д. Н.* "Разработка SCADA-систем". Объем – 564 стр., переплет: твердый, полноцвет. 2019 г.

Даны рекомендации по проектированию SCADA-системы с использованием среды визуального программирования Delphi. Приведен обзор существующих SCADA-систем с анализом принципов их работы. Рас-

смотрены возможности SCADA-системы как инструмента для просмотра тегов. Освещены вопросы организации распределенных систем управления с развитым диспетчерским уровнем.

*Иванов В. Э., Чье Ен Ун* "Разработка АСУТП в среде WinCC". Объем – 232 стр., переплет: твердый, полноцвет. 2019 г.

Рассмотрены вопросы проектирования диспетчерского уровня АСУТП на базе SCADA-системы WinCC. Описаны основные подсистемы WinCC – создание каналов связи, архивирование тегов, графический интерфейс пользователя, регистрация аварийных событий, созда-

ние макросов, пользовательские архивы и администрирование. В качестве примеров выбраны типовые задачи, решаемые инженером-проектировщиком при разработке диспетчерского уровня управления для каждой подсистемы.

*Калиниченко А.В.* Справочник инженера по КИПиА. Издание 3-е. Объем – 576 стр., переплет: твердый, полноцвет. 2018 г.

Рекомендуется как настольная книга инженера по эксплуатации и ремонту контрольно-измерительных приборов для измерения технологических параметров температуры, давления, расхода и уровня. Детально описаны материалы как для обучения персонала КИПиА (история КИПиА, термины и определения, принципы действия простейших КИПиА), так и справочные данные, мето-

дики для ремонта, настройки и эксплуатации контрольно-измерительных приборов, а также сопутствующие справочные данные, необходимые для правильного расчета и выбора контрольно-измерительного прибора. Справочник будет полезен руководителям служб КИПиА, мастерам, слесарям по КИПиА и прибористам, а также студентам, изучающим соответствующие специальности.

*Оформить заказ на книги можно на сайте издательства "Инфра-Инженерия": <https://infra-e.ru/> Справки по тел.: 8-800-250-66-01 (звонок по России бесплатный)*