

- pense of magnetic pulsed treatment of metals]. *Elektrichestvo – Electricity*, 2009, no.9, pp. 61-65. (Rus.)
10. Turenko A. N., Batygin Yu. V., Gnatov A. V. *Impul'snye magnitnye polya dlya progressivnykh tekhnologii. Tom 3. Teoriya i eksperiment prityazheniya tonkostennykh metallov impul'snymi magnitnymi polyami* [Pulsed magnetic fields for progressive technologies. Volume 3. Theory and experiment attraction of thin-walled metal pulsed magnetic fields]. Khar'kov, KhNADU Publ., 2009. 239 p. (Rus.)
 11. Turovskii Ya. *Tekhnicheskaya elektrodinamika* [Technical electrodynamics]. Moscow, Energiya Publ., 1974. 488 p. (Rus.)
 12. Batygin Y.V., Golovashchenko S.F., Gnatov A.V. Pulsed electromagnetic attraction of sheet metals – Fundamentals and perspective applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 2013, vol. 213, no.3, pp. 444-452.
 13. Batygin Y.V., Golovashchenko S.F., Gnatov A.V. Pulsed electromagnetic attraction of nonmagnetic sheet metals. *Journal of Materials Processing Technology*, 2014, vol. 214, no.2, pp. 390-401.
 14. Gnatov A.V., Batygin Y.V., Turenko A.N. *Progressivnye tekhnologii. Teoriya i eksperiment prityazheniya tonkostennykh metallov impul'snymi magnitnymi polyami* [Progressive technologies. Theory and experiment attraction of thin-walled metal pulsed magnetic fields]. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publ., 2011. 248 p. (Rus.)

Рецензент: Ю.В. Батыгин
д-р техн. наук, проф., ХНАДУ

Статья поступила 30.09.2017

УДК 621.316.1; 621.391.1

© Дьяченко М.Д.*

ОБЗОР КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГОРОДСКОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО И НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В статье рассмотрены вопросы мониторинга состояния кабельных распределительных сетей и распределительных трансформаторных подстанций. Показана необходимость непрерывного контроля режимов работы сети. Основное внимание в статье уделено обзору канала передачи данных для организации «цифрового слоя» Smart Grid. Рассмотрены основные достоинства и недостатки каналов передачи данных как проводного, так и беспроводного типа. Показано, что применение PLC технологии, а также проводных и даже оптоволоконных линий, на текущий момент нецелесообразно с экономической точки зрения. Обоснована целесообразность организации каналов связи с распределительными трансформаторными подстанциями за счет использования сетей GSM предоставляемых операторами мобильной связи.

Ключевые слова: распределительная трансформаторная подстанция, системы мониторинга, сеть передачи данных, сенсорная сеть, самоорганизующаяся сеть.

Дьяченко М.Д. Перегляд списку каналів передачі даних для системи моніторингу міської розподільної мережі середньої і низької напруги. У статті розглянуті питання моніторингу стану кабельних розподільних мереж і розподільних трансформаторних підстанцій. Показана необхідність безперервного контролю режимів роботи мережі. Основна увага у статті приділена огляду каналу передачі даних для організації «цифрового шару» Smart Grid. Розглянуто основні переваги та

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет, г. Мариуполь, signnet.dmd@gmail.com

недоліки каналів передачі даних як дротового, так і бездротового типу. Показано, що застосування PLC технології, а так само дротяних і навіть оптоволоконних ліній, на поточний момент недоцільно з економічної точки зору. Обґрунтовано доцільність організації каналів зв'язку з розподільними трансформаторними підстанціями за рахунок використання мереж GSM, які надані операторами мобільного зв'язку.

Ключові слова: розподільна трансформаторна підстанція, системи моніторингу, мережа передачі даних, сенсорна мережа, самоорганізована мережа.

M.D. Dyachenko. An overview of data transmission channels for the monitoring system of an average and low voltage city distribution network. The given article is a review in its nature. The problems of monitoring the cable distribution networks and distribution transformer substations conditions have been discussed in the article. The necessity of their operation modes continuous monitoring is shown. The main attention in the article is devoted to the reviews of the SmartGrid data transmission channel for the «digital layer» making up. The main advantages and disadvantages of data transmission channels of both wire and wireless type have been considered. It is shown that the PLC technology application, as well as wire and even fiber-optic lines, is currently inexpedient from an economic point of view. The Smart Dust technology has been surveyed. It provides secure self-tuning sensors-to-monitoring devices of different types communication. The main advantage of this network is that it can route the transmitted data by itself minimizing the number of active links in the network regardless of any circumstances. The expediency of communication channels with distribution transformer substations organization due to the GSM networks provided by mobile operators has been substantiated. However, it is necessary to duplicate the data transmission channel by using various transmission GSM technology methods (TCP/IP, UDP, CSD, DTMF, SMS, etc.). The need to duplicate the communication channel by using the services of two or more mobile operators is emphasized. From the analysis of the GPRS TCP \ IP service, it transpires to take into account the periodic disruption of the channel without signalling about the disruption either to the server or to the client; the disruption caused, as a rule, by the reset of the APN servers of the GSM operator. It is shown that in the monitoring equipment of the substation it is necessary to provide independent watchdog timers for monitoring the system and network hangs, as well as an analyzer of temporary lack of data monitoring.

Keywords: Distribution transformer substation, monitoring systems, data transmission network, sensor network, self-organizing network.

Постановка проблеми. Задачи оценки технического состояния электрооборудования и мониторинга сети передачи и распределения электроэнергии в настоящее время приобретают особое значение. Обусловлено это, прежде всего, высоким уровнем износа сетей и оборудования, отсутствием простых и однозначных критериев определения окончания срока службы разнопланового электрооборудования, а так же тенденциями роста нагрузок электропотребления. При существующем положении городским распределительным сетям через непродолжительное время грозит резкое снижение надежности. Задача обеспечения надежного электроснабжения потребителей предопределяет необходимость создания инструментария комплексного мониторинга городских электрических сетей и оценки технического состояния как кабельных сетей, так и электрооборудования множества распределительных подстанций.

Анализ последних исследований и публикаций. Тема мониторинга состояния кабельных распределительных сетей и распределительных трансформаторных подстанций в настоящее время является достаточно актуальной, что подтверждается большим количеством публикаций в данном направлении [1, 2]. Множество публикаций доказывает целесообразность непрерывного мониторинга режимов работы распределительных сетей, регистрации перенапряжений в них и изменения температурных режимов кабельных трасс, необходимость постоянного сбора информации об аварийных и аномальных режимах работы сети [3]. В работе [4] приведено решение автоматического мониторинга состояния контактных соединений воздушных и кабельных сетей на основе использования самонастраивающихся сенсорных радиосетей. Как

правило, мониторинг распределительных сетей рассматривают как фрагментарные задачи посредством внедрения цифровых регистраторов различного назначения в комплекс средств телемеханики. Однако мало кто рассматривает решение данной проблемы в комплексе путем создания централизованной автоматизированной системы контроля городских распределительных сетей.

Цель статьи – обосновать необходимость разработки автоматизированной системы автоматического мониторинга и диагностирования состояния городских распределительных сетей, работающей в режиме, близком к режиму реального времени; рассмотреть способы минимизации капитальных затрат на создание аппаратного обеспечения и организацию каналов связи «умной сети».

Изложение основного материала. Подавляющее большинство городских распределительных сетей появилось в середине 50-70-х годов минувшего столетия, начиная с 1991 года, в связи с известными событиями, произошла полная остановка развития электрических сетей, а серьезные неплатежи в конце 90-х и в начале 2000 годов привели к ускоренному старению этих сетей. Городские кабельные сети из-за износа и повышения нагрузок отличаются повышенной повреждаемостью. Нередко имеют место каскадные повреждения.

Развитие информационных технологий позволяет решить ряд проблем в обеспечении надежности систем электроснабжения города, не внося особых изменений в структуру самой сети, то есть создать некое подобие «умной сети» насколько это возможно.

Термин «умная сеть» (*Smart Grid*), получил распространение в результате появления статьи [5]. В этой работе дано определение «умной сети», показаны ее функциональные и технологические особенности. В результате появления этой публикации под термином «умная сеть» сейчас принято считать соединение воедино возможностей информационных технологий с силовой электротехникой.

Концепция *Smart Grid* может быть представлена как система взглядов на энергетику будущего, основополагающими ключевыми требованиями которой являются самовосстановление при аварийных ситуациях, при этом элементы энергосистемы должны постоянно поддерживать свое техническое состояние на уровне, обеспечивающем требуемые показатели надежности и качества электроснабжения [6, 7].

И в то же время каждый специалист в области энергетики в определение «умная сеть» вкладывает своё основополагающее понятие, и неважно, если оно не совсем совпадает с общепризнанной концепцией. И все же рассматривая различные суждения можно констатировать, что умная сеть (*Smart Grid*) отличается от стандартной электрической сети тем, что использует информационные технологии для управления производством и потреблением энергии.

В упрощённом понимании можно считать, что умная сеть (в данном случае городская распределительная сеть) представляет собой совокупность силового оборудования электрической сети – силовые кабели, выключатели, трансформаторы, предохранители, автоматические выключатели и т.д., которые можно условно назвать «силовым слоем» умной сети – и так называемого «цифрового слоя».

Структуру «цифрового слоя» можно представить как совокупность интеллектуальных датчиков, счетчиков электроэнергии, цифровых устройств релейной защиты, средств сбора и передачи данных, а также системы визуализации технологического процесса.

Однако внедрение таких сложных информационных систем, как *Smart Grid*, связано со значительными финансовыми затратами, особенно когда речь идет о городских распределительных сетях, финансирование которых всегда велось и ведется по остаточному принципу. Несмотря на это все же уже сейчас возможно поэтапное преобразование обычной городской распределительной сети в прообраз так называемой «умной сети».

В ряде публикаций уже появились термины (применительно к распределительным сетям) «технология «умный город», «микрорайон» и т. д., но, к сожалению, кроме терминов дальнейших продвижений в этом направлении почти не наблюдается. Очевидно, что обусловлено это значительными затратами на выполнение системы мониторинга многих сотен городских распределительных подстанций даже небольших городов. Единственное, что развивается довольно интенсивно, это так называемое «умное наружное освещение». По сути это и есть умная сеть, правда в весьма усечённом представлении.

На рисунке представлен фрагмент схемы городской распределительной сети.

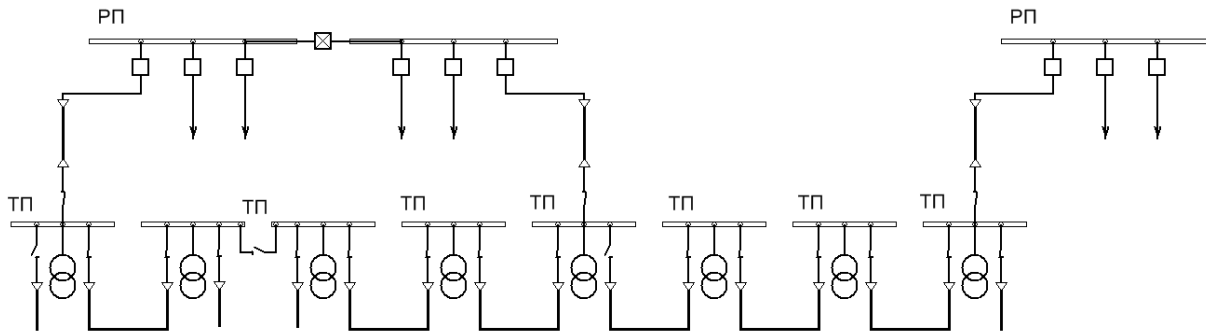


Рисунок – Структура петлевой схемы городской распределительной сети электро-снабжения

В кабельных сетях городской распределительной сети достаточно часто возникают повреждения вызванные как износом изоляции, так и человеческим фактором. Нередко возникают и каскадные повреждения с замыканием на землю. А оперативно выявить такие повреждения весьма проблематично, однако, применяя технологию «умной сети», может быть реализована методика дистанционного выявления поврежденного участка при однофазном замыкании на землю [8].

Попытки добавить «цифровой слой» к электрической распределительной сети начались еще с 80х годов прошлого века. Известно множество таких попыток, где в качестве каналов связи применялись выделенные телефонные пары, высокочастотные каналы передачи по силовым высоковольтным кабелям и радиостанции ультракоротковолнового диапазона. Однако все эти попытки по ряду обстоятельств не нашли дальнейшего развития.

Рассмотрим основные принципы объединения интеллектуальных узлов городских трансформаторных подстанций в совокупности с единым диспетчерским центром в единую умную городскую распределительную сеть. Иными словами рассмотрим, как на основе интеллектуальных узлов трансформаторных подстанций создать надстройку над действующим силовым оборудованием, которую ранее мы определили как «цифровой слой» распределительной сети.

Ряд известных компаний предлагают законченные решения для таких задач. Например, система Energy Monitoring and Control System (EMCS) корпорации Schneider Electric на основе модулей Power Monitor, аналогичные решения есть у фирм Siemens, ABB, АВ. Однако стоимость таких решений, учитывая количество распределительных узлов, нередко останавливает электроснабжающие компании от применения многообещающих технологий.

Но есть более простое и более выгодное решение.

Как было сказано выше, «цифровой слой» городской «умной распределительной сети» состоит из трёх основных элементов: системы отображения информации, так называемый человеко-машинный интерфейс; аппаратуры сбора и обработки данных; и, естественно, каналов передачи данных.

Такого аспекта, как человеко-машинный интерфейс Human Machine Interface (HMI) (у нас его принято ошибочно называть SCADA системой), мы не будем касаться вообще, так как это больше относится к программным продуктам, широко представленным на рынке. Отметим только, что данный человеко-машинный интерфейс должен быть выполнен как «*геоинформационная система*». Главные функции такой системы заключаются в: визуализации распределительных подстанций кабельных линий на интерактивной карте города, мониторинге положения ремонтных бригад, интеграции с системой оперативного управления бригадами и топологической привязке объектов электрохозяйства.

Аппаратные решения сбора и обработки с целью снижения стоимости могут быть реализованы не на основе многофункциональных ПЛК, как это обычно делается, а на основе однокристалльного микроконтроллера в совокупности с набором специализированных микросхем мониторинга электрической сети, например, MAX11044 или MAX11045 фирмы Maxim. Это позволит на порядки сократить капитальные затраты на реализацию «цифрового слоя» распределительной сети и является направлением дальнейших исследований. Отдельные моменты по данному вопросу изложены в работе [9].

Пока рассмотрим только различные варианты канала передачи данных, так как, как не парадоксально, «цифровой слой» распределительной электросети не столько зависит от мощности вычислительных устройств, сколько от системы передачи данных.

Выбор канала связи является важнейшим этапом при проектировании любой системы АСУ ТП. Когда же речь идет о каналах связи с распределительными трансформаторными подстанциями, необходимо учитывать их специфику и большое количество, а также чрезвычайно высокое рассредоточение по значительной территории города и прилегающих районов в условиях резко переменного ландшафта местности. Выбор канала определяется также и скоростью передачи данных, доступностью и эффективностью развертывания в городских условиях и особенно рядом экономических соображений. Рассмотрим возможные варианты организации каналов связи для организации мониторинга городских распределительных электросетей.

Первоначально выбирая канал связи необходимо произвести расчет предполагаемого трафика обмена данными по каналу. Можно много рассуждать о необходимой ширине пропускания канала связи. Существует множество публикаций на эту тему, но всё зависит от конечного оборудования, установленного на подстанции. Если это оборудование производства известных фирм, понадобится широкая полоса пропускания и длительная дискуссия о том или ином широкополосном канале связи с высокой скоростью обмена данными.

Но применяя несколько иной подход к терминальному оборудованию [10, 11], можно констатировать, что для мониторинга распределительной подстанции трафик редко когда превышает 5МБ в месяц, что подтверждается опытом более чем десятилетней эксплуатации подобной системы. Основа снижения трафика – принцип циклического и спорадического обмена данными. Благодаря небольшому трафику, есть возможность использовать низкоскоростные и, соответственно, дешевые каналы связи. В этом аспекте рассмотрим некоторые из них.

Высокочастотный канал по распределительным сетям: первые попытки телемеханизации распределительных подстанций были предприняты в конце 70х годов прошлого века, тогда в качестве каналов передачи данных использовались выделенная телефонная линия, но большее внимание и надежды уделялись относительно высокочастотным каналам по распределительным сетям 6кВ. Но из-за специфики построения сетей среднего напряжения, которая заключается в том, что линии секционируются разъединителями и выключателями, в большем числе отпаяк, сами схемы первичной коммутации могут быть изменены, а также высока вероятность повреждения кабеля, в результате чего исчезает и канал связи со смежными подстанциями. Передача сигналов в распределительных сетях зависит от многих факторов, влияющих на затухание сигнала: это и длина линии, и тип кабеля, и нагрузка, и др.

Неудовлетворительное состояние контактов коммутационной аппаратуры приводит к тому, что они сами становятся источниками помех, соизмеримых по уровню с передаваемым сигналом, что в итоге может вызывать прекращение работы канала связи. В результате каналы связи такого типа даже небольшой протяженности имели значительное затухание и работали нестабильно. Впоследствии эта технология получила развитие, сейчас её принято называть Narrowband Power Line Communication (PLC). В пределах сети одной подстанции данный тип аппаратуры позволяет достигнуть скорости передачи до нескольких десятков мегабит. Однако наличие коммутационной аппаратуры не позволяет в полной мере использовать данную технологию при построении цифрового слоя умной сети.

Да и стоимость PLC модемов в совокупности с аппаратурой обхода коммутационных устройств довольно высока, что не дает решение нашей целевой задачи – снижение стоимости системы мониторинга распределительной сети.

Выделенная телефонная пара: выделенная телефонная пара предопределяет большие затраты на прокладку линий связи (как правило распределительные подстанции не снабжены стационарными телефонами), высокую трудоемкость обслуживания, высокую арендную плату. Кроме того высока вероятность повреждения канала связи по причине подтопления телефонной канализации либо действий вандалов. Скорость передачи по ней можно обеспечить до 33 кБ. А применение модемов стандарта SHDSL либо DSL позволяет увеличить скорость передачи более чем 50Мб при уровне ошибок не хуже 10^{-7} даже в самых неблагоприятных шумовых условиях.

Волоконно-оптический кабель: обладает характеристиками по скорости, помехозащищенности и секретности передаваемой информации, недостижимые какому либо другому кана-

лу передачі.

Внешние воздействия не способны исказить передаваемые данные, да и сам этот сигнал не порождает электромагнитных излучений. Полоса пропускания такого кабеля достигает величины до 10^{12} Гц, что недоступно для любых других кабелей связи. Стоимость оптоволоконного кабеля относительно невысока и соизмерима сейчас со стоимостью коаксиального кабеля. Однако цена согласующей оптической аппаратуры существенно увеличивает стоимость сети в целом. А избыточная пропускная способность канала для решения поставленной задачи не оправдывает этих затрат.

УКВ радиоканал: в случаях, когда организация проводных или оптоволоконных каналов связи физически невозможна либо экономически нецелесообразна, применяют радиосети передачи данных. Использование ультракоротковолнового радиоканала предполагает его лицензирование, что приводит к значительным затратам времени на решение ряда юридических вопросов. Кроме того, в условиях городской застройки ультракоротковолновой радиоканал отличается высокой нестабильностью работы, а при наличии значительных складок рельефа местности обеспечить работу системы связи без ретрансляторов вообще невозможно. Ко всему можно добавить высокую стоимость радиопередающей аппаратуры и затраты за пользование эфиром.

Радиоканал на основе технологии шумоподобного сигнала: в 1986 году по решению Всемирной Административной Радио Конференции (ВАРК) было официально отменено обязательное лицензирование частотных диапазонов 2400-2483,5 МГц и 5725-5875 МГц при мощности передатчика до 100 мВт. Это разрешение действует и на устройства Radio-Ethernet.

Технология на основе шумоподобных сигналов (ШПС), известная на западе как SST, успешно развивается как одно из средств построения компьютерных сетей. В сетях на основе ШПС используют кодовое разделение между абонентами сети, работающих в одном и том же частотном диапазоне, что допускает многократное использование частотного спектра.

Применение технологии с ШПС обеспечивает уникальную криптобезопасность информации ввиду невозможности приема сигналов без знания структуры псевдослучайных последовательностей, генерируемых при формировании шумоподобных сигналов. Скорость передачи может быть достигнута достаточно высокой, но применение данного канала связи затруднено, так как не всегда могут быть обеспечены условия прямой радиовидимости.

Технология ZigBee и Thread: первоначально разрабатывались в рамках технологии Smart Dust – «умная пыль», позволяющей обеспечить надежную самонастраивающуюся связь между распределенными разного рода датчиками и управляющими устройствами. В технологию Thread, в отличие от ZigBee, добавлена поддержка IP-протокола, что упрощает интеграцию сетей Thread с сетевыми приложениями [12].

Преимущество сети данной типа в том, что она вне зависимости от любых обстоятельств сама маршрутизирует передаваемую информацию, сводя к минимуму число активных элементов (матов) сети проложенного трека. Современные интегральные модули ZigBee и Thread поддерживают AT-команды, что резко упрощает построение самонастраивающихся сетей на основе таких модулей. Известны попытки реализации систем мониторинга подстанций с использованием технологий ZigBee. Однако это решение оказалось недостаточно эффективным ввиду их избыточности по скорости передачи информации и сравнительно высокой стоимости. Основным недостатком, который не позволяет применить данную технологию для решения задачи мониторинга распределительных сетей, – малая разрешенная мощность передатчика, что ограничивает зону действия (расстояние до соседнего активного мота) – не более сотни метров.

Сотовая связь стандарта GSM: современные GSM-сети предоставляют абоненту множество сервисов передачи данных. Они имеют развитую инфраструктуру, высокую надежность, невысокие стоимостные характеристики и обеспечивают связь как стационарных, так и подвижных объектов. Рассмотрим основные стандарты передачи данных, которые возможно использовать в качестве канала передачи данных «цифрового слоя» городской «умной распределительной сети».

Сотовая связь стандарта GSM/SMS: данный формат связи не нашел применения для мониторинга распределительных сетей ввиду отсутствия гарантированной доставки информации и чрезвычайно больших задержек.

Сотовая связь стандарта GSM/SCD: зона охвата определяется областью покрытия оператора сотовой связи и характеризуется малым временем внедрения системы. Обеспечивает

достаточно высокую скорость передачи данных (до 9600 байт/сек) и высокую скорость соединения при использовании протокола V110. Высокий уровень защиты данных. Уверенный прием сигналов зависит от количества и расположения базовых станций. Однако при передаче большого объема информации, что характерно для систем телемеханики в электросетях, использование передачи данных в режиме обычного GSM канала (режим CSD/GSM) неэффективно ввиду значительного времени связи и, соответственно, потребности в большом количестве параллельно работающих GSM-модем. Режим CSD/GSM нередко используют для организации управления городским наружным освещением.

Пакетная передача данных Ethernet в сети GPRS/GSM: использование режима пакетной передачи данных Ethernet и GPRS/GSM позволяет поддерживать непрерывное соединение с каждой распределительной трансформаторной подстанцией, расположенной в зоне действия сети.

На данный момент пакетная передача данных в сети GPRS наиболее проста и экономически целесообразна. Однако не все так просто, как кажется на первый взгляд. Просмотр фильмов и беседы в социальных сетях не имеют ничего общего с управлением подстанциями. Многолетний опыт эксплуатации системы сбора и передачи данных с подстанций, организованных посредством GPRS TCP/IP связи, позволяет сделать ряд выводов.

Как бы хороши бы не были предлагаемые мобильными операторами услуги по оказанию GPRS TCP/IP связи, необходимо всегда продумывать резервные каналы передачи данных. Дело в том, что услуга GPRS TCP/IP для мобильного оператора не является приоритетной, и он всегда имеет возможность разорвать связь при недостатке свободных каналов в пользу голосовой связи абонентов сети данной зоны (соты). Такие ситуации нередко возникают в густонаселенных районах города. Дальнейшее восстановление связи приводит либо к потере оперативных данных либо к задержке их получения и, конечно же, к увеличению трафика. Бывали случаи, когда TCP/IP канал по неизвестным, даже для мобильного оператора причинам, терялся на несколько суток даже при «белом» IP адресе. И в то же время отказывается от этого вида связи неразумно.

При реализации канала связи на основе сервиса GPRS TCP/IP необходимо учитывать периодическое разрушение канала без сигнализации об этом сервера и клиента (например, при перезагрузке APN-серверов GSM-оператора). Если ранее это происходило не более двух раз в сутки, то с увеличением числа абонентов у оператора мобильной связи период разрушения каналов наблюдается уже через десятки минут. Поэтому в аппаратуре мониторинга подстанции необходимо предусматривать независимые сторожевые таймеры для контроля системных и сетевых зависаний, а так же временного контроля отсутствия данных.

Выводы

На текущий момент развития средств связи можно констатировать, что для организации мониторинга трансформаторных подстанций городской распределительной сети с точки зрения технико-экономических показателей целесообразно использовать каналы связи, предоставляемые операторами мобильной GSM связи. При этом, с целью обеспечения надежности необходимо использовать услуги двух и более операторов мобильной связи, реализуя основной канал по GPRS TCP/IP соединению с возможностью переключения на резервные сервисы передачи данных (UDP, CSD, DTMF).

Многолетнее использование такого подхода для реализации мониторинга городских подстанций доказала эффективность такого решения как с точки зрения надежности обеспечения связи, так и с точки зрения минимизации затрат на нее.

Список использованных источников:

1. Оперативный контроль технического состояния высоковольтных кабельных линий / С.В. Белковский, С.В. Ботов, Д.В. Германенко, В.А. Русов, А.Б. Школьник // Энергоэксперт. – 2015. – № 3. – С. 64-69.
2. Зайцев В.С. Разработка функциональной схемы контроля состояния изоляции для системы мониторинга распределительной сети / В.С. Зайцев, Л.А. Добровольская, Е.А. Черевко // Университетская наука-2016 : Междунар. научно-техн. конф. (Мариуполь, 19-20 мая 2016 г.): тез. докл. в 4 т. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2016. – Т. 2. – С. 170-171.
3. Дубинин В.В. Мониторинг параметров режима электрических сетей напряжением 6-10 кВ

- как средство повышения энергоэффективности / В.В. Дубинин, А.Н. Попов // Современные проблемы энергетики. Алтай-2014: Сборник статей II Международной научно-технической конференции. ЦЭЩР АлтГТУ. – Барнаул, 2014. – С. 112-121.
4. Дьяченко М.Д. Система автоматического дистанционного мониторинга состояния контактных соединений высоковольтного оборудования электрических сетей / М.Д. Дьяченко, Ю.А. Тесля // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2013. – № 6. – С. 19-24.
 5. Burr Michael T. Reliability demands drive automation investments [Электронный ресурс] / Michael T. Burr // Fortnightly Magazine. – 2003. – Режим доступа: <https://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>.
 6. Кобец Б.Б. Инновационное развитие энергетики на базе концепции Smart Grid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова. – М. : ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
 7. Анализ методов предотвращения автономной работы участков сети Smart Grid 0.4 кВ / В.Ф. Сивокобыленко, А.П. Никифоров, В.В. Бурлака, С.К. Поднебенная // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2015. – № 6. – Т. 2. – С. 26-34.
 8. Дистанционное выявление поврежденного участка при однофазном замыкании на землю в городских распределительных сетях / М.Д. Дьяченко, А.С. Миронов, В.В. Бурлака, А.В. Насуленко // Научная инновационная деятельность : материалы научно-практ. конф. (Санкт-Петербург, 15-17 июня 2010). – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГПУ. – С. 147-156.
 9. Дьяченко М.Д. Цифровая защита (аппаратное и алгоритмическое обеспечение) : учебное пособие / М.Д. Дьяченко, С.К. Поднебенная; М-во образования и науки Украины, Приазов. гос. техн. ун-т. – Мариуполь : ПГТУ, 2014. – 302 с.
 10. Дьяченко М.Д. Автоматизированная система управления городским наружным освещением S81 Циклон / М.Д. Дьяченко, В.В. Бурлака // Университетская наука-2011 : Регион. научно-техн. конф. (Мариуполь, 18 мая 2011 г.) : тез. докл. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2011. – Т. 2. – С. 11.
 11. Дьяченко М.Д. Повышение эффективности городской распределительной сети за счет современных средств мониторинга и управления трансформаторными подстанциями городской сети / М.Д. Дьяченко, Е.И. Григоренко // Университетская наука-2016 : Междунар. научно-техн. конф. (Мариуполь, 19-20 мая 2016 г.) : тез. докл. в 4 т. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2016. – Т. 1. – С. 200-201.
 12. Рагозин Д.В. Моделирование синхронизированных сенсорных сетей / Д.В. Рагозин // Проблеми програмування. – 2008. – № 2/3 (спец. вип.). – С. 721-729.

References:

1. Belkovs'kii S.V., Botov S.V., Germanenko D.V., Rusov V.A., Shkoliar A.B. Operatyvnyi kontrol' tekhnichnogo stanu vysokovol'tnykh kabel'nykh linii [On-line control of the high-voltage cable lines technical conditions]. *Energoekspert – Expert of energy*, 2015, no.3, p.64-69. (Rus.)
2. Zaitsev V.S., Dobrovols'ka L.A., Cherevko E.A. Rozrobka funktsional'noi skhemy kontroliu stanu izoliatsii dlia sistemi monitoringu rozpodil'noi merezhi. *Anotatsii dopovidei Mizhn. nauk.-tekhn. konf. «Universitetskaya nauka-2016»* [Development of the insulation status functional scheme for the distribution network monitoring system. Abstracts of Int. Sci.-Tech. Conf. «University science-2016»]. Mariupol, 2016, vol. 2, pp. 170-171. (Rus.)
3. Dubinin V.V., Popov O.M. Monitoring parametriv rezhymu elektrychnykh merezh naprugoiu 6-10kV yak zasib pidvyshchennia energoefektyvnosti. *Zbirnik statei II Mizhn. nauk.-tekhn. konf. «Suchasni problemy energetyky. Altai 2014»* [Monitoring of mode electric networks parameters with voltage of 6-10kV as a means of increasing energy efficiency. Coll. of articles of the II Int. Sci.-Tech. Conf. «Modern problems of energy. Altai-2014»]. Barnaul, 2014, pp. 112-121. (Rus.)
4. Diachenko M.D., Teslia Yu.A. Systema avtomatychnogo dystantsinogo monitoryngu stanu kontaktnykh z'iednan' vysokovol'tnogo obladnannia elektrychnykh merezh [The system of automatic remote monitoring of the high-voltage equipment connections condition of the electrical networks]. *Energetika. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob'edinenii SNG – Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*, 2013, no.6, pp. 19-24. (Rus.)

5. Burr Michael T. Reliability demands drive automation investments. *Fortnightly Magazine*, 2003 Available at: <https://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor> (accessed 18 March 2017).
6. Kobets' B.B., Volkova I.O. *Innovatsiyni rozvytok energetyki na bazi kontseptsii SmartGrid* [Innovative energy development based on the SmartGrid concept]. Moscow, IAC Jenergija Publ., 2010, 208 p. (Rus.)
7. Syvokobylenko V.F., Nikiforov A.P., Burlaka V.V., Podnebenna S.K. Analiz metodiv zapobigannia avtonomnoi roboty dilianok merezhi Smart Grid 0.4 kV [Analysis of preventing autonomous operation methods for Smart Grid network sections with voltage of 0.4 kV]. *Energetika. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG – Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*, 2015, no.6, vol. 2, pp. 26-34. (Rus.)
8. Diachenko M.D., Mironov O.S., Burlaka V.V., Nasulenko A.V. Dystantsiine vyvliennia poskodzhenoї dilianki pry odnofaznomu zamykanni na zemliu v mis'kykh rozpodil'chykh merezhakh. *Zbirnik materialov nauk.-tekhn. konf. «Naukova innovatsiina diial'nist»* [Damaged section remote detection for single-phase-to-ground short circuit in the urban distribution networks. Coll. of articles of the Int. Sci.-Tech. Conf. «Scientific Innovation Activity»]. St. Petersburg, 2010, pp. 147-156. (Rus.)
9. Diachenko M.D., Podnebenna S.K. *Tsyfrovyi zakhyst (aparatne i algoritmichne zabezpechennia): navchal'nyj posibnyk* [Digital protection (hardware and knoware): the tutorial]. Mariupol, PSTU Publ., 2014, 302 p. (Rus.)
10. Diachenko M.D., Burlaka V.V. Avtomatyzovana systema upravlinnia mis'kim zovnishnim osvittenniam S81 Tsyklon. *Anotatsii dopovidei Region. nauk.-tekhn. konf. «Universitetskaya nauka-2011»* [Automated control system of urban outdoor lighting named the S81 Cyclone. Abstracts of Region. Sci.-Tech. Conf. «University science-2011»]. Mariupol, PSTU, 2011, vol. 2, p. 11. (Rus.)
11. Diachenko M.D., Grigorenko K.I. Pidvyshchennia efektyvnosti mis'koi rozpodil'noi merezhi za rakhunok suchasnykh zasobiv monitoryngu ta upravlinnia transformatornymi pidstantsiiamy mis'koi merezhi. *Anotatsii dopovidei Mizhn. nauk.-tekhn. konf. «Universitetskaya nauka-2016»* [Efficiency improvements in the city distribution network due to modern means of transformer substations monitoring and management of the city network. Abstracts of Int. Sci.-Tech. Conf. «University science-2016»]. Mariupol, PSTU, 2016, vol. 1, pp. 200-201. (Rus.)
12. Ragozin D.V. Modeliuvannia synkhronizovanykh sensorykh merezh [Synchronized sensor network modeling]. *Problemi programuvannia – Problems of programming*, 2008, no.2/3 (special issue), pp. 721-729. (Rus.)

Рецензент: В.Ф. Сивокобыленко
д-р техн. наук, проф. ДонНТУ

Статья поступила 15.05.2017