

Сидоров Сергей Александрович,

магистрант, Иркутский национальный исследовательский технический университет,

e-mail: zdorovozhit201418@gmail.com

Пугачев Максим Сергеевич,

бакалавр, Иркутский национальный исследовательский технический университет,

e-mail: pugachev_maxim@inbox.ru

Пузанов Игорь Алексеевич,

магистр, Иркутский национальный исследовательский технический университет,

e-mail: ihorpuzanov@yandex.ru

Карпов Максим Олегович,

диспетчер Южных электрических сетей ОАО «ИЭСК» (ЮЭС ИЭСК),

e-mail: karpovmo@qes.irkutskenergo.ru

Ивашкова Венера Дамировна,

ведущий специалист по развитию бизнес-системы ЮЭС ИЭСК,

e-mail: ivashkovavd@irkutskenergo.ru.

Болоев Евгений Викторович,

к.т.н., с.н.с., Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет

e-mail: boloev@isem.irk.ru

Фискин Евгений Михайлович,

к.т.н., доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет,

e-mail: fmm1@rambler.ru

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬ-ДИСПЕТЧЕР ПРИ ЛИКВИДАЦИИ
АВАРИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**
Sidorov S.A., Pugachev M.S., Puzanov I. A., Karpov M.O., Ivashkova V.D., Boloev E.V., Fiskin E.M.
**IMPROVING THE INFORMATION SYSTEM OF INTERACTION BETWEEN THE
CONSUMER AND THE DISPATCHER IN THE ELIMINATION OF ACCIDENTS IN
DISTRIBUTION ELECTRICAL NETWORKS**

Аннотация. Потребность электросетевых компаний в быстром обнаружении аварийных отключений электроэнергии и определению поврежденных участков при решении задачи восстановления электроснабжения в низковольтных сетях приводит к необходимости совершенствования информационной системы взаимодействия потребитель-диспетчер. В работе выполнен критический анализ традиционной системы взаимодействия потребитель-диспетчер через контактные центры обслуживания клиентов энергокомпаний. Формируются технические требования к мобильной системе взаимодействия потребитель-диспетчер.

Ключевые слова: низковольтная распределительная сеть; аварийное отключение; восстановление электроснабжения; взаимодействие потребитель-диспетчер.

Abstract. The need of power grid companies to quickly detect emergency power outages and identify damaged areas when solving the problem of restoring power supply in low-voltage networks leads to the need to improve the information system for consumer-dispatcher interaction. This work performed a critical analysis of the traditional system of interaction between the consumer and the dispatcher through contact centers customer service energy companies. Technical requirements to mobile system of consumer-dispatcher interaction are formed.

Keywords: low voltage distribution network; emergency shutdown; restoration of power supply; consumer-dispatcher interaction.

Распределительные электрические сети (РЭС) – это последнее звено на пути передачи электроэнергии от электростанций до конечных потребителей. Эти сети разделены на две части среднего (6 – 35 кВ) и низкого (до 1 кВ) напряжения. Сети среднего напряжения обычно оснащены устройствами телемеханики, которые позволяют по поступающей информации с этих устройств диспетчеру РЭС обнаружить внезапное отключение электроэнергии, локализовать поврежденный участок в реальном времени и в дальнейшем сосредоточиться на главном – ликвидации аварии. В сетях низкого напряжения, не оснащенных телесигнализацией, возникают проблемы с оперативным обнаружением аварийного отключения. Основные сведения об аварийном отключении в низковольтной сети поступают к диспетчеру РЭС вербально от потребителей через операторов специализированных круглосуточных контактных центров обслуживания клиентов энергосбытовых и электросетевых компаний. Диспетчеры используют онлайн-возможности социальных сетей, создавая аккаунты по вопросам плановых и аварийных отключений для информационного взаимодействия с потребителями – активными пользователями социальных сетей. Сообщения об аварийном отключении электроэнергии в сети могут поступать диспетчеру РЭС от коммунально-бытовых и пожарных служб, охранных предприятий и интернет-провайдеров, системы мониторинга которых способны сигнализировать об отсутствии электропитания. Поступающая с запаздыванием, недостаточно полная и часто противоречивая информация об аварийном отключении приводит к тому, что диспетчеру не всегда удается обнаружить поврежденный участок в районе отключения за короткое время. Потребность электросетевых компаний в быстром обнаружении отключений электроэнергии и определению поврежденных участков при решении задачи восстановления электроснабжения в низковольтных сетях приводит к необходимости совершенствования информационной системы взаимодействия потребитель-диспетчер в характерных для нее свойствах: оперативность, актуальность, достоверность, полнота и доступность.

В Российской Федерации низковольтные потребители, как правило, снабжаются электроэнергией трехфазным переменным током на номинальных уровнях линейных/фазных напряжений 400/230 В (380/220 В) с допустимым длительным отклонением $\pm 10\%$ по системе заземления TN с присоединением функциональных и защитных (при необходимости объединенных) нулевых проводников к нейтрали силовых трансформаторов, которая заземляется [1, 2]. Низковольтные сети при системе заземления TN при объединенных нулевых проводниках выполняются четырехпроводными, а при разделенных – пятипро-

водными. Отключения электроэнергии защитными аппаратами в низковольтных сетях могут быть вызваны авариями в ЛЭП или другими событиями, которые привели к короткому замыканию между фазными проводами или между фазным проводом и нулевым проводом или землей, токовыми перегрузками в ЛЭП и импульсными перенапряжениями в сети [2, 3]. В качестве защитных элементов в электрических сетях используются предохранители, выключатели и другие устройства с использованием выносных реле [1]. Отключения электроэнергии непосредственно у потребителя могут быть инициированы установленным у него интеллектуальным счетчиком, который автоматически прекращает подачу электроэнергии при превышении максимальной мощности, заявленной в договоре энергоснабжения.

Низковольтная сеть состоит из следующих компонентов (см. возможную структурную схему на рисунке 1) [2, 3]:

- распределительное устройство низкого напряжения (РУ НН);
- главный распределительный щит (ГРЩ);
- вводное устройство (ВУ);
- вводно-распределительное устройство (ВРУ);
- распределительный пункт (РП);
- групповой щиток (ГЩ);
- линии электропередачи (ЛЭП), связывающие между собой РУ НН, ГРЩ, ВУ, ВРУ, РП и ГЩ.

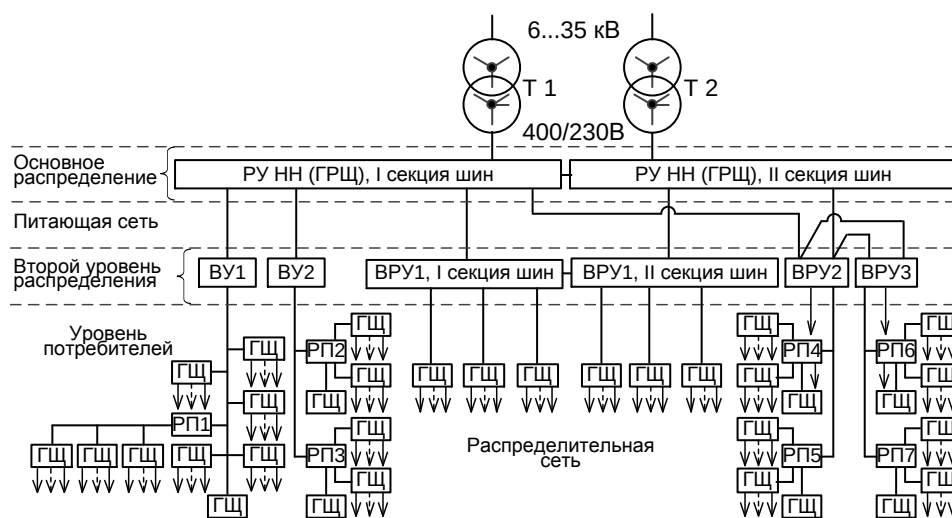


Рисунок 1 – Пример структурной схемы низковольтной сети

РУ НН, ГРЩ и ВРУ собираются из модульных шкафов или щитов с вводными, секционными и линейными панелями, которые в зависимости от назначения комплектуются приборами учета электроэнергии, коммутационными аппаратами включения/отключения питания, системой автоматического включе-

ния резерва (АВР), устройствами защиты от импульсных перенапряжений, коммутационными аппаратами защиты от перегрузок и токов короткого замыкания. В этих устройствах используются схемы электрических соединений: система шин; секционированная система шин [3]. Секции системы шин в нормальном режиме работают раздельно. АВР на вводных выключателях в систему шин и между секциями системы шин устанавливаются при электроснабжении электроприемников I категории надежности [3]. Схема электроснабжения с двумя переключателями на вводах используется при электроснабжении электроприемников II категории надежности [3]. РУ НН и ГРЩ подстанции предназначены для приема электроэнергии от одного или двух трансформаторов и ее основное распределение (см. рисунок 1) в различных направлениях относительно подстанции по ЛЭП в ВРУ, ВУ и РП. ВРУ, установленные в электрощитовых помещениях зданий, выполняют функции приема и распределения электроэнергии по ЛЭП на втором уровне (см. рисунок 1). ВУ второго уровня распределения электроэнергии, укомплектованные коммутационными, защитными аппаратами и прибором учета, устанавливается на вводе в здание и подключается в расщепку линии питания РУ НН (ГРЩ) – потребители (см. рисунок 1). На уровне потребителей для приема электроэнергии от РУ НН, ГРЩ, ВРУ, ВУ и распределения электроэнергии в ГЩ, отдельным электроприемникам (ЭП) и их группам используют РП. ГЩ предназначены для распределения электроэнергии по отдельным группам светильников, штепсельных розеток и стационарных ЭП. РП и ГЩ комплектуются коммутационными и защитными аппаратами или только аппаратами защиты. Электроэнергия в сетях низкого напряжения передается кабельными и/или воздушными ЛЭП.

Передача электроэнергии в низковольтной сети является односторонней от трансформатора к потребителям. При анализе отключений в такой сети используем расходящуюся древовидную структуру [4] на рисунке 2, в которой корнем дерева является ввод низкого напряжения трансформатора (источник электроэнергии), ветви – ЛЭП или шины, узлы – защитные аппараты РУ НН, ГРЩ, ВРУ, ВУ, РП и ГЩ, а листья дерева – потребители. Направление в ветви дерева на рисунке 2 совпадает с передачей электроэнергии. Защитные аппараты в узлах дерева нумеруются. На рисунке 2 электроэнергия поступает от трансформатора Т1 в корневой узел и распределяется по ветвям всем ниже лежащим группам потребителей с адресами $a, b, \dots, q$.

Древовидная структура на рисунке 2 определяет иерархию защитных аппаратов по масштабу отключения потребителей при их срабатывании. Верхний уровень занимает вводный аппарат в РУ НН (ГРЩ), размыкание которого приводит к отключению всех потребителей. На самых нижних, конечных уровнях находятся аппараты РП и ГЩ при срабатывании отключающие отдельных по-

требителей. Отключение защитным аппаратом поврежденного участка сети приводит к обесточиванию всех потребителей, которые находятся ниже его уровнем. Например, выключение аппарата 2 (см. рисунок 2) приведет к отключению электроэнергии у потребителей по адресам $a, b, \dots, h$.

Отметим, что переключения, выполняемые оперативным персоналом, или действие АВР после аварии приведут к изменению источника питания, что потребует преобразования древовидной структуры сети согласно новому распределению электроэнергии.

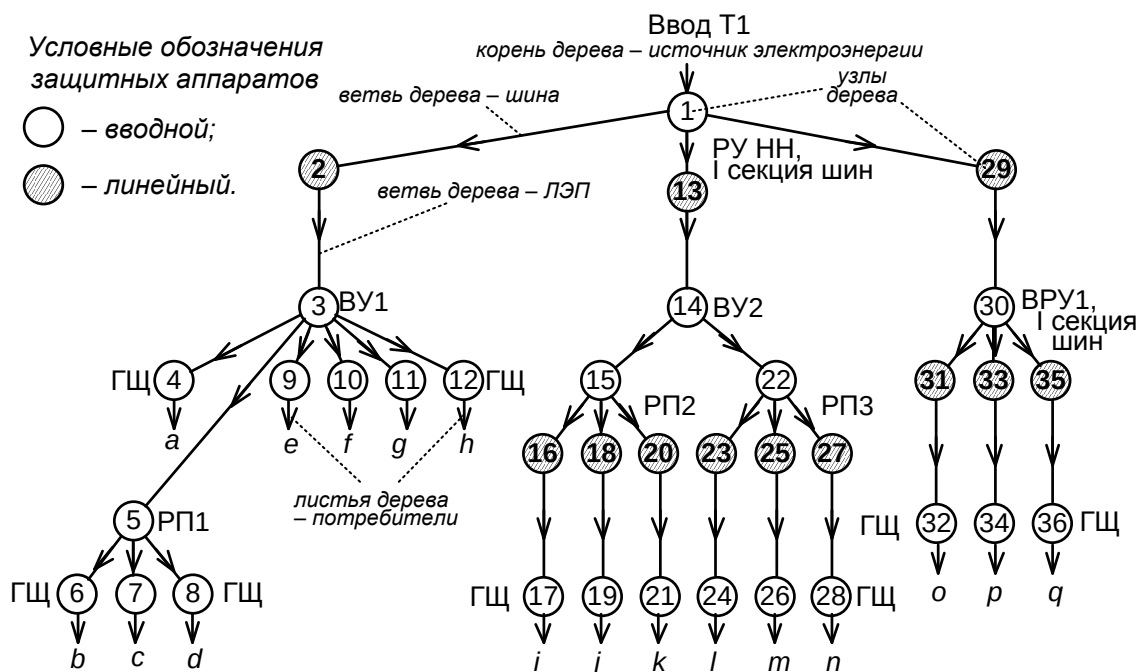


Рисунок 2 – Пример древовидной структуры низковольтной части сети на рисунке 1 с источником питания Т1

Диспетчер РЭС на начальном этапе ликвидации последствий аварии в низковольтных сетях решает задачу локализации поврежденной части сети (фидера или линии), а затем участка. Сложность решения данной задачи обусловлена получением информации об отключениях электроэнергии диспетчером РЭС от потребителей – самого нижнего звена в древовидной схеме сети на рисунке 2. Отключение электроэнергии у потребителя вызвано срабатыванием из-за аварии одного аппарата из группы аппаратов, защищающих участки сети по которым передается энергия к этому потребителю. Определить обесточивающие потребителя защитные аппараты, можно двигаясь в древовидной схеме от потребителя к источнику в направлении противоположном передаче электроэнергии. Например, обесточить потребителя i на рисунке 2 можно выключая один из аппаратов: 17, 16, 15, 14, 13, 1. Задача локализации аварийного участка в условиях многовариантности причин аварии и большого числа защит-

ных аппаратов носит неопределенный характер. Неопределенность решения задачи снижается по мере поступления к диспетчеру сообщений об адресах потребителей оставшихся без света. Однако устранить полностью неопределенность решения задачи, получая информацию только от обесточенных потребителей невозможно. Например, если потребители i, j, k сообщили диспетчеру об отключении света, это не значит, что авария произошла на участке 14 – 15. Возможно эта авария на участке 1 – 13 – 14. Если любой из потребителей l, m или n сообщит, что у него не было отключения электроэнергии, то достоверно можно считать аварийным участок 14 – 15. Для полного устранения неопределенности решения задачи необходимо получать информации от потребителей не пострадавших от аварии, подключенных к неповрежденным участкам сети.

Защитные аппараты относительно друг друга в сети могут быть установлены последовательно или параллельно. Для селективного отключения поврежденных частей сети должны быть согласованы защитные характеристики последовательно установленных аппаратов. При условии, что все защитные аппараты в низковольтной сети обеспечивают надежное и селективное отключение, поврежденный участок будет находиться сразу за сработавшим из-за аварии аппаратом ниже уровнем. Если защитный аппарат по каким-либо причинам не отключился, то сработает аппарат на вышестоящем уровне, что осложнит поиск места повреждения аварийной бригаде.

Время локализации аварии в низковольтных сетях зависит от топологии сети, её протяжённости и разветвлённости, а также от внешних факторов: оперативности, актуальности, достоверности, полноты и доступности получаемой от потребителей информации об отключении. Для получения диспетчером РЭС информации о внезапных аварийных отключениях в низковольтных сетях в его автоматизированное рабочее место (АРМ) интегрируется информационная система взаимодействия потребитель-диспетчер. Так как диспетчеру РЭС необходимо оперативно получать актуальные сообщения от потребителей об отключениях электроэнергии, то информационная система должна быть хорошо отлаженной многоканальной и многосторонней с достаточной пропускной способностью и работать круглосуточно в режиме реального времени. Процессы сбора и обработки сообщений информационной системой, передачи данных в АРМ диспетчера РЭС и обесточенным потребителям следует автоматизировать и унифицировать для обеспечения их достаточности и полноты. Программный комплекс АРМ диспетчера РЭС по получаемым сведениям об обесточенных потребителях от информационной системы должен достоверно определять точки подключения этих потребителей к электрической сети. Для устранения неопределенности при локализации поврежденного участка диспетчером РЭС в информационной системе целесообразно реализовать функцию доступ-

ности, позволяющую получать информацию об отключении света у потребителей, которые имеют общий источник электроснабжения с пострадавшими от аварии потребителями. Информационная система должна сообщать пострадавшим потребителям о причинах аварии и времени восстановления электроснабжения.

Традиционная система взаимодействия потребитель-диспетчер на рисунке 3 основана на приеме и обработки входящих звонков и сообщений потребителей об отключениях электроэнергии в контактных центрах энергокомпаний. В контактных центрах используются интерактивные голосовые меню, позволяющие связаться с оператором по вопросам отключения электроэнергии. Для обеспечения достоверности и полноты информации, получаемой от потребителя об отключении электроэнергии, оператор следует разработанному скрипту разговора. Оператор контактного центра информирует потребителей о причинах отключения и ориентировочном времени восстановления электроснабжения. Информацию об отключениях электроэнергии потребители могут получить самостоятельно на корпоративном сайте или посредством мессенджеров энергокомпаний.

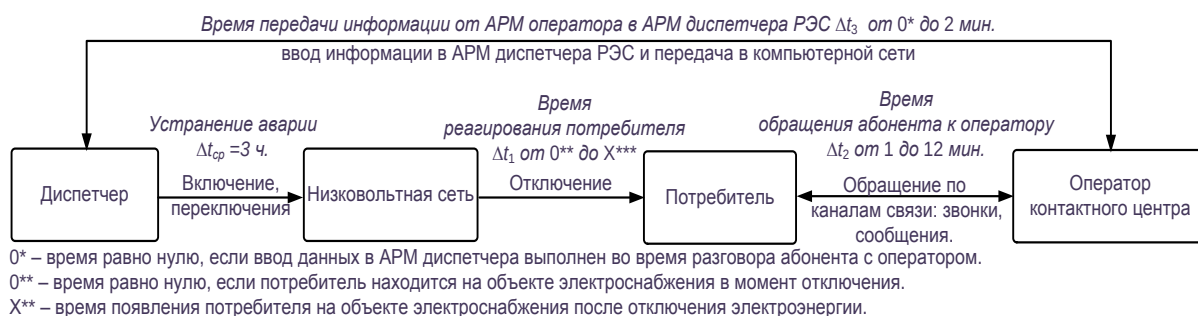


Рисунок 3 – Схема взаимодействие потребитель-диспетчер через оператора контактного центра

В системе взаимодействия потребитель-оператор-диспетчер на рисунке 3 два медленных звена передачи информации: потребитель, сообщаящий об отключении; оператор контактного центра, принимающий заявку об отключении и передающий ее в АРМ диспетчера РЭС. Взаимодействие потребитель-диспетчер через контактные центры при ликвидации аварии имеет низкую оперативность по сравнению информационным обменом в устройствах телемеханики, функционирующим в реальном времени. При отлаженной работе контактного центра [5], с момента отключения электроэнергии до момента ввода информации об этом отключении в АРМ диспетчера РЭС, с учетом времени обработки входящего звонка от потребителя оператором контактного центра на рисунке 4, в среднем проходит 6,5 минут. При взаимодействии потребителя с

оператором не исключены ошибки при оформлении обращения об отключении электроэнергии из-за невнимательности и недостаточной информированности потребителя в вопросах электроснабжения.



Рисунок 4 – Составляющие времени обработки входящего звонка от потребителя оператором контактного центра

Традиционную систему взаимодействия потребитель-диспетчер предлагается дополнить интерактивной мобильной системой (см. рисунок 5) включающей в себя:

- подготовку и передачу сообщений от потребителя об отключениях электроэнергии в клиентском мобильном приложении энергокомпании;
- прием, хранение и обработка сообщений от потребителей в АРМ диспетчера РЭС;
- автоматический поиск аварийного участка в сети программным комплексом и выдачу сообщения диспетчеру.

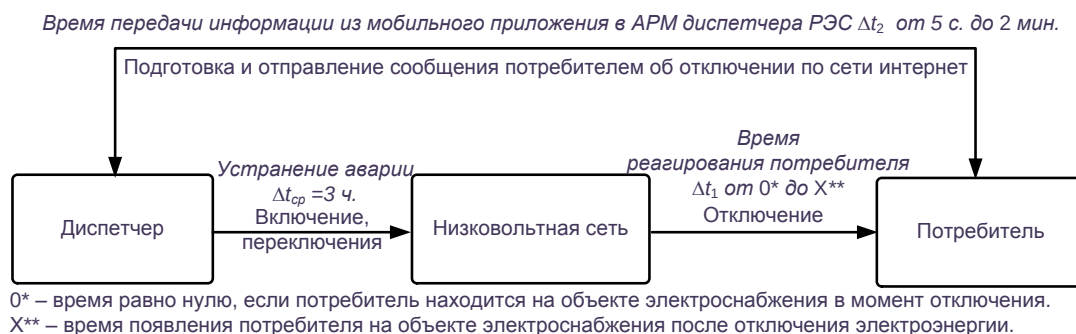


Рисунок 5 – Схема взаимодействия потребитель-диспетчер через мобильное приложение энергокомпаний

В действующее мобильное приложение энергокомпании добавляется меню «Сообщить об отключении», при нажатии на которое открывается одноименный раздел с информацией об отключении электроэнергии и мобильной навигацией для передачи сообщений в АРМ диспетчера РЭС (см. рисунок 6). В раздел «Сообщить об отключении» с АРМ диспетчера РЭС приходят сведения о причинах отключения и ориентировочном времени восстановления электро-

снабжения и о возобновлении подачи электроэнергии (см. рисунок 6 б). Если отключение от электроэнергии потребителя не зафиксировано в АРМ диспетчера РЭС, то из этого раздела потребитель может отправить уведомление об этом с дополнительной информацией об отсутствии электроэнергии у соседей и отключении электросчетчика (см. рисунок 6 в). Для оценки масштабов аварии и устранения неопределенности при локализации поврежденного участка диспетчером РЭС в мобильное приложение может быть отправлен запрос об отключении электроэнергии у потребителя с простым выбором ответа «Да» или «Нет». Реализованный автоматический поиск поврежденного участка в АРМ диспетчера РЭС позволит освободить диспетчера РЭС от выполнения рутинных операций по локализации поврежденного участка сети.

Использование интерактивной мобильной системы в качестве основного канала информирования об отключениях электроэнергии позволит:

- разгрузить операторов контактного центра;
- получать достоверную и полную информацию об отключениях электроэнергии от потребителей благодаря прохождению идентификации в мобильном приложении и личном кабинете и заполнению необходимых форм;
- по отправленным запросам потребителям об отключении света получать дополнительную информацию о бесперебойности электроснабжения в РЭС;
- уменьшить время информирования диспетчера РЭС в среднем до 1 минуты (см. рисунок 5).

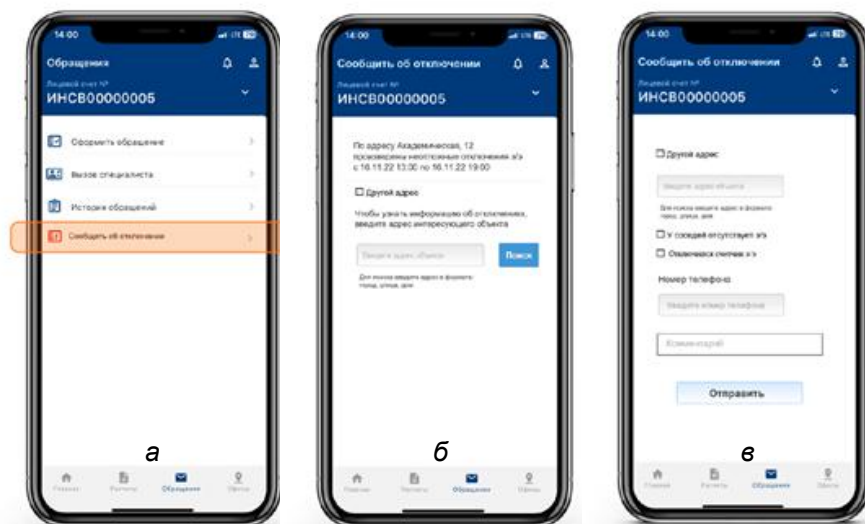


Рисунок 6 – Мобильное приложение: а – раздел «Обращение» с меню «Сообщить об отключении»; б – раздел «Сообщить об отключении» с информацией о причинах отключения и времени восстановления электроснабжения; в – раздел «Сообщить об отключении» с возможностью отправить уведомление об отключении электроэнергии

Решить проблему оперативного обнаружения аварийных отключений в низковольтных сетях можно с помощью счетчиков потребителей с функциями телемеханики, серийное производство которых началось в Российской Федерации. Определение минимального количества счетчиков с функциями телемеханики и мест их установки у потребителей для безошибочного выявления поврежденных участков при авариях в низковольтной сети является целью дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. – Москва: , 2003. – 340 с.
2. Руководство по устройству электроустановок. – Schneider Electric Publisher, 2019. – 596 с.
3. **Козлов В.А.** Городские распределительные электрические сети. – Л.: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982. – 224 с.
4. **Samudrala, A.N.** Distributed Outage Detection in Power Distribution Networks / A. N. Samudrala [et al.] // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2020. –Vol. 11. № 6. – P. 5124–5137.
5. **Самолюбова, А.Б.** Call Center на 100%. Практическое руководство по организации центра обслуживания вызовов / А. Б. Самолюбова — М.: Альпина Пабlishер, 2010. — 31 с.