

Разработка архитектуры информационно-управляющей системы предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач

¹САГЫНГАНОВА Индира Кенесовна, PhD, старший преподаватель, sagynganova_ik@enu.kz,

^{2*}КАЛИНИН Алексей Анатольевич, PhD, зав. кафедрой, a.kalinin@kstu.kz,

²САВЧЕНКО Наталья Каримовна, магистр, старший преподаватель, sav_nata@mail.ru,

³ШАФЕЕВ Даниил Евгеньевич, магистр, инженер-программист, 14danil@mail.ru,

⁴ФАБЫШЕВСКИЙ Александр Александрович, магистр, инженер-электронщик, alexandr.fabyshevskiy@gmail.com,

¹НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Казахстан, Астана, ул. Сатпаева, 2,

²НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

³ПКФ «Сириус», Казахстан, Караганда, ул. Алиханова, 18,

⁴АО ИП «Эфес Казахстан», Казахстан, Караганда, ул. Гоголя, 75,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью статьи является разработка архитектуры информационно-управляющей системы предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач. Это обеспечит решение одной из основных проблем в области надежности и эффективности работы сетей электроснабжения, вызываемых климатическими условиями Казахстана и техническими особенностями функционирования сетей электроснабжения. Для достижения поставленной цели необходимо исследовать аварийные ситуации на линиях электропередач и разработать архитектуру информационно-управляющей системы. Предмет исследования – мониторинг и предупреждение ситуаций обледенения и токов утечки на ВЛЭП. Практическая значимость полученных результатов состоит во внедрении данной информационно-управляющей системы, что обеспечит повышение надежности и снижение аварийности передачи электроэнергии, а также увеличение точности предупреждения аварийных ситуаций за счет использования нейронной сети для оценки состояния опор ВЛЭП.

Ключевые слова: информационно-управляющая система, архитектура системы, цифровая модель, программный модуль, шаблон проектирования, архитектура MVC, обработка данных, линия электропередачи, аварийная ситуация, опора.

Введение

Сегодня передовыми технологиями научно-технического прогресса являются оперативный анализ полученных данных и высокоскоростные операции обмена информацией между объектом и управляющим центром. От программных средств, работающих в пакетном режиме обработки данных, мы переходим на программно-технологические комплексы, работающие в режиме реального времени.

Основная идея информационно-управляющей системы предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач заключается в получении и обработке в реальном режиме времени данных с датчиков, установленных на опорах линий электропередач сетей электроснабжения, распределенных на большой территории. В

результате будут сформированы предупреждающие сигналы о возможности наступления обледенения на воздушных линиях электропередач, а также о превышении допустимого уровня тока утечки, с локализацией возможной аварийной ситуации на карте местности. Эти действия позволяют не только повысить эффективность передачи электроэнергии, но и уменьшить ее потери, за счет более оперативных и точных данных локализации аварийных сегментов, а также за счет предупреждающих действий о возможных проблемных ситуациях на линиях электропередач.

Постановка задачи

Разработка и внедрение информационно-управляющей системы предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач

позволит:

1) увеличить надежность стратегических высоковольтных линий электропередач (ВЛЭП) за счет снижения аварийности;

2) снизить потери электроэнергии при ее транспортировке по результатам удаленного непрерывного мониторинга за счет своевременной замены гирлянд высоковольтных изоляторов при увеличении токов утечки;

3) снизить потери электроэнергии при ее транспортировке за счет уменьшения величины токов растекания и токов, наведенных в металлических элементах конструкции опор.

По результатам аналитических исследований за контролем состояния линий электропередач [1-4] разработаны структурная схема и модель информационно-управляющей системы, а также алгоритм реализации предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач.

Структурная схема информационно-управляющей системы изображена на рисунке 1. Цифровая модель алгоритма реализации, отражающая компоненты информационно-управляющей системы предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач, показана на рисунке 2.

Концептуальная архитектура системы

Информационно-управляющая система предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач состоит из следующих модулей (рисунок 3):

- опора ВЛЭП с датчиками;
- контроллер;
- модуль обработки входных данных;
- модуль генерации предупреждения;
- хранилище данных;
- пользовательский интерфейс.

Рассмотрим наполнение каждого модуля из представленной на рисунке 3 концептуальной архитектуры информационно-управляющей системы.

1) Опора ВЛЭП с установленными датчиками содержит:

- датчики токов утечки по фазам, конструктивно расположенные в заземлённой части трёх фаз подвесных изоляторов токоведущих проводов ВЛЭП;
- датчики температуры, влажности и скорости ветра;
- трехкоординатный гироскоп.

2) Задача контроллера – опрашивать и нака-

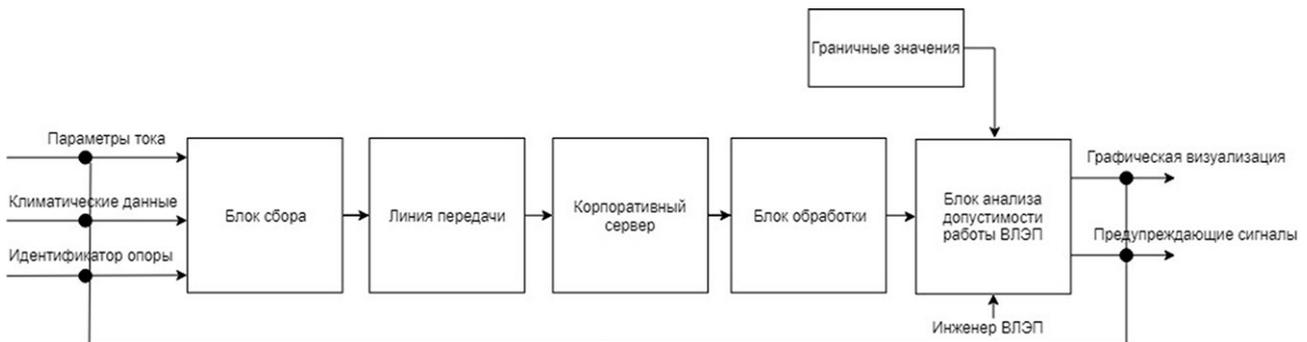


Рисунок 1 – Структурная схема информационно-управляющей системы предупреждения аварийных ситуаций на ВЛЭП

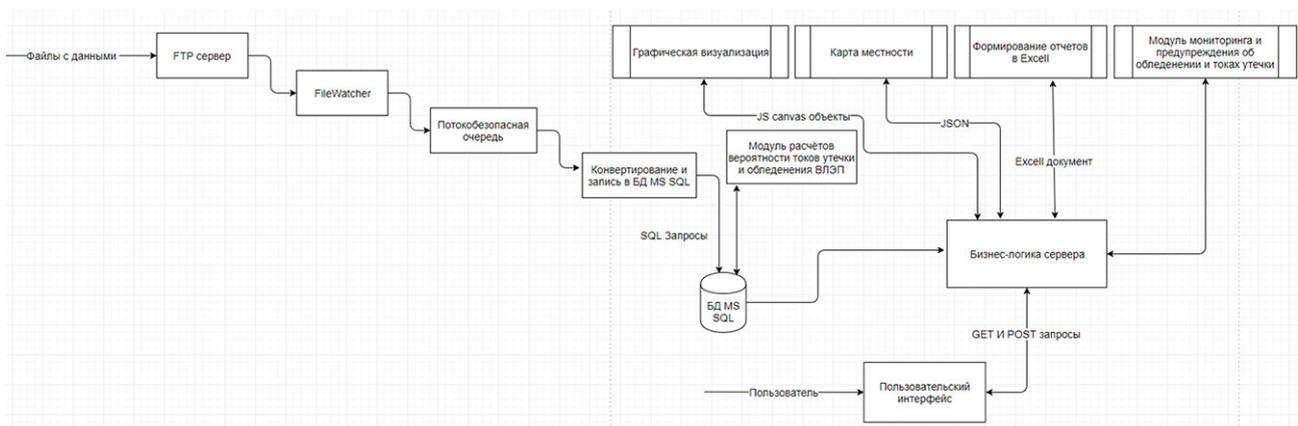


Рисунок 2 – Модель компонентов и алгоритма реализации информационно-управляющей системы предупреждения аварийных ситуаций на ВЛЭП



Рисунок 3 – Концептуальная архитектура системы

пливать поступающие значения от установленных датчиков на опоре ВЛЭП с заданной периодичностью. Далее контроллер формирует и передаёт через беспроводной канал связи (GSM) кодовую последовательность на удаленный сервер.

3) Модуль обработки входных данных. После поступления кодовой последовательности на удаленный сервер информационно-управляющая система в автоматическом режиме обрабатывает ее и осуществляет валидацию. Из валидных последовательностей в модуль генерации предупреждения передаются следующие параметры: влажность воздуха, температура окружающей среды, скорость ветра, сопротивление и напряжение.

4) Модуль генерации предупреждения. В основе модуля предполагается использовать две нейронные сети: для предупреждения обледенения и обнаружения токов утечки. На вход нейронной сети для предупреждения обледенения передаются параметры: температура, влажность и скорость ветра. Нейронная сеть на выходе возвращает 1 (если есть обледенение) или 0 (обледенения нет).

На вход нейронной сети для обнаружения токов утечки передаются параметры: сопротивление и напряжение. Нейронная сеть на выходе возвращает 1 (при наличии токов утечки) или 0.

5) Хранилище данных. Кодовая последовательность и результаты работы нейронной сети сохраняются в базе данных. В таблице Towers хранятся данные об опорах ВЛЭП, в таблице FullParams – параметры опоры. Таблица Logs хранит не прошедшие валидацию данные. В таблицу ReadLines записывается, сколько кодовых последовательностей было обработано по каждой из опор, здесь же в автоматическом режиме считаются средние значения по параметрам за день, месяц, год [5, 6].

6) Пользовательский интерфейс имеет следующие возможности:

- Мониторинг состояния опор ВЛЭП. В окне мониторинга отображаются все опоры ВЛЭП, по которым возможно получение кодовых последовательностей. В зависимости от результатов работы модуля генерации предупреждения опоре ВЛЭП присваивается цвет: если опора работает в

штатном режиме, её цвет зелёный; при обледенении цвет голубой, оранжевый – при возникновении токов утечки;

- Построение графиков. При выборе опоры в окне мониторинга отображается таблица параметров и следующие графики: график токов частичных разрядов и фоновых токов фаз А, В и С; график обледенения или график токов утечки по данным за последние 24 часа. Так же в главном меню во вкладке Графики имеется возможность построить графики по следующим параметрам фильтрации: наименование опоры, тип аварийной ситуации (обледенение или ток утечки), за день, за один месяц, за месяцы (например, от сентября до ноября), за год;

- Отображение опор на карте местности. На карте местности можно добавлять, удалять или перемещать опоры. Также имеется возможность объединения опор в линию электропередач;

- Редактирование данных по опоре. Имеется возможность изменить координаты широты, долготы и расположение файла с данными;

- Экспорт в Excel. Графики и таблицы параметров можно сохранить в Excel документе.

Архитектура программного обеспечения

При разработке архитектуры программного обеспечения информационно-управляющей системы предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач был использован шаблон проектирования Model-View-Controller (MVC).

MVC разделяет различные аспекты приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента: Модель, Представление и Контроллер. Такое разделение способствует более структурированной архитектуре приложения и позволяет значительно сократить время на разработку и повторно использовать ранее написанный код в других проектах.

Процесс основан на концепции, что на простом уровне все программные продукты выполняют один и тот же трёхшаговый алгоритм:

- пользователь запрашивает данные из базы данных, в этот момент контроллер берет этот за-

прос из представления и отправляет его модели;
 - модель обрабатывает данные на уровне базы данных;
 - вывод результата пользователю передаётся представлением.

В архитектуре MVC способ, которым обрабатываются данные, называется моделью. Вывод результатов пользователю известен как представление. Ввод данных пользователем называется контроллером [7].

Цель использования MVC – это упростить выделение различных элементов программного процесса. При разделении кода на три отдельные части имеется ряд преимуществ:

- код легче поддерживать;
- над проектом можно работать командой;
- можно многократно использовать шаблоны кода;
- удобный и сопровождаемый код приложения;
- модульность для будущей разработки.

Изменения в одной части могут быть сделаны более плавно, без необходимости перезаписывать другие части программы. MVC архитектура информационно-управляющей системы изображена на рисунке 4.

Подсистема Model содержит логику приложения и включает методы выборки, обработки данных и предоставления конкретных данных. Model не будет напрямую взаимодействовать с пользователем. Все переменные, относящиеся к запросу пользователя, будут обрабатываться в контроллере. Если модель используется в нескольких частях приложения, то общий код выносится в отдельный класс и наследуется от него, определяя в наследниках специфичные для подприложений методы.

Model информационно-управляющей системы включает:

- 1) Объект доступа к данным. Объект доступа к данным (англ. DAO) является одной из важнейшей составляющей приложения. DAO – это прослойка между базой данных и системой. Объект доступа к данным абстрагирует сущности системы и делает их отображение на базе данных, определяет общие методы использования соеди-

нения, его получение, закрытие и возвращение в Connection Pool. Вершиной иерархии DAO является абстрактный класс или интерфейс с описанием общих методов, которые будут использоваться при взаимодействии с базой данных. Как правило, это методы поиска, удаление по ключу, обновление и т.д.;

2) Обработка данных. Объект отвечает за обработку кодовых последовательностей в автоматическом режиме, которые поступают на удаленный сервер информационно-управляющей системы. Взаимодействует с модулем предупреждения и объектом доступа к данным.

Подсистема Controller – это связующее звено, соединяющее модели, виды и другие компоненты в рабочее приложение. Подсистема отвечает за обработку запросов пользователя. Не содержит SQL-запросов, а вызывает методы объекта доступа к данным подсистемы Model.

Controller информационно-управляющей системы включает:

1) Модуль генерации предупреждения. Взаимодействует с обработкой данных для получения параметров для определения состояния опор линий электропередач;

2) Интерфейсы для обработки запросов пользователя. Интерфейсы взаимодействуют со всеми сущностями (объекта доступа к данным);

3) Экспорт в Excel. Взаимодействует с объектом доступа к данным для получения параметров по опорам линий электропередач;

4) Интерфейс создания графиков. Взаимодействует с объектами доступа к данным для получения данных для построения графиков.

Подсистема View представляет собой набор классов, представляющих элементы пользовательского интерфейса (все то, что пользователь может видеть и на что реагировать на экране – обычно это HTML, CSS и Javascript).

View информационно-управляющей системы включает:

1) Отображение карты местности. Получает список опор и данных для отображения их на карте местности;

2) Визуализация графиков. Получает и визуализирует графики от интерфейса создания



Рисунок 4 – Архитектура «Модель-Представление-Контроллер» информационно-управляющей системы

графика;

3) Мониторинг и уведомления. Получает список опор и результаты от модуля генерации предупреждения. Визуализирует состояние опор в окне мониторинга.

Реализация обработки измерений датчиков в режиме реального времени

Данные с датчиков, установленных на опорах ВЛЭП, поступают от контроллера опоры ВЛЭП на удаленный сервер информационно-управляющей системы предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач. Необходимо проанализировать изменения файлов с кодовыми последовательностями, хранящими все выходные данные с датчиков. Для этого применяется класс `FileSystemWatcher`, который является частью `Microsoft.NET Framework` [8]. Этот класс способен обнаруживать события в файловой системе, такие как создание, изменение или удаление файлов и папок. Он полностью настраивается и его внутренний конструктор принимает такие параметры, как расположение папки и расширение файла для проверки, а также параметр `Boolean`, чтобы указать, должен ли процесс проверки работать рекурсивно через структуру папок.

Обработка полученных данных с датчиков в режиме реального времени работает по следующему алгоритму:

- класс `fileSystemWatcher` обнаруживает изменения в файловой системе и создает потокобезопасную очередь из получивших изменения файлов;

- если файл ранее не обрабатывался, то файл анализируется с самой первой кодовой последовательности; иначе из таблицы `ReadLines SQL` запросом получает количество прочитанных строк и обрабатывает только новые кодовые последовательности;

- кодовая последовательность проверяется на валидность. Если хоть один параметр в последовательности не соответствует формату или входных параметров больше, чем положено, – обработчик переходит к другой последовательности. Невалидная последовательность записывается в `Log-файл` и выдается предупреждение об этом оператору;

- все обработанные данные записываются в базу данных;

- в модуль предупреждения аварийных ситуаций передаются следующие параметры: влажность, температура, скорость ветра, сопротивление и напряжение.

Фрагмент кода с комментариями по реализации анализа изменения файловой системы с помощью класса `FileSystemWatcher` представлен ниже [9, 10]:

```
private void StartFileSystemWatcher()
// Создаем новый экземпляр списка
this.listFilesWatcher = new
```

```
List<FileSystemWatcher>();
//Список для обработки
foreach(CustomFolderSettings customFolder in
listFolders){
DirectoryInfo dir = new DirectoryInfo(customFolder.
FolderPath);
// Проверяем есть ли папка, а также является ли
адрес допустимым
If (customFolder.FolderEnabled && dir.Exists){
// Создает новый экземпляр FileSystemWatcher
FileSystemWatcher fileSWatch = new
FileSystemWatcher();
// Устанавливаем фильтр
fileSWatch.Filter = customFolder.FolderFilter;
//Устанавливаем каталог
fileSWatch.Path = customFolder.FolderPath;
// Описываем действие которое должно произойти
StringBuilder actionToExecute = new StringBuilder(
customFolder.ExecutableFile);
// Список аргументов
StringBuilder actionArguments = new StringBuilder(
customFolder.ExecutableArguments);
// Уведомления фильтров
fileSWatch.NotifyFilter = NotifyFilters.LastWrite |
NotifyFilters.FileName |
NotifyFilters.DirectoryName;
fileSWatch.Created += (senderObj, fileSysArgs) =>
fileSWatch_Created(senderObj, fileSysArgs,
actionToExecute.ToString(), actionArguments.
ToString());
// Начинаем наблюдать
fileSWatch.EnableRaisingEvents = true;
// добавляем в список
listFileSystemWatcher.Add(fileSWatch);
// Записываем в журнал событий
CustomLogEvent(String.Format(fileSWatch.Filter,
fileSWatch.Path));}}
```

Заключение

Информационно-управляющая система представляет собой интегратор двух приложений, таких как `Web-приложения` и `ГИС`, используемых совместно для решения задач по обеспечению повышения надежности транспорта электроэнергии и уменьшению расходов на обслуживание линий электропередачи, визуализации местоположения ВЛЭП на карте местности.

Разработана структурная схема и модель информационно-управляющей системы, представляющая компоненты системы и алгоритм реализации предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередач. Подробно рассмотрена концептуальная архитектура информационно-управляющей системы.

В дальнейшем для реализации модуля предупреждения аварийных ситуаций предлагается принципиально новый подход с использованием нейронной сети для решения проблем обледенения, выявления токов утечки на ВЛЭП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедова О.О. Анализ системы мониторинга воздушных линий электропередачи / Ахмедова О.О., Сошинов А.Г. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11 (часть 4) – С. 533-536.
2. Каганов В.И. Как расплавить лёд на проводах ЛЭП // Наука и жизнь. url:www.nkj.ru/archive/articles/14553/ (дата обращения 28.06.2022).
3. Железо Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. – Москва: ЭНАС, 2009. – 280 с.
4. Воротицкий В.Э. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. – Москва: ИПК, 2012. – 340 с.
5. Сибсанкар Холдер. Проектирование и внедрение системы баз данных SQLite. – Санкт-Петербург: Питер, 2017. – 256 с.
6. Сейед Тахагохги. Руководство по MySQL. – Санкт-Петербург: Питер, 2017. – 544 с.
7. Адам Фримен, ASP.NET Core MVC с примерами на C# для профессионалов. 6-е изд. – Москва: Альфа-книга, 2017. – 992 с.
8. Шافеев Д.Е. Создание современных приложений с signalR / Д.Е. Шافеев, Н.И. Томилова, О.В. Карпенко // Межд. науч.-практич. конф. «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагинские чтения №10). – Караганда, 2018. – С. 138-139.
9. Ингебридстен Э. SignalR разработка приложений в реальном времени. – Санкт-Петербург: Питер, 2016. – 630 с.
10. Айгулар Дж. SignalR программирование в Microsoft ASP.NET. – Санкт-Петербург: Питер, 2017. – 279 с.

Электр беру желілеріндегі апаттық жағдайлардың алдын алу ақпараттық-басқару жүйесінің архитектурасын әзірлеу

¹**САГЫНГАНОВА Индира Кенесқызы**, PhD, аға оқытушы, sagynganova_ik@enu.kz,

²***КАЛИНИН Алексей Анатольевич**, PhD, кафедра меңгерушісі, a.kalinin@kstu.kz,

²**САВЧЕНКО Наталья Каримовна**, магистр, аға оқытушы, sav_nata@mail.ru,

³**ШАФЕЕВ Даниил Евгеньевич**, магистр, инженер-бағдарламашы, 14daniil@mail.ru,

⁴**ФАБЫШЕВСКИЙ Александр Александрович**, магистр, электроника инженері, alexandr.fabyshevskiy@gmail.com,

¹«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Астана, Сәтпаев көшесі, 2,

²«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

³«Сириус» ӨКФ, Қазақстан, Қарағанды, Аликханов көшесі, 18,

⁴«Эфес Қазақстан» АЖ АҚ, Қазақстан, Қарағанды, Гоголь көшесі, 75,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақаланың мақсаты – электр беру желілеріндегі апаттық жағдайлардың алдын алу ақпараттық-басқару жүйесінің архитектурасын әзірлеу. Бұл электрмен жабдықтау желілерінің жұмыс істеуінің техникалық ерекшеліктерінен және Қазақстанның климаттық жағдайларынан туындайтын электрмен жабдықтау желілері жұмысының сенімділігі мен тиімділігі саласындағы негізгі мәселелердің бірін шешуді қамтамасыз етеді. Осы мақсатқа жету үшін электр желілеріндегі төтенше жағдайларды зерттеу және ақпараттық-басқару жүйесінің архитектурасын әзірлеу қажет. Зерттеу пәні – жоғары вольтты электр желілерінде мұздану және ағу жағдайларын алдын алу және мониторингі. Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы осы ақпараттық-басқару жүйесін енгізуден тұрады, бұл электр энергиясын беру сенімділігін арттыруды және апаттылықты төмендетуді, сондай-ақ жоғары вольтты электр желілері тіректерінде нейрондық желіні пайдалану есебінен апаттық жағдайлардың алдын алу дәлдігін арттыруды қамтамасыз етеді.

Кілт сөздер: ақпараттық-басқару жүйесі, жүйе архитектурасы, сандық модель, бағдарламалық модуль, жобалау үлгісі, MVC архитектурасы, деректерді өңдеу, электр беру желісі, апаттық жағдай, тірек.

Architecture Development of the Information Management System for Failures Prevention of Power Transmission Lines

¹**SAGYNGANOVA Indira**, PhD, Senior Lecturer, sagynganova_ik@enu.kz,

²***KALININ Alexey**, PhD, Head of Department, a.kalinin@kstu.kz,

²**SAVCHENKO Natalia**, Master, Senior Lecturer, sav_nata@mail.ru,

³**SHAFEYEV Daniil**, Master, Software Engineer, 14daniil@mail.ru,

⁴**FABYSHEVSKY Alexander**, Master, Electronics Engineer, alexandr.fabyshevskiy@gmail.com,

¹NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Kazakhstan, Astana, Satpayev Street, 2,

²NPJSC «Abylqas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

³PCF «Sirius», Kazakhstan, Karaganda, Alikhanov Street, 18,

⁴JSC IP «Efes Kazakhstan», Kazakhstan, Karaganda, Gogol Street, 75,

*corresponding author.

Abstract. *The article aim is to develop architecture of information management system for failures prevention of transmission lines. It will provide a solution to major issue in the reliability and efficiency areas of electrical grid operation imposed by Kazakhstan's climatic conditions and technical features on electrical grid functioning. In order to achieve this goal it is necessary to investigate failure cases of transmission lines and to develop an architecture of information management system. The subject of study is monitoring and prevention of ice shedding and currents leakage cases of high voltage transmission lines. The applied importance of research results lies in the implementation of the information management system, which will increase reliability and decrease failures for power transmission, and also increase prediction accuracy for failures by means of neural network.*

Keywords: *Information Management System, system architecture, digital model, program module, design pattern, MVC architecture pattern, data processing, power transmission line, transmission line failure, transmission tower.*

REFERENCES

1. Ahmedova O.O. Analiz sistemy monitoringa vozdushnyh linii elektroperedachi / Ahmedova O.O., Soshinov A.G. // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – 2014. – No. 11 (chast' 4) – pp. 533-536.
2. Kaganov V.I. Kak rasplavit' lyod na provodah LEP // Nauka i zhizn'. url:www.nkj.ru/archive/articles/14553/ (data obrashcheniya 28.06.2022).
3. ZHelezko YU.S. Poteri elektroenergii. Reaktivnaya moshchnost'. Kachestvo elektroenergii. – Moscow: ENAS, 2009. – 280 p.
4. Vorotnickij V.E. Raschet, normirovanie i snizhenie poter' elektroenergii v elektricheskikh setyah. – Moscow: IPK, 2012. – 340 p.
5. Sibsankar Holder. Proektirovanie i vnedrenie sistemy baz dannyh SQLite. – Saint Petersburg: Piter, 2017. – 256 p.
6. Sejed Tahaghoghi. Rukovodstvo po MySQL. – Saint Petersburg: Piter, 2017. – 544 s.
7. Adam Frimen, ASP.NET Core MVC s primerami na C# dlya professionalov. 6-e izd. – Moscow: Al'fa-kniga, 2017. – 992 p.
8. SHafeev D.E. Sozdanie sovremennyh prilozhenij s signalR / D.E. SHafeev, N.I. Tomilova, O.V. Karpenko // Mezhd. nauch.-praktich. konf. «Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana nacii» (Saginovskie chteniya no. 10). – Karaganda, 2018. – pp. 138-139.
9. Ejnar Ingebridsten. SignalR razrabotka prilozhenij v real'nom vremeni. – Saint Petersburg: Piter, 2016. – 630 p.
10. Dzhozef Ajgular. SignalR programirovanie v Microsoft ASP.NET. – Saint Petersburg: Piter, 2017. – 279 p.