

УДК 519.876.2

Совершенствование информационного обеспечения геоинформационной системы управления безопасностью электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи

Improving the information support of the geographic information system for managing the electric power supply safety in the region in the conditions of overhead power lines icing

Бурлов / Burlov V.

Вячеслав Георгиевич

(burlovvg@mail.ru)

доктор технических наук.

ФГБОУ ВО «Российский государственный

гидрометеорологический университет»,

профессор кафедры информационных технологий

и систем безопасности.

г. Санкт-Петербург

Полюхович / Polyukhovich M.

Максим Алексеевич

(polyuhovich_ma@spbstu.ru)

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,

ассистент Высшей школы техносферной

безопасности.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: гололедно-изморозевое отложение – icy-frost deposition; обрыв линии – line break; модель решения человека – human decision model; угроза нарушения электроснабжения – electric power supply disruption threat; реляционная модель данных – relational data model; системообразующий фактор – system-forming factor.

Получена модель решения человека путем применения естественно-научного подхода и подхода на основе синтеза. На основе параметров модели впервые была разработана концепция информационного обеспечения геоинформационной системы (ГИС), позволяющего формировать адекватные сложившейся обстановке действия по устранению угрозы нарушения электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи. Показана взаимосвязь реляционной модели данных информационного обеспечения ГИС с параметрами модели решения человека.

A human decision model is obtained by applying a natural science approach and a synthesis-based approach. Based on the parameters of the model, the concept of information support of a geographic information system (GIS) was developed for the first time, which makes it possible to form actions adequate to the current situation to eliminate the disruption of the region's electric power supply threat in conditions of overhead power lines icing. The interrelation of the relational data model of GIS information support with the parameters of the human decision model is shown.

Введение

Перерывы в электроснабжении объектов региона имеют периодический характер и в большинстве своем вызваны воздействием гидрометеорологических факторов на воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) [1–3]. Причиной наиболее масштабных отключений электроснабжения потребителей в осенне-зимний период практически на всей территории России является суммарная нагрузка от гололедно-изморозевого отложения (ГИО) и ветра [3–5], к тому же большинство ВЛЭП выработало свой срок службы [6–7]. С целью обеспечения безопасности электроснабжения региона лицу, принимающему решения (ЛПР), необходимо получать требуемые показатели, характеризующие гололедно-ветровую ситуацию (ГВС) на рассматриваемой территории. Такими возможностями обладает геоинформационная система (ГИС) [8–9], база данных которой содержит пространственные данные об объектах электроэнергетической отрасли и метеорологические данные, описывающие состояние окружающей среды не только в текущий момент времени, но и с определенной точностью на ближайшие несколько дней [10–12].

Многие исследования в области обеспечения надежного функционирования электроэнергетической системы посвящены разработке автоматизированных систем комплексного анализа надежности отдельных элементов системы [13–14], автоматизированных [15–16] и автономных [17–18] систем

электроснабжения, информационно-измерительных систем контроля параметров ВЛЭП [19], применению нейронных сетей [20–21]. При этом научные исследования по разработке требуемого информационного обеспечения деятельности специалистов в области энергетики сосредоточены на цифровой трансформации энергетики [22–25], в частности, рассматриваются вопросы цифрового мониторинга качества электроэнергии [26–27], интеллектуальные системы управления [28–30], применения информационно-вычислительных технологий для решения задач мониторинга и управления состоянием электроэнергетического оборудования [31–33]. В основе деятельности, в том числе по обеспечению безопасности электроснабжения региона, лежит решение человека (ЛПР). Человек (ЛПР) работает с тремя категориями: система, модель, предназначение (результат). Но научные исследования в области управления процессом электроснабжения не затрагивают вопросы получения модели решения человека, а без этого нельзя говорить об обеспечении безопасности объекта управления, так как разработанные автоматизированные, автономные и интеллектуальные системы управления получены без системообразующего фактора, которым и является модель решения человека, что страдает концептуальной неполнотой.

Поэтому для осуществления деятельности, соответствующей ГВС на рассматриваемой территории, необходимо разработать на основе модели решения человека требуемое информационное обеспечение

ГИС. Но в первую очередь необходимо получить математическую модель решения ЛПР, чтобы определиться с набором пространственных и метеорологических данных.

Цель исследования – усовершенствовать информационное обеспечение ГИС управления безопасностью электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи с учетом параметров модели решения человека.

Методология исследования

Человек в своей деятельности по электроснабжению региона работает с 4 процессами:

- целевой процесс (электроснабжение региона);
- процесс проявления угрозы (проявление угрозы нарушения электроснабжения региона);
- процесс идентификации угрозы (прогнозирование и мониторинг угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона);
- процесс нейтрализации угрозы (предотвращение нарушения электроснабжения региона).

Для того, чтобы получить необходимую систему обеспечения безопасности электроснабжения региона (СОБЭР), необходимо осуществить системную интеграцию четырех вышеприведенных процессов с показателем безопасности.

Согласно содержанию естественно-научного подхода (ЕНП) [34] любой процесс представляется в виде совокупности трех горизонтально расположенных

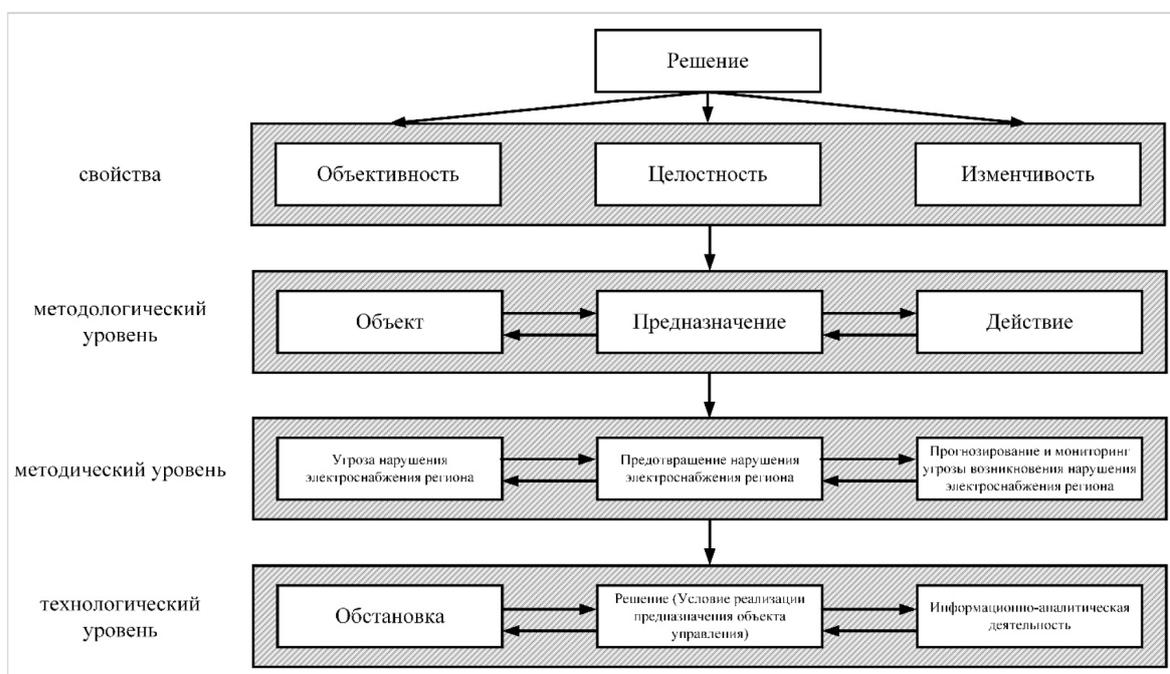


Рис. 1. Структурная схема разворачивания содержания категории «решение» как процесса

компонентов, согласующихся со свойствами «объективность» (понятием «объект»), «целостность» (понятием «предназначение») и «изменчивость» (понятием «действие»). Рассматриваемые компоненты можно представить с некоторой интерпретацией на всех уровнях познания мира [34], отображенных по вертикали. На рис. 1 продемонстрирована структурная схема разворачивания содержания категории «решение» как процесса.

Разложив понятие «решение» на три базовых элемента – «обстановка», «информационно-аналитическая работа» и «решение», необходимо перейти к синтезу модели решения [35].

Для этого учитываются три фактора:

- характеристики внешнего мира, выраженные в устойчивой связи таких признаков как «объективность», «целостность» и «изменчивость». Эти функции проецируются на равные по значению «объект», «предназначение» и «действие» соответственно;

- характеристики человеческого мышления, основанные на абстрактном, абстрактно-конкретном и конкретном мышлении и выраженные соответственно в методологии, методах и технологии (алгоритмах);

- индивидуальный подход, при котором человек использует три основных метода решения практических задач: декомпозиция, абстрагирование и агрегирование.

На первом уровне применяется метод декомпозиции – решение расчленяется именно на три элемента: «обстановка», «решение» и «информационно-аналитическая работа», которые соответствуют «объекту», «предназначению» и «действию».

На втором уровне применяется метод абстрагирования. Для получения новых результатов используются «старые» наработки, а именно результаты исследования в теории функциональных систем академика АН СССР П.К. Анохина. Человек воспринимает факты, соотношенные во времени, поэтому целесообразно «Обстановку» («Объект») характеризовать средним временем проявления угрозы нарушения электроснабжения региона – $\Delta t_{ПУ}$, средним временем выполнения целевой задачи (электроснабжение региона) – $T_{Э}$, средним временем срыва целевой задачи (электроснабжение региона) – $T_{СР}$. «Действие» («Информационно-аналитическая работа») отождествляем со средним временем прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона (средним временем адекватного сложившейся обстановке распознавания ситуации) – $\Delta t_{ИУ}$. «Предназначение» («Решение») отождествляем со средним временем предотвращения нарушения электроснабжения региона (средним временем адекватного сложившейся обстановке реагирования на возникшую угрозу электроснабжения региона) человеком – $\Delta t_{НУ}$. P – показатель эффективности реализации решений по обеспечению безопасности электроснабжения региона.

На рис. 2 представлена структурная схема синтеза модели.

В работе предполагается, что эти промежутки времени являются случайными величинами, и используется следующая диаграмма изменения базовых компонентов формирования модели решения (рис. 3 а) среднее время проявления угрозы нарушения

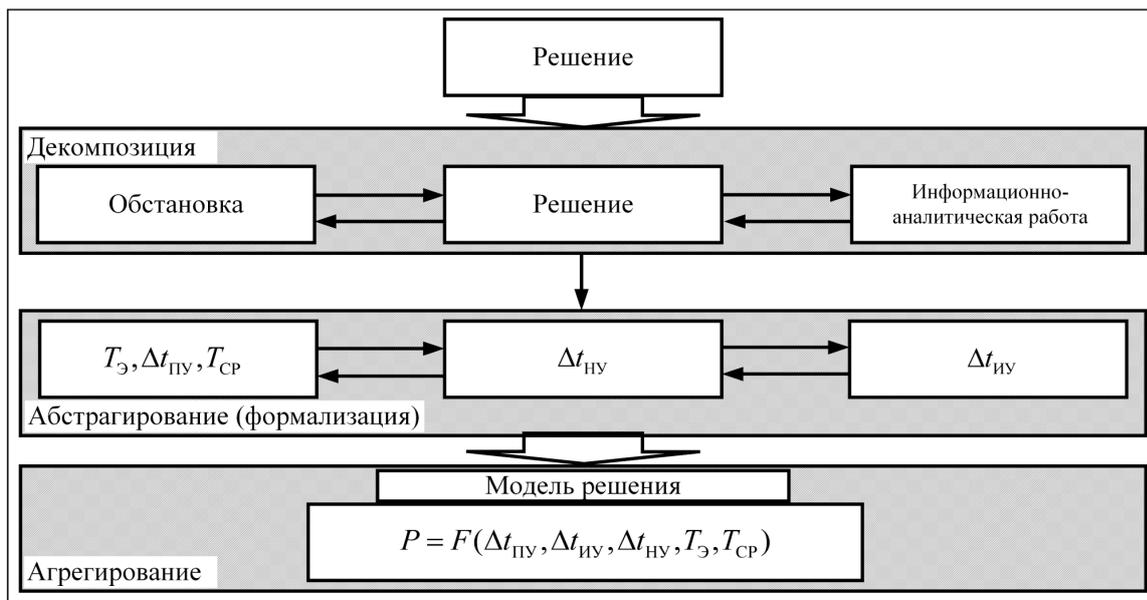


Рис. 2. Структурная схема интерпретации процесса синтеза математической модели решения

электроснабжения региона; б) среднее время прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона; в) среднее время предотвращения нарушения электроснабжения региона; г) среднее время выполнения целевой задачи (электроснабжение региона).

Таким образом, математическая модель решения человека представляется в следующем виде:

$$P = F(\Delta t_{\text{ПУ}}, \Delta t_{\text{ИУ}}, \Delta t_{\text{НУ}}, T_{\text{Э}}, T_{\text{СР}}) \quad (1)$$

Это и есть системообразующий фактор СОБЭР в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов (в частности, обледенения ВЛЭП).

Для обеспечения безопасности электроснабжения региона необходимо иметь величины показателей, входящих в модель решения. В рамках системного управления процессом передачи электроэнергии от источника до потребителя количественные значения данных показателей могут быть получены на базе применения ГИС. Но для этого необходимо сформировать требуемое информационное обеспечение ГИС.

Результаты

В контуре управления имеется два объекта, характеристики которых мы должны иметь:

- воздушные линии электропередачи (ВЛЭП);
- гидрометеорологические факторы.

Описать данные характеристики нужно при помощи пространственных и метеорологических данных:

- характеристики ВЛЭП: протяженность, материал и диаметр проводов, вид опоры и т.д.;

- характеристики гидрометеорологических факторов: температура воздуха, скорость ветра, направление ветра, осадки и т.д.

Совокупность гидрометеорологических факторов, при которых образуется или отсутствует тот или иной вид ГИО, характеризует обстановку на определенной территории за конкретный период времени. Обозначим такую совокупность символом «С», тогда за время t территорию можно охарактеризовать как:

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

Объединяя полученные последовательности значений параметров гидрометеорологических факторов, получим матричное представление ГВС в районе пролегания контролируемой ВЛЭП:

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{\text{возд1}} & V_1 & P_1 & Z_1 \\ t_{\text{возд2}} & V_2 & P_2 & Z_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{\text{возд}n} & V_n & P_n & Z_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

где $t_{\text{возд}}$ – температура окружающей среды, °С; V – скорость ветра, м/с; P – атмосферное давление, мм. рт. ст.; Z – атмосферное явление.

Полученная матрица отражает ГВС в районе пролегания рассматриваемой ВЛЭП.

Примем следующие обозначения:

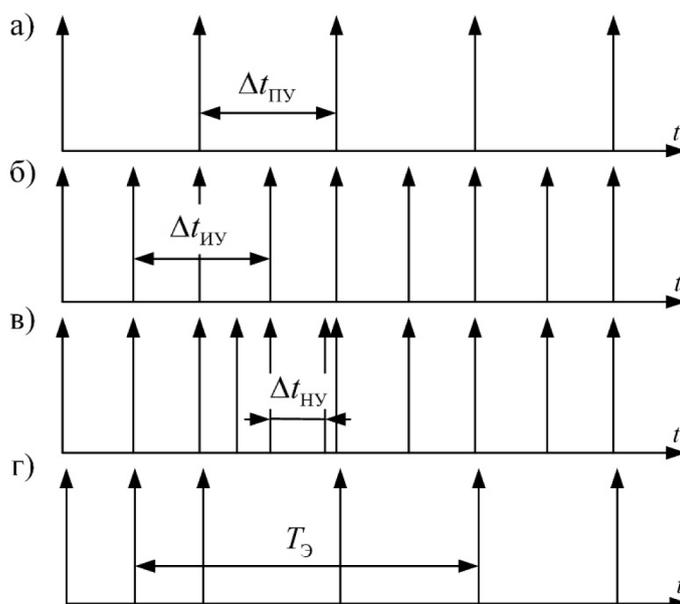


Рис. 3. Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения

- V_{\max} – максимальная скорость ветра, м/с;
- Z_m – морось;
- Z_d – дождь;
- Z_t – туман;
- Z_s – мокрый снег.

Тогда благоприятствующие образованию ГИО условия можно представить в следующем виде [36-37]:

- для гололеда:

$$\left\{ \begin{array}{l} -5 \leq t_{\text{возд}} < 0 \\ 2 \leq V < 15 \\ V_{\max} < 40 \\ Z_m / Z_d / Z_t \end{array} \right\}; \quad (4)$$

- для зернистой (плотной) изморози:

$$\left\{ \begin{array}{l} -20 \leq t_{\text{возд}} < -3 \\ 1 \leq V < 15 \\ V_{\max} < 40 \\ Z_m / Z_t \end{array} \right\}; \quad (5)$$

- для кристаллической изморози:

$$\left\{ \begin{array}{l} -30 \leq t_{\text{возд}} < -5 \\ 0 \leq V < 3 \\ 5 \leq V_{\max} < 7 \\ Z_t \end{array} \right\}; \quad (6)$$

- для смешанного отложения:

$$\left\{ \begin{array}{l} -20 \leq t_{\text{возд}} < 0 \\ 2 \leq V < 15 \\ 30 \leq V_{\max} < 40 \\ Z_m / Z_d / Z_t \end{array} \right\}; \quad (7)$$

- для мокрого снега:

$$\left\{ \begin{array}{l} -2 \leq t_{\text{возд}} < +1 \\ 0 \leq V < 10 \\ 20 \leq V_{\max} < 30 \\ Z_s \end{array} \right\}; \quad (8)$$

При температуре провода ВЛЭП ($t_{\text{пр}}$) выше 0 градусов и влажности воздуха (ϕ) менее 80%, обстановка для образования гололеда не формируется. Условия исключения образования ГИО на поверхности провода можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{пр}} > 0 \\ \phi < 80\% \end{array} \right\}. \quad (9)$$

Учитывая вышеприведенные результаты, есть возможность выработать требования к набору данных

информационного обеспечения геоинформационной системы управления безопасностью электроснабжения региона в условиях обледенения ВЛЭП. Получив информацию о прогнозе погодных условий на ближайшие два-три дня, ЛПР может сделать вывод о возможности проявления угрозы нарушения электроснабжения региона. Для определения характеристик текущей обстановки с определенными условиями ГВС на рассматриваемой территории, необходимо получить параметры:

- участка ВЛЭП (радиус провода, плотность материала провода, протяженность участка линии, температура провода, категория потребителей);
- метеорологических условий (влажность, температура воздуха, направление ветра, скорость ветра, содержание воды в воздухе).

На рис. 4 представлена реляционная модель требуемых пространственных и метеорологических данных.

Приняты следующие обозначения:

- радиус провода ВЛЭП - r , мм;
- плотность материала провода - $\rho_{\text{пр}}$, кг/м³;
- длина пролета ВЛЭП - l , м;
- температура провода - $t_{\text{пр}}$, °С;
- категория потребителей - 1, 2, 3;
- влажность воздуха - ϕ , %;
- температура воздуха - $t_{\text{возд}}$, °С;
- угол между осью провода и потоком ветра - γ , °;
- скорость ветра - V , м/с;
- содержание воды в воздухе, W - кг/м³;
- среднее время образования ГИО на поверхности провода - $\Delta t_{\text{ГИО}}$, ч;
- плотность ГИО - ρ , кг/м³;
- радиус ГИО - R , мм;
- суммарная нагрузка от собственного веса провода, ГИО и напора ветра - Y , Па.

В [38] предложена следующая формула для оценки толщины ГИО:

$$\Delta R = \frac{W \cdot V_i \cdot \Delta t_{\text{ГИО}} \cdot (0,1 + 0,9 \cdot \cos^3(90 - \gamma))}{\pi \cdot \rho}, \quad (10)$$

где W – содержание воды в воздухе, кг/м³;

V_i – скорость капли при столкновении с поверхностью провода, м/с;

$\Delta t_{\text{ГИО}}$ – среднее время образования ГИО, с;

γ – угол между осью провода и потоком ветра;

ρ_i – плотность ГИО, кг/м³.

Скорость капли при столкновении с поверхностью провода можно определить по формуле:

$$V_i = \sqrt{V_d^2 + V^2 + 2 \cdot V_d \cdot V \cdot \cos \beta} \quad (11)$$

где V_d – скорость падения капли, м/с (зависит от атмосферного явления);

β – угол между векторами V_d и V .

В условиях ГВС при $Y > Y_{\text{доп}}$, где $Y_{\text{доп}}$ – допустимая нагрузка на ВЛЭП с учетом конструкции

Текущая обстановка	Параметры участка ВЛЭП					Параметры метеоусловий				
	г, мм	$\rho_{пр.1}$, кг/м ³	l, м	$t_{пр}$, °C	Кат. пот.	ф, %	$t_{возд}$, °C	γ , °	V, м/с	W, г/мм ³
1	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр1}$	3	Ф ₁	$t_{возд1}$	γ_1	V ₁	W ₁
2	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр2}$	3	Ф ₁	$t_{возд2}$	γ_2	V ₂	W ₂
3	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр3}$	3	Ф ₁	$t_{возд3}$	γ_3	V ₃	W ₃
4	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр4}$	3	Ф ₁	$t_{возд4}$	γ_4	V ₄	W ₄
5	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр5}$	3	Ф ₁	$t_{возд5}$	γ_5	V ₅	W ₅
6	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр6}$	3	Ф ₂	$t_{возд6}$	γ_6	V ₆	W ₆
7	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр7}$	3	Ф ₂	$t_{возд7}$	γ_7	V ₇	W ₇
8	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр8}$	3	Ф ₂	$t_{возд8}$	γ_8	V ₈	W ₈
9	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр9}$	3	Ф ₂	$t_{возд9}$	γ_9	V ₉	W ₉
10	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр10}$	3	Ф ₂	$t_{возд10}$	γ_{10}	V ₁₀	W ₁₀
11	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр11}$	3	Ф ₂	$t_{возд11}$	γ_{11}	V ₁₁	W ₁₁
12	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр12}$	3	Ф ₃	$t_{возд12}$	γ_{12}	V ₁₂	W ₁₂
13	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр13}$	3	Ф ₃	$t_{возд13}$	γ_{13}	V ₁₃	W ₁₃
14	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр14}$	3	Ф ₃	$t_{возд14}$	γ_{14}	V ₁₄	W ₁₄
15	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр15}$	3	Ф ₃	$t_{возд15}$	γ_{15}	V ₁₅	W ₁₅
16	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{пр16}$	3	Ф ₃	$t_{возд16}$	γ_{16}	V ₁₆	W ₁₆
...
n-1	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{прn-1}$	3	Ф ₃	$t_{воздn-1}$	γ_{n-1}	V _{n-1}	W _{n-1}
n	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{прn}$	3	Ф ₃	$t_{воздn}$	γ_n	V _n	W _n
n+1	г ₁	$\rho_{пр.1}$	l ₁	$t_{прn+1}$	3	Ф ₃	$t_{воздn+1}$	γ_{n+1}	V _{n+1}	W _{n+1}
...



Параметры ГВС				
$\Delta t_{гво}, ч$	Z	ρ , кг/м ³	R, мм	Y, Па
$\Delta t_{гво1}$	Z _m	ρ_1	R ₁	Y ₁
$\Delta t_{гво2}$	Z _d	ρ_2	R ₂	Y ₂
$\Delta t_{гво3}$	Z _t	ρ_3	R ₃	Y ₃
$\Delta t_{гво4}$	Z _c	ρ_4	R ₄	Y ₄
$\Delta t_{гво5}$	Z _m	ρ_5	R ₅	Y ₅
$\Delta t_{гво6}$	Z _d	ρ_6	R ₆	Y ₆
$\Delta t_{гво7}$	Z _t	ρ_7	R ₇	Y ₇
$\Delta t_{гво8}$	Z _c	ρ_8	R ₈	Y ₈
$\Delta t_{гво9}$	Z _m	ρ_9	R ₉	Y ₉
$\Delta t_{гво10}$	Z _d	ρ_{10}	R ₁₀	Y ₁₀
$\Delta t_{гво11}$	Z _t	ρ_{11}	R ₁₁	Y ₁₁
$\Delta t_{гво12}$	Z _c	ρ_{12}	R ₁₂	Y ₁₂
$\Delta t_{гво13}$	Z _m	ρ_{13}	R ₁₃	Y ₁₃
$\Delta t_{гво14}$	Z _d	ρ_{14}	R ₁₄	Y ₁₄
$\Delta t_{гво15}$	Z _t	ρ_{15}	R ₁₅	Y ₁₅
$\Delta t_{гво16}$	Z _c	ρ_{16}	R ₁₆	Y ₁₆
...
$\Delta t_{гвоn-1}$	Z _d	ρ_{n-1}	R _{n-1}	Y _{n-1}
$\Delta t_{гвоn}$	Z _t	ρ_n	R _n	Y _n
$\Delta t_{гвоn+1}$	Z _c	ρ_{n+1}	R _{n+1}	Y _{n+1}
...



$$P = F(\Delta t_{гво}, \Delta t_{гво}, \Delta t_{гво}, T_3, T_{ср})$$

Рис. 4. Реляционная модель пространственных и метеорологических данных геоинформационной системы управления безопасностью электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи

опоры, происходит обрыв линии электропередачи, то есть проявляется угроза нарушения электроснабжения региона.

Приведенная на рисунке реляционная модель должна лежать в основе информационного обеспечения геоинформационной системы управления безопасностью электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи, так как содержит все необходимые сведения, позволяющие при различных комбинациях данных определить параметры ГВС, которая складывается на рассматриваемой территории. К таким параметрам относятся:

- среднее время образования ГИО (от начала появления благоприятствующих образованию ГИО условий, представленных ранее в статье, и до их исчезновения);
- вид атмосферного явления;
- плотность ГИО;
- радиус ГИО;
- суммарная нагрузка (нагрузка от собственного веса провода, нагрузка от ветра, нагрузка от ГИО).

Если на наблюдаемой территории ожидается ГВС с характерными для образования ГИО условиями, то ЛППР, имея в своем распоряжении требуемый набор

пространственных и метеорологических данных, может установить параметры модели решения человека:

- $\Delta t_{пу}$ – среднее время, длящееся от начала появления благоприятствующих образованию ГИО условий и до обрыва провода, то есть среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона;
- $\Delta t_{пр}$ – среднее время, длящееся от начала получения прогноза до определения (расчета) возможности обрыва провода, то есть среднее время прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона;
- $\Delta t_{пред}$ – среднее время предотвращения нарушения электроснабжения региона (недопущение или устранение обледенения на проводе);
- $T_э$ – среднее время, затрачиваемое на обеспечение потребителя качественным и надежным электроснабжением, принимается согласно государственным стандартам и договорным условиям;
- $T_{ср}$ – среднее время, в течение которого возможен перерыв в процессе электроснабжения потребителей, законодательно установлено в зависимости от категории потребителя.

Рассмотрим определение среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона в случае образования ГИО на базе применения ГИС

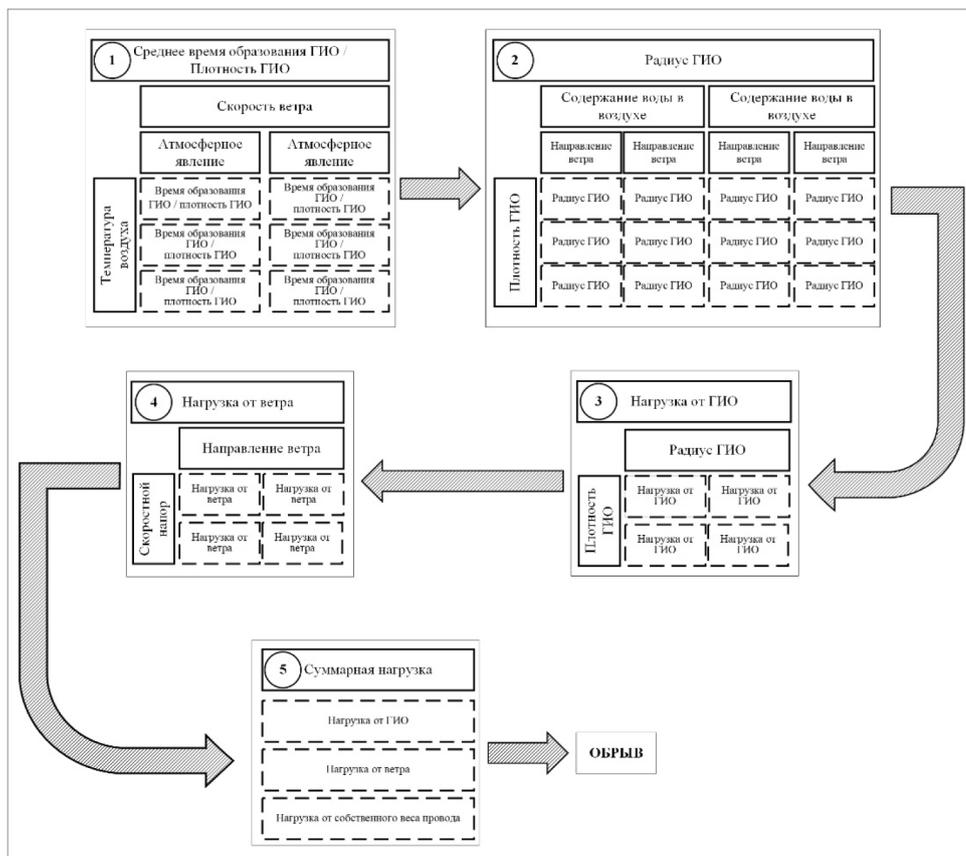


Рис. 5. Последовательность расчета среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона в случае образования ГИО

с требуемым информационным обеспечением. Для этого осуществляются следующие действия:

1. Расчет среднего времени образования и плотности ГИО (на основании продолжительности воздействия способствующих образованию ГИО гидрометеорологических факторов и явлений, например, температура окружающей среды, равная минус 4°C, скорость ветра – 5 м/с и туман продержатся 3 часа на рассматриваемой территории).

2. Определение возможного радиуса ГИО на основании плотности, содержания воды в воздухе и направления ветра.

3. Расчет нагрузки ГИО в зависимости от плотности и радиуса.

4. Расчет нагрузки от ветра (направление ветра и скоростной напор).

5. Расчет суммарной нагрузки (нагрузка от собственного веса провода, нагрузка от ветра, нагрузка от ГИО).

6. Вывод о возможности обрыва провода.

Данная последовательность представлена на рис. 5. Сплошной линией обведены прямоугольники, обозначающие данные, полученные при помощи ГИС. Штриховая линия показывает вариативность параметров, вносимых в расчет: может рассматриваться несколько значений температур, скорости ветра и т.д.

Заключение

Своевременная осведомленность ЛППР о складывающейся обстановке на определенной территории позволяет адекватно формировать решение, гарантирующее достижение цели деятельности, а именно обеспечение безопасности электроснабжения региона. Условия, способствующие проявлению угрозы нарушения электроснабжения региона, могут быть заранее установлены и учтены при разработке информационного обеспечения ГИС любого типа и назначения.

Определив параметры модели решения человека, у ЛППР имеется возможность рассчитать показатель безопасности существующей СОБЭР, подставив найденные значения в соответствующие уравнения. При получении показателя безопасности ниже установленного, ЛППР может решить обратную задачу управления, изменяя при этом два параметра: среднее время прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона и среднее время предотвращения нарушения электроснабжения региона, так как они полностью зависят от самого ЛППР и подчиненной ему группы людей. Появляется возможность подбирать персонал для конкретных поставленных задач, варьируя при этом квалификацией и опытом персонала, учитывая его индивидуальные характеристики и качества (стрессоустойчивость, внимательность, лидерство, возраст, пол, мобильность, семейное положение и т.д.).

Таким образом в научном исследовании предложен подход по совершенствованию информационного обеспечения ГИС управления безопасностью электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи с учетом параметров модели решения человека. Дальнейшие исследования будут посвящены разработке предложений по кадровому и техническому оснащению ГИС управления безопасностью электроснабжения региона.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90225.

Литература

1. Бобылев, П. М. Адаптация к изменениям климата: новый вызов развитию электроэнергетики России / П.М. Бобылев, М.М. Дыган // Энергетическая политика. – 2020. – № 3 (145). – С. 80–94.

2. Изменение ветрового режима на территории России и аварийность воздушных линий электропередач / В.В. Клименко, О.Е. Кондратьева, А.Г. Терешин [и др.] // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. – 2021. – Т. 497, № 1. – С. 57–64.

3. Шилин, А. Н. Информационно-измерительная система для мониторинга климатического воздействия на воздушные линии электропередачи / А.Н. Шилин, А.А. Шилин, С.С. Дементьев // Проблемы региональной энергетики. – 2020. – № 2 (46). – С. 23–32.

4. Грабчак, Е. П. Надежное электроснабжение – это приоритет для всех энергетиков / Е.П. Грабчак // Энергетическая политика. – 2021. – № 7 (161). – С. 4–9.

5. Грабчак, Е. П. Применение информационно-вычислительных технологий для решения задач мониторинга и управления состоянием энергетического оборудования в ЭЭС России / Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов // Экономика. Информатика. – 2021. – Т. 48, № 4. – С. 688–696.

6. Чернов, О. И. Современное состояние электрических сетей России и перспективы развития / О.И. Чернов, Е.А. Елисеева // Academy. – 2021. – № 7 (70). – С. 20–22.

7. Водяников, В. Т. Техничко-экономическая оценка современного состояния сельской электрификации / В.Т. Водяников // Агроинженерия. – 2020. – № 2 (96). – С. 46–50.

8. Информационно-функциональное обеспечение геоинформационного управления развитием природно-технических систем / Е.А. Байков, В.Н. Завгородний, Е.П. Истомин [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 12-2 (114). – С. 24–31.

9. Ефремов, С. В. Метод оценки производственной среды нестационарных рабочих мест / С.В. Ефремов, Ю.В. Логвинова, М.А. Полохович // Безопасность жизнедеятельности. – 2020. – № 6 (234). – С. 8–12.

10. Матвеев, Ш. Геоинформационный анализ основных источников климатической информации на территорию Волгоградской области / Ш. Матвеев // Научно-агронимический журнал. – 2022. – №3 (118). – С. 81–85.

11. Научное обеспечение геоинформационного управления развитием природно-технических систем /

- Е.А. Байков, В.Н. Завгородний, Е.П. Истомин [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – №12-2 (114). – С. 16–23.
12. Каверзнева, Т. Т. Создание единой базы данных для определения температуры воздуха и температуры грунта в климатических условиях вечной мерзлоты / Т.Т. Каверзнева, Д.И. Идрисова, И.Л. Скрипник // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе : материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 29 сентября, 2016 г.). – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016. – С. 185–187.
13. Разработка автоматизированной системы обеспечения надежного функционирования электроэнергетической системы / Р.В. Клюев, М.Т. Плиева, Т.Т. Гудиев, М.Ю. Шамрин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 1. – С. 261–271.
14. Береснева, Н. Оценка надежности энергоснабжения территорий / Н. Береснева, Н. Пяткова // Энергетическая политика. – 2021. – № 12 (166). – С. 50–59.
15. Кирпичникова, И. М. Обеспечение бесперебойного электроснабжения высокотехнологичных предприятий / И.М. Кирпичникова, С.С. Шипилов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 55–61.
16. Торопов, И. Ю. Обеспечение бесперебойной работы критически важных операций и предотвращение незапланированных простоев / И.Ю. Торопов // StudNet. – 2022. – № 6. – С. 5133–5144.
17. Гусарова, Е. В. Применение автономных систем электроснабжения на возобновляемых источниках энергии для снижения аварийности сельхозтехники в агропромышленных районах России / Е.В. Гусарова, В.В. Харченко, В.А. Гусаров, К.В. Жуков // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – Т. 15, №2 (58). – С. 81–91.
18. Бык, Ф. Л. Эффекты интеграции локальных интеллектуальных энергосистем / Ф.Л. Бык, Л.С. Мышкина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 1. – С. 3–15.
19. Листюхин, В. А. Система контроля параметров воздушных линий электропередачи в режиме реального времени / В.А. Листюхин, Е.А. Печерская // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2021. – № 4 (40). – С. 90–95.
20. Луковенко, А. С. Методы расчета надежности системы электроснабжения / А.С. Луковенко, И.В. Зеньков // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25, № 1 (156). – С. 57–65.
21. Тишков, В. В. Повышение надежности сельских распределительных электрических сетей с применением нейронных сетей / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская, А.А. Груба // Агротехника и энергообеспечение. – 2021. – № 1 (30). – С. 58–63.
22. Кленина, Л. И. Цифровизации энергетики как стимул трансформации компетенций инженера / Л.И. Кленина // Социальные новации и социальные науки. – 2022. – № 1 (6). – С. 148–160.
23. Иванова, Н. А. Особенности экономического развития топливноэнергетического комплекса в условиях цифровизации / Н.А. Иванова, В.А. Варфоломеева // Индустриальная экономика. – 2022. – №2-2. – С. 185–191.
24. Игольникова, И. В. Развитие электроэнергетики в условиях цифровизации / И.В. Игольникова, Е.В. Чепиков // Экономика. Социология. Право. – 2022. – № 2 (26). – С. 9–13.
25. Шехова, Н. В. Инновационные тенденции в системе обеспечения энергетической безопасности России / Н.В. Шехова // Теоретическая экономика. – 2021. – № 7 (79). – С. 95–105.
26. Безбожных, О. Н. Интеллектуальные сети энергоснабжения: мониторинг качества электроэнергии / О.Н. Безбожных, Д.И. Чадаев // NBI-technologies. – 2022. – Т. 16, № 2. – С. 5–10.
27. Предпосылки развития цифровых технологий в энергетике России / В.В. Коварда, О.Г. Тимофеева, Е.С. Ширкова, И.Г. Кузьмичёва // Журнал прикладных исследований. – 2021. – № 6-2. – С. 141–147.
28. Мартынов, В. «Умные электростанции» – цифровое будущее энергетики / В. Мартынов, Н. Зорченко, Д. Панфилов // Энергетическая политика. – 2021. – № 9 (163). – С. 86–95.
29. Массель, Л. В. Современный этап развития искусственного интеллекта (ИИ) и применение методов и систем ИИ в энергетике / Л.В. Массель // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2021. – № 4 (24). – С. 5–20.
30. Иваха, Д. В. Интеллектуальная децентрализованная энергетическая сеть с транзакционным методом обмена / Д.В. Иваха, Н.Я. Прохоренко // Наука без границ. – 2021. – № 2 (54). – С. 16–22.
31. Барикаев, Е. Н. Формирование информационно-вычислительной среды моделирования и поддержки принятия решений в энергетике России на основе активно-адаптивных сетей / Е.Н. Барикаев, Е.Л. Логинов // Вестник Московского университета МВД России. – 2014. – № 3. – С. 229–232.
32. Копайгородский, А. Н. Архитектура интеллектуальной информационной системы для поддержки экспертных решений по стратегическому инновационному развитию энергетики / А.Н. Копайгородский, Т.Г. Мамедов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2020. – № 4 (20). – С. 168–176.
33. Массель, А. Г. Технология вычислительного эксперимента в исследованиях работы энергетических отраслей при реализации угроз энергетической безопасности / А.Г. Массель, Т.Г. Мамедов, Н.И. Пяткова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2021. – № 3 (23). – С. 62–73.
34. Бурлов, В. Г. Модель управления транспортными системами, учитывающей возможности инноваций / В.Г. Бурлов, М.И. Грачев // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2017. – № 4 (42). – С. 34–38.
35. Бурлов, В. Г. Разработка технологии управления безопасностью электрических сетей на основе применения

геоинформационной системы / В.Г. Бурлов, В.Д. Маньков, М.А. Полюхович // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2020. – № 2 (52). – С. 40–47.

36. Минуллин, Р. Г. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием / Р.Г. Минуллин, Д.Ф. Губаев. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2010. – 208 с.

37. РД 34.20.184-91. Методические указания по районированию территорий энергосистем и трасс ВЛ по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов. – 22 с.

38. Тимофеева, М. В. Улучшенная аналитическая модель обледенения проводов ЛЭП / М.В. Тимофеева // Надежность и безопасность энергетики. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 222–226.