

Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 100—122.  
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(70): 100—122.

## ***ГЕОИНФОРМАТИКА***

---

Научная статья  
УДК [66.013.6:621.311]:004.942  
doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-100-122

### **Разработка методики геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов**

***Вячеслав Георгиевич Бурлов<sup>1</sup>,  
Максим Алексеевич Полюхович<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия, mpolyukhovich@gmail.com

*Аннотация.* Управление безопасностью электроснабжения региона осложнено воздействием на воздушные линии электропередачи гидрометеорологических факторов, следствием чего может являться нарушение электроснабжения региона. Для получения требуемых данных о гидрометеорологических факторах целесообразно использовать геоинформационную систему, позволяющую формировать массивы пространственных географических данных, которые используются для выработки комплекса управляющих действий. В работе приведена концепция управления, основанная на синтезе, позволяющая осуществлять системную интеграцию процессов обеспечения безопасности с показателем безопасности электроснабжения региона. Новый подход основан на решении обратной задачи управления. Установлено, что основа управления процессом обеспечения безопасности регионального электроснабжения — решение человека. Результатом проведенного исследования является методика геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона.

*Ключевые слова:* геоинформационная система, безопасность, угроза нарушения электроснабжения, обратная задача управления, гололедно-ветровая ситуация.

*Благодарности:* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-го проекта № 20-38-90225.

*Для цитирования:* Бурлов В. Г., Полюхович М. А. Разработка методики геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 100—122. doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-100-122.

Original article

## **Development of a method for geoinformation management of the electric power supply safety in the region under the hydrometeorological factors destructive impact**

*Vyacheslav G. Burlov<sup>1</sup>, Maxim A. Polyukhovich<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University

<sup>2</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

*Summary.* The hydrometeorological factors destructive impact of on overhead electric power lines is one of the most significant problems in the field of sustainable development of human society. The breakdown of electric power supply to critical facilities leads to various undesirable consequences, in particular, accidents among personnel, under-production of products, etc. Therefore, the task of ensuring the electric power industry facilities safety in the conditions of hydrometeorological factors destructive impact arises. The geographic information system is a management tool that allows taking into account changes in hydrometeorological factors in real time and processing geographical spatial data, which necessarily includes information about the electric power industry objects and the meteorological conditions parameters, within the framework of the system for ensuring the region's electric power supply safety. Since the operator of the electric power system is a person, it is necessary to take into account the peculiarities of human thinking. Human activity is carried out on the basis of a decision. A person works with three categories: system, model and purpose (result). That is, it is necessary to have a decision model, which is a system-forming factor of the system for ensuring the region's electric power supply safety. But in order to achieve the goal of uninterrupted electric power supply, it is necessary to develop a method for geoinformation management of the region's electric power supply safety based on the use of a geographic information system, which allows, based on a human decision model, to form the interaction of components of the system for ensuring the region's electric power supply safety and obtain the required characteristics of the current situation in a certain territory. The results of the study are the determination of the parameters of the geoinformation management of the region's electric power supply safety and the elements of the method for geoinformation management of the region's electric power supply safety based on the use of a geographic information system, a block diagram of the application of the method for geoinformation management of the region's electric power supply safety. The developed method for geoinformation management of the region's electric power supply safety based on the use of a geographic information system allows us to consider two options for managing the process of ensuring safety: by solving the direct management problem, by solving the inverse management problem. The method proposed in the framework of this study has a number of advantages, including the ability to operate with average times of identification and neutralization of the electric power supply disruption threat and to set the necessary indicator that shows geoinformation management effectiveness.

*Keywords:* geographic information system, safety, electric power supply disruption threat, inverse management problem, icy-wind situation.

*Acknowledgments:* The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90225.

*For citation:* Burlov V. G., Polyukhovich M. A. Development of a method for geoinformation management of the electric power supply safety in the region under the hydrometeorological factors destructive impact. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(70):100—122. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-100-122.

## Введение

Передача электрической энергии от источника до конечного потребителя является сложным и непрерывным процессом. Одним из основных элементов системы электроснабжения региона являются воздушные линии электропередачи (ВЛЭП). Эти линии подвержены воздействию многочисленных факторов [1—3], в первую очередь, гидрометеорологических [4—5]. Эти факторы выявляются в виде пространственных географических данных [3, 6]. Для нейтрализации негативного воздействия гидрометеорологических факторов применяется геоинформационное управление. Под геоинформационным управлением (ГИУ) понимается деятельность по созданию условий реализации возможностей объекта управления на основе информационного обеспечения в виде целостной совокупности пространственных географических данных обстановки. Гидрометеорологические факторы оказывают деструктивное воздействие на ВЛЭП [7—8]. Образование гололедно-изморозевых отложений (ГИО) на проводах линий электропередачи является одной из наиболее частых причин нарушения электроснабжения региона, так как приводит к различным авариям. Это может быть обрыв ВЛЭП, падение опор из-за образования на проводе превышаемого по толщине ГИО и дополнительной ветровой нагрузки и т.д. Последствия таких аварий являются причинами массовых отключений целых районов на довольно длительные периоды времени [9—10]. В соответствии с этим создаются Штабы по обеспечению безопасности электроснабжения на основе Постановления Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 86 «О штабах по обеспечению безопасности электроснабжения». Срывы процесса электроснабжения наносят значительный ущерб как для промышленного производства, жизнедеятельности населения, так и для здоровья и жизни задействованного персонала из-за возможного выхода параметров технологического процесса за допустимые пределы [11—13]. Таким образом, возникают задачи идентификации наступления неблагоприятного события (возникновения угрозы нарушения регионального электроснабжения) и адекватного реагирования при сложившейся обстановке в целях обеспечения безопасности объекта управления. В Доктрине энергетической безопасности Российской Федерации (Указ Президента РФ от 13 мая 2019 г. № 216) под энергетической безопасностью понимается состояние защищенности экономики и населения страны от угроз национальной безопасности в сфере энергетики, при котором обеспечивается выполнение предусмотренных законодательством Российской Федерации требований к топливно- и энергоснабжению потребителей. Среди угроз энергетической безопасности отмечены неблагоприятные и опасные природные явления, изменения окружающей среды, приводящие к нарушению нормального функционирования и разрушению инфраструктуры и объектов топливно-энергетического комплекса. Таким образом, под безопасностью понимается свойство объекта (в данном случае ВЛЭП), которое характеризует способность объекта сохранять свое предназначение (электроснабжение потребителей региона) в процессе жизненного цикла в условиях деструктивных воздействий факторов различной природы происхождения (в рассматриваемом случае — гидрометеорологических).

В настоящее время проблема нарушения электроснабжения решается двумя путями:

1) повышение точности определения мест повреждения и сокращения временных и финансовых затрат на поиски места повреждения и организацию ремонтно-восстановительных работ [14—16];

2) осуществление мониторинга гололедообразования на проводах ВЛЭП для предупреждения возможных гололедных аварий [17—20].

Первый подход не обеспечивает в полной мере безопасность электроснабжения. Он позволяет уменьшить время перерыва (среднее время срыва целевого процесса) в передаче электроэнергии потребителям.

Второй подход направлен на мониторинг образования ГИО в режиме реального времени и оценки его нагрузки для определения приближения усилия на проводах к аварийной уставке с учетом температуры окружающей среды, скорости и направления ветра. Данный подход позволяет обеспечивать безопасность электроснабжения с определенным показателем, но он не гарантирует достижение цели деятельности (устойчивое и надежное электроснабжение потребителей в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов). Учитывая непостоянство характеристик погодных условий и необходимость наличия заранее подготовленных материальных и финансовых ресурсов, лица, принимающие решение (ЛПР), должны руководствоваться только тем, что дано в условиях текущей гололедно-ветровой ситуации (ГВС) с прогнозом на определенный период.

Для достижения цели деятельности ЛПР необходим инструмент управления, который позволял бы с заданными показателями реализовывать управляющие воздействия, направленные на предотвращение нарушения электроснабжения региона.

В контексте рассматриваемой проблемы у нас имеется два основных объекта в контуре управления: ВЛЭП и гидрометеорологические факторы, которые можно описать при помощи пространственных географических данных. Наиболее подходящим инструментом для обработки пространственных географических данных является ГИС [21—24]. Исследование пространственных географических данных на базе применения ГИС [25] позволяет установить зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от характеристик текущих условий обстановки на рассматриваемой территории. Такой подход позволяет заранее распланировать перечень требуемых мероприятий по предотвращению нарушения электроснабжения региона с учетом имеющихся в наличии ресурсов в целях достижения заранее определенного и согласованного показателя безопасности электроснабжения.

Назначение ГИС в системе обеспечения безопасности объекта – создать условия для формирования решений и повысить эффективность решений, которые должны приниматься на всех уровнях управления ЛПР. Такой подход к использованию ГИС предполагает анализ имитационных моделей объекта в текущих условиях окружающей среды [26—29] для предотвращения аварийных ситуаций (моделирование угроз, оценка уязвимости) и разработки предложений по устранению угроз, обеспечивая при этом снижение влияния человеческого фактора

[30—31]. Таким образом, появляется возможность ГИУ безопасностью электроснабжения региона.

Поэтому целями данного исследования являются выбор, обоснование и реализация условий обеспечения безопасности регионального электроснабжения при деструктивном воздействии гидрометеорологических факторов. Исходя из этого, задачей исследования является разработка методик ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС. Под методикой в работе понимается система правил, изложение методов выполнения какой-нибудь работы [32].

### Методика исследования

Так как основой любой деятельности является решение человека [33—34], то решение такой задачи, как обеспечение безопасности электроснабжения региона, зачастую сталкивается со следующими проблемами: полученные результаты управляющих воздействий не соответствуют ожидаемым [35]. Данная ситуация возникает по причине наличия противоречивых выводов, исключить которые можно применением формального аксиоматического метода (ФАМ) [36]. ФАМ в обязательном порядке должен включать:

- 1) основные допущения и предположения;
- 2) базовые понятия, ключевые слова, аксиомы.

Необходимо отметить, что в процессе деятельности участвуют [34]:

- 1) человек, его сознание;
- 2) окружающий мир (объект);
- 3) нечто, что дано природой и позволяет осуществлять познание (всеобщая связь).

Для формирования условий, гарантирующих достижение цели деятельности, используется естественно-научный подход (ЕНП) к управлению безопасностью электроснабжения региона. ЕНП определяется интеграцией свойств мышления человека, окружающего мира и познания [35—36]. ЕНП широко применяется для решения обширного спектра задач различной направленности и тематики научно-педагогической школой «Системная интеграция процессов государственного управления» [37].

Трехкомпонентность ЕНП представляется в виде трех основополагающих принципов [34]:

1. Принцип трехкомпонентности познания, включающий следующие компоненты:

— абстрактное представление (компонент А), заключающийся в формировании условия существования процесса, обеспечивающего безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС, представляет собой методологический уровень научного познания;

— абстрактно-конкретное представление (компонент Б), заключающийся в формировании причинно-следственных связей, обеспечивающих безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС, представляет собой методический уровень научного познания;

— конкретное представление (компонент В), заключающийся в формировании алгоритмов реализации процесса, обеспечивающего безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС, представляет собой технологический уровень научного познания.

2. Принцип целостности Мира, выражающийся в виде закона сохранения целостности объекта (ЗСЦО). ЗСЦО — устойчивая, объективная, повторяющаяся связь свойств объекта и действия при фиксированном предназначении [34]. ЗСЦО проявляется во взаимной трансформации свойств объекта и свойств его действия при фиксированном предназначении.

3. Принцип познаваемости Мира, основанный на применении методов научного познания: декомпозиция, абстрагирование, агрегирование.

Содержание первого принципа заключается в том, что человек как ЛПР реализует выбор упорядоченных системообразующим фактором (СОФ) альтернатив путем представления существующей обстановки на уровнях согласно компонентам А, Б, В [34]:

1) абстрактный уровень (формируется условие существования процесса, обеспечивающего безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС);

2) абстрактно-конкретный уровень (формируются причинно-следственные связи, обеспечивающие безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС);

3) конкретный уровень (формируются условия реализации причинно-следственных связей процесса, обеспечивающего безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС).

В соответствии с разработанным ЕНП [35—36] каждый процесс должен быть представлен тремя компонентами, соответствующими свойствам «Объективность», «Целостность» и «Изменчивость». Эти три компонента располагаются по горизонтали. Они могут интерпретироваться в трех различных уровнях (методологический, методический, технологический) [34]. Такой подход определяет наличие трех уровней по вертикали. На рис. 1 представлена структурная схема развертывания содержания понятия «Решение».

Модель решения человека должна быть адекватна предметной области. Известно нескольких подходов оценивания адекватности модели [38]:

- сравнение с эталоном;
- проверка на практике.

Для сложных систем, к которым относится электроэнергетическая отрасль, целесообразно использовать подход, основанный на «полноте учета основных закономерностей предметной области» [38]. Реализовать данный подход позволяет применение ЗСЦО [33—34].

В статье принято, что решение есть условие реализации предназначения объекта [38] электроэнергетической отрасли (электроснабжение региона посредством ВЛЭП) при деструктивном воздействии гидрометеорологических факторов на базе применения ГИС в интересах достижения цели (безопасность электроснабжения региона).

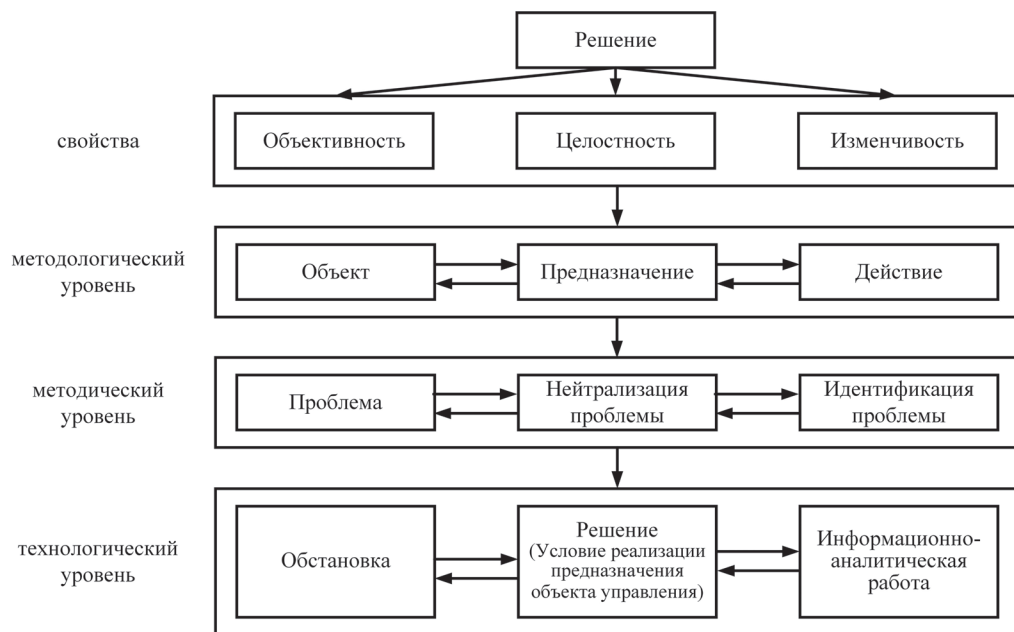


Рис. 1. Структурная схема разворачивания содержания категории «Решение» как процесса.

Fig. 1. Block diagram of the expansion of the content of the «Decision» category as a process.

Обстановка — факторы и условия, в которых осуществляется деятельность. Факторы и условия характеризует совокупность пространственных географических данных. Это гидрометеорологические факторы на определенный период времени (относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра, температура окружающего воздуха и т.д.). Также эти факторы и условия характеризуют технико-технологические данные, которые включают характеристики об объектах системы электроснабжения (расположение и протяженность ВЛЭП, наличие и состав аварийного резерва, состав мобильных бригад), о штатной нагрузке, повышенной нагрузке, с учетом которых осуществляется деятельность по обеспечению безопасности электроснабжения региона на базе применения ГИС.

Информационно-аналитическая работа — непрерывное добывание, сбор, изучение, отображение и анализ данных об обстановке.

Чтобы определить условия существования процесса ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС, необходимо учитывать три фактора [33, 36]:

— характеристики внешнего мира, выраженные в устойчивой связи трех компонентов процесса, соответствующих свойствам «Объективность», «Целостность» и «Изменчивость» (или понятиям «Объект», «Предназначение» и «Действие» соответственно);



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

— особенности деятельности человека, при которой человек использует три основных метода решения практических задач: декомпозиция, абстрагирование и агрегирование [38].

На 1-ом уровне применяется метод декомпозиции [33, 38] — решение расчленяется при сохранении связей на три элемента: «Обстановка», «Решение» и «Информационно-аналитическая работа», которые характеризуют условия деятельности.

На 2-ом уровне применяется метод абстрагирования [33, 38]. Человек воспринимает факты, соотношенные во времени [35—36], поэтому целесообразно «Объект» («Обстановка») характеризовать средним временем проявления угрозы нарушения электроснабжения региона —  $\Delta t_{\text{ПУ}}$ . «Предназначение» («Решение») отождествлять со средним временем нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона (предотвращение нарушения электроснабжения региона) человеком —  $\Delta t_{\text{ИУ}}$ . «Действие» («Информационно-аналитическая работа») отождествлять со средним временем идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона (средним временем адекватного сложившейся обстановке распознавания ситуации) —  $\Delta t_{\text{ИУ}}$ .

В работе предполагается, что эти промежутки времени являются случайными величинами [34]. В данном исследовании, кроме процессов обеспечения безопасности, также рассматривается целевой процесс — снабжение потребителей электрической энергией. Целевой процесс характеризуется средним временем реализации целевого процесса —  $T_{\text{Э}}$ . Проявление базовых компонентов формирования модели решения можно описать следующей диаграммой (рис. 2).

Базируясь на трех базовых элементах: «Обстановка», «Информационно-аналитическая работа» и «Решение (Условие реализации предназначения объекта управления)», можно осуществить синтез модели решения. На рис. 3 представлена структурная схема интерпретации процесса синтеза математической модели решения.

В результате применения методов декомпозиции, абстрагирования и агрегирования понятие «решение» преобразуется в агрегат — математическую модель следующего вида (с учетом целевого процесса):

$$P = f(T_{\text{Э}}, \Delta t_{\text{ПУ}}, \Delta t_{\text{ИУ}}, \Delta t_{\text{ИУ}}). \quad (1)$$

Это есть условие существования процесса [33, 38] ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС.

### **Переменные ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС**

Система обеспечения безопасности электроснабжения региона (СОБЭР) включает три составляющие в контуре управления: ситуационно-аналитический центр Минэнерго России, региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения (создан на основе Постановления Правительства РФ от 16 февраля



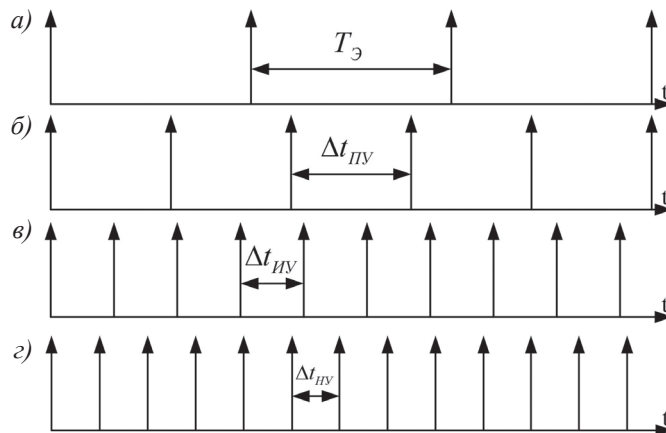


Рис. 2. Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения:  
 а) среднее время реализации целевого процесса; б) среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона; в) среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона; з) среднее время нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона (предотвращение нарушения электроснабжения региона).

Fig. 2. Diagram of the manifestation of the basic elements of the decision model formation:  
 а) the average implementation time of the target process; б) the average time of the manifestation of the electric power supply disruption threat in the region; в) the average time of the identification of the threat of electric power supply disruption in the region; з) the average time of the neutralization of the threat of electric power supply disruption in the region (prevention of electric power supply disruption in the region).

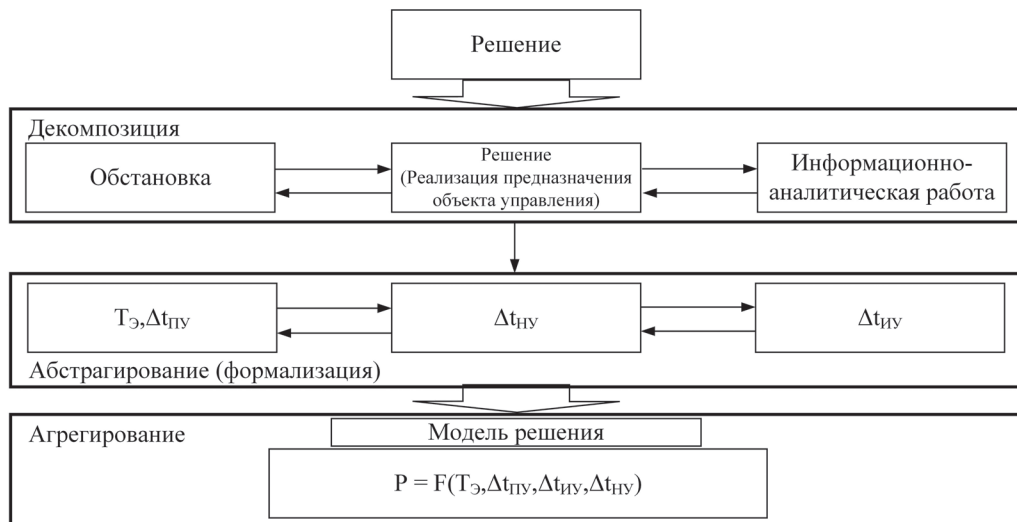


Рис. 3. Структурная схема интерпретации процесса синтеза математической модели решения.

Fig. 3. Block diagram of the interpretation of the synthesis process of the decision mathematical model.

2008 г. № 86 «О штабах по обеспечению безопасности электроснабжения») и электросетевая организация. В функции ситуационно-аналитического центра Минэнерго России входит информационное и аналитическое сопровождение функционирования объектов электроэнергетики в целях обеспечения их безопасности и эффективности. Региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения региона является органом, принимающим решение по предотвращению нарушения электроснабжения потребителей путем задействования необходимых ресурсов. Электросетевая организация, непосредственно осуществляющая электроснабжение потребителей, использует имеющиеся ресурсы и предпринимает согласованные с региональным штабом действия. Задачей СОБЭР является обеспечение непрерывного и качественного электроснабжения. Очевидно, что гарантировать абсолютную безопасность объекта невозможно, так как для этого требуются колоссальные ресурсы, затраты на реализацию которых будет превышать реальную выгоду от их применения, поэтому целесообразно ввести в контур управления срыв целевого процесса (так называемое «право на ошибку» [38]), подразумевая под этим неподготовленность к решению поставленной задачи.

В [33] был приведен граф состояний процесса формирования решения, на основе которого функционирует СОБЭР. На основе полученного графа разрабатывается методика ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов. Наибольший интерес в рамках данного исследования представляет собой состояние процесса формирования решения, в условиях которого ЛПР способен своевременно определить ход развития угрозы нарушения регионального электроснабжения и на основе информационно-аналитической работы на базе применения ГИС определить план действий в условиях ограничений на квалификацию и опыт персонала, материальные и финансовые ресурсы. Вероятность нахождения СОБЭР в этом состоянии равна [33, 38]:

$$P_2 = \frac{v_1 v_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^+ v_1 v_1^-}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)}, \quad (2)$$

где  $\zeta^+ = \frac{1}{T_3}$  — обратная величина среднему времени выполнения целевой задачи (электроснабжение региона),  $T_3 = f_1(k_0, k_1, \dots, k_n)$  — среднее время штатной эксплуатации объекта электроэнергетической системы;

$\lambda = \frac{1}{\Delta t_{\text{ПВ}}}$  — обратная величина среднему времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона,  $\Delta t_{\text{ПВ}} = f_2(x_0, x_1, \dots, x_a)$  — среднее время проявления угрозы нарушения безопасности электроснабжения региона;

$v_1 = \frac{1}{\Delta t_{\text{ИУ}}}$  — обратная величина среднему времени идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона,  $\Delta t_{\text{ИУ}} = f_3(y_0, y_1, \dots, y_b)$  — среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона;

$v_2 = \frac{1}{\Delta t_{\text{HY}}}$  — обратная величина среднему времени предотвращения нарушения

электроснабжения региона,  $\Delta t_{\text{HY}} = f_4(z_0, z_1, \dots, z_c)$  — среднее время предотвращения нарушения электроснабжения региона;

$\zeta^- = \frac{1}{T_{\text{CP}}}$  — частота срыва целевого процесса (электроснабжение региона),

где  $T_{\text{CP}}$  — среднее время появления факта срыва целевого процесса;

$v_1^- = \frac{N_{\text{ИУ}}^{\text{CP}}}{N_{\text{ИУ}}}$  — частота срыва идентификации угрозы нарушения регионального электроснабжения, где  $N_{\text{ИУ}}^{\text{CP}}$  — количество срывов процессов идентификации угрозы,  $N_{\text{ИУ}}$  — общее количество процессов идентификации угрозы;

$v_2^- = \frac{N_{\text{НУ}}^{\text{CP}}}{N_{\text{НУ}}}$  — частота срыва нейтрализации угрозы (предотвращения нарушения электроснабжения региона), где  $N_{\text{НУ}}^{\text{CP}}$  — количество срывов процессов нейтрализации угрозы,  $N_{\text{НУ}}$  — общее количество процессов нейтрализации угрозы.

Значение переменной  $\zeta^+$  зависит от требований, предъявляемых к системе электроснабжения потребителей региона.

Переменная  $\zeta^-$  представляет собой «право на ошибку», допустимый риск [38]. Важно понимать, что данный «риск» не реализуется, объект управления выполняет свое предназначение с требуемым показателем безопасности. Смысл категории «риска» обсуждается из тех соображений, что угроза нарушения электроснабжения региона не будет реализована и ищутся пути устранения угрозы.

Значения переменных  $\lambda$  и  $v_1$  являются результатом обработки пространственных географических данных, полученных при помощи ГИС, и технико-технологических данных. При этом  $\lambda$  зависит от гидрометеорологических условий на рассматриваемой территории в конкретный промежуток времени, в то время как  $v_1$  фактически формируется органами управления СОБЭР для достижения необходимого показателя безопасности электроснабжения [33]. Переменные  $v_2$ ,  $v_1^-$  и  $v_2^-$  являются характеристиками системы управления объектом, так как полностью зависят от ЛПР и электротехнического персонала. Характеристики  $v_1^-$  и  $v_2^-$  формируются исходя из опыта и квалификации персонала, задействованного при управлении процессом передачи электроэнергетики.

### Элементы методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС

Наиболее подходящим для целей обеспечения безопасности объекта является подход на основе синтеза [38—39], главное достоинство которого заключается в возможности изначально заложить требуемый показатель эффективности реализации решений по обеспечению безопасности электроснабжения региона, что в условиях неопределенности позволит достигать требуемой цели деятельности [40].

Участники системы обеспечения безопасности электроснабжения региона				
Система электроснабжения	Сетевой график целевого процесса (электроснабжение региона)			$\zeta^+$   $\zeta^-$
Геоинформационная система	Сетевой график проявления угрозы нарушения электроснабжения региона			$\lambda$
	Сетевой график идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона			$\nu_1$
Система оперативно-диспетчерского управления	Сетевой график нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона			$\nu_2$
	Прямая задача		Обратная задача	
	Входные данные	Выходные данные	Входные данные	Выходные данные
	$P_2 = f(\zeta^+, \zeta^-, \lambda, \nu_1, \nu_2, \nu_1^-, \nu_2^-)$		$P_2$	$P_2 = f(\zeta^+, \zeta^-, \lambda, \nu_1, \nu_2, \nu_1^-, \nu_2^-) \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix} \rightarrow P_2$
База данных	Декларативное знание (требования стандартов, технологические показатели, руководящие документы, математические зависимости и т.д.).			$\nu_1^-, \nu_2^-$
	Знание технологического процесса (программа поиска неисправностей, аналитический метод, расчеты и т.д.).			
	Стратегическое знание (надежность элементов, пространство возможных решений, суррогатная модель и т.д.).			

Рис. 4. Элементы методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС.

Fig. 4. Elements of the method for geoinformation management of the electric power supply safety in the region based on the use of GIS.

В ходе предыдущего исследования [33] был осуществлен синтез СОБЭР на основе СОФ-модели решения человека. СОБЭР включает три участника, выполняющих роль ЛПР: электросетевая организация, ситуационно-аналитический центр Минэнерго России, региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения, каждый из которых дает возможность получить характеристики процессов ГИУ безопасностью электроснабжения региона, позволяющие определить показатель эффективности реализации решений по обеспечению безопасности электроснабжения региона или, наоборот, достичь значения заранее установленного показателя на основе решения обратной задачи управления.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, установлено, что составляющими элементами методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов являются (рис. 4):

— участники СОБЭР (региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения, ситуационно-аналитический центр Минэнерго России, электросетевая организация);

— система электроснабжения (формирует требования к процессу электроснабжения в зависимости от категории потребителя);

— ГИС (позволяет определять среднее время проявления угрозы нарушения регионального электроснабжения и среднее время идентификации угрозы нарушения такого электроснабжения на основе обработки пространственных географических данных и технико-технологических данных);

— система оперативно-диспетчерского управления (определяет среднее время предотвращения нарушения регионального электроснабжения);

— база данных, в которой содержатся сведения о квалификации и стаже персонала [41], задействованного при решении задачи обеспечения безопасности электроснабжения, требованиях нормативной правовой документации в области электроэнергетики, а также сведения о надежности элементов системы электроснабжения и их характеристиках.

Применение ГИС обусловлено необходимостью получения пространственных географических данных, характеризующих обстановку на рассматриваемой территории.

Для получения требуемой выходной информации массив технико-технологических данных, формируемый электросетевой организацией, должен включать следующую информацию:

- радиус и плотность материала провода участка ВЛЭП, его протяженность;
- температура провода участка ВЛЭП, фиксируемая при помощи датчиков;
- вид и материал опоры участка ВЛЭП;
- категория потребителей;
- состав аварийного резерва;
- состав мобильной бригады.

В массиве данных о гидрометеорологической обстановке наибольший интерес представляют следующие сведения:

- температура окружающего воздуха;
- скорость ветра;
- направление ветра;
- влажность воздуха;
- атмосферное давление;
- количество осадков.

Человек работает с четырьмя процессами:

— целевой процесс (электроснабжение региона), характеристики которого зависят от категории потребителей;

— процесс проявления угрозы нарушения электроснабжения региона, характеристики которого зависят от параметров участка ВЛЭП и метеорологических условий сложившейся ГВС;

— процесс идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона, характеристики которого зависят от квалификации и опыта персонала;

— процесс предотвращения нарушения электроснабжения региона, характеристики которого зависят от состава аварийного резерва и состава мобильной бригады.

В [33] осуществлена системная интеграция данных процессов с показателем безопасности электроснабжения ( $P_2$ ).

Реализация методики ГИУ осуществляется следующим образом. Гидромет-центр России предоставляет прогноз, что в ближайшие дни ожидаются метеорологические условия, благоприятствующие образованию ГИО на проводах ВЛЭП. Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России идентифицирует угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона на определенном участке ВЛЭП на базе применения ГИС и передает информацию в региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения, который, в свою очередь, вырабатывает комплекс требуемых мероприятий по бесперебойному электроснабжению, используя пространственные географические данные ГИС и технико-технологические данные о местоположении аварийного резерва и составе мобильных бригад и учитывая допустимую частоту срыва целевого процесса. Электросетевая организация получает от регионального штаба указания по выполнению комплекса мероприятий по предотвращению нарушения электроснабжения региона. При этом мероприятия могут быть начаты до или во время начала образования ГИО, что зависит от установленного показателя безопасности электроснабжения региона  $P_2$  или от применяемого резерва.

Использование пространственных географических данных и технико-технологических данных как основы информационного обеспечения ГИУ в целях обеспечения безопасности электроснабжения позволяет решать обратную задачу управления. При прямой задаче управления ЛПП не изменяет параметры СОБЭР и получает тот показатель безопасности электроснабжения, который обусловлен сложившейся ГВС. Но при своевременной идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона ЛПП в состоянии достичь требуемого показателя, контролируя состав и перечень ресурсов и подбирая персонал с соответствующими квалификацией и опытом.

Региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения отвечает за анализ системных требований и уточнение траектории функционирования объекта. Назначение роли регионального штаба фокусируется на декомпозиции окружающей среды и определении необходимых действий по предотвращению срыва процесса электроснабжения. На протяжении цикла итераций процесса мониторинга факторов окружающей среды обратная связь от последующих процессов будет влиять на уточнение региональным штабом дальнейших действий с целью формирования решения. Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России отвечает за разработку и формулирование соответствующих моделей воздействия гидрометеорологических факторов на ВЛЭП, в конечном итоге используя знания предметной области, чтобы судить о приемлемости результатов идентификации угрозы для предоставления достаточных рекомендаций по формированию решений. Создание и реализация шаблонов событий и процессов формирования решений является основным направлением работы ситуационно-аналитического центра Минэнерго России. Электросетевая организация несет ответственность за подготовку и реализацию задач для конкретного процесса формирования решения и за определение окончательных технологических параметров посредством



идентифицированных превентивных действий при тщательном исследовании процесса функционирования ВЛЭП. Информационная поддержка знаний о возможности повторного использования шаблонов эффективных решений позволяет электросетевой организации сосредоточить свои усилия на создании и улучшении текущих процессов предотвращения нарушения электроснабжения региона для конкретных подходов к устранению проблем.

### **Блок-схема применения методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС в условиях воздействия гидрометеорологических факторов**

Впервые разработанная методика ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС позволяет рассматривать два варианта управления процессом обеспечения безопасности [42]:

— решение прямой задачи (задача анализа), которая состоит в оценке результата функционирования системы при заданных ее свойствах и условиях применения. При этом вычисляются и анализируются показатели эффективности. В итоге осуществляется перебор вариантов решения, которые не позволяют достигать цели деятельности;

— решение обратной задачи (задача синтеза), которая связана с определением свойств, характеристик и условий использования системы, при которых эффективность системы будет оптимальной (требуемой или максимальной) в смысле выбранного критерия.

При решении прямой задачи путем подстановки переменных в уравнение (2) определяется показатель безопасности электроснабжения. Затем проводится сравнение полученного показателя с заранее определенным допустимым показателем. Если выявляется несоответствие (показатель безопасности электроснабжения ниже допустимого), то решается обратная задача (путем подстановки в уравнение (2) необходимых значений определяется, какое значение должно иметь  $v_1$ , либо  $v_2$ , либо  $v_1^-$ , либо  $v_2^-$ ). Блок-схема применения методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС в условиях воздействия гидрометеорологических факторов представлена на рис. 5.

Для получения переменных модели решения авторами рекомендуется использовать сетевое моделирование. Согласно блок-схеме, первым этапом обеспечения безопасности регионального электроснабжения является определение сетевого графика целевого процесса (электроснабжение потребителей) электросетевой организацией с учетом поставленных Минэнерго России требований для получения среднего времени передачи электроэнергии. Среднее время появления факта срыва процесса регионального электроснабжения принимается с учетом сведений о неподготовленности к решению задачи. Следующий этап заключается в обработке пространственных географических данных ГИС, на основе которых строятся сетевой график процесса проявления угрозы электросетевой организацией с учетом технико-технологических данных и сетевой график процесса идентификации угрозы ситуационно-аналитическим центром Минэнерго России

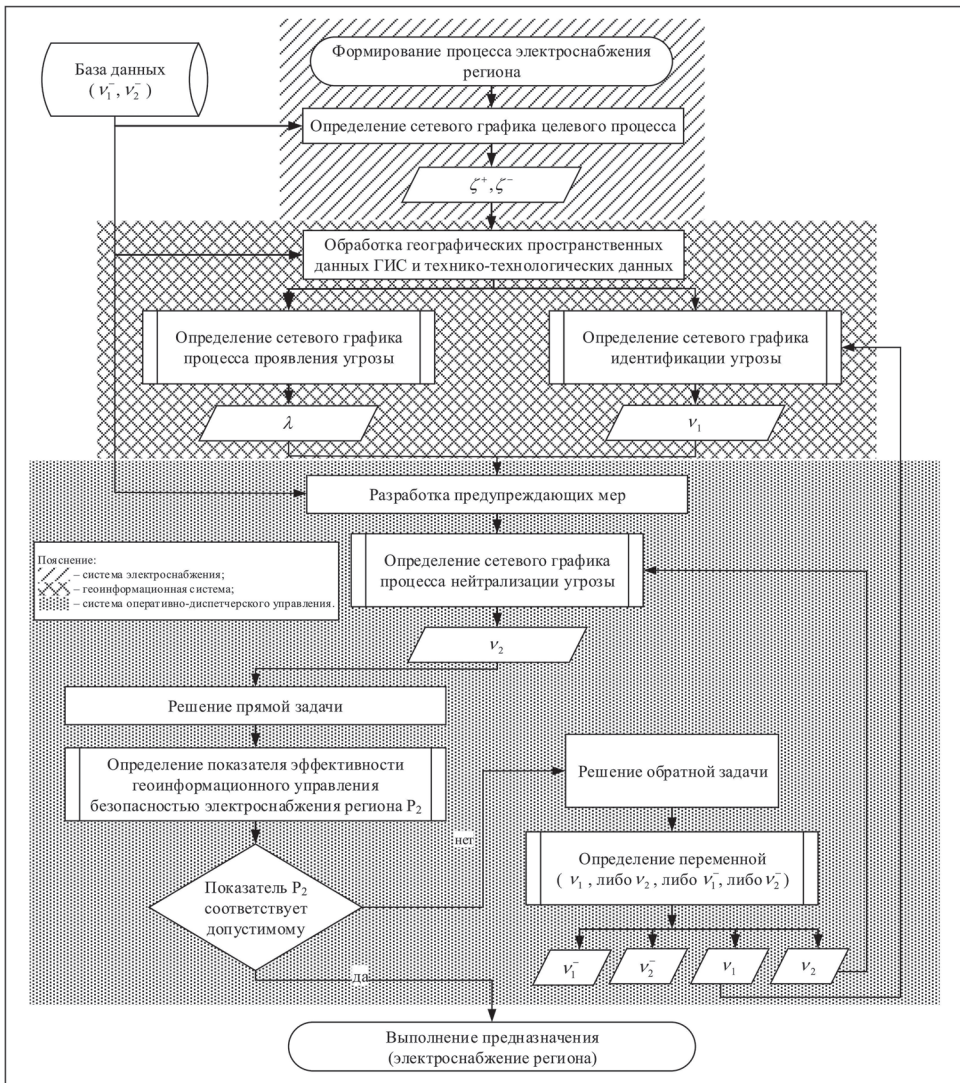


Рис. 5. Блок-схема применения методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов.

Fig. 5. Block diagram of the application of the method for geoinformation management of the region's electric power supply safety in the conditions of the hydrometeorological factors destructive impact.

на базе использования ГИС, затем определяются среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона и среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения соответственно. Следующий этап заключается

в разработке предупреждающих мер: строится сетевой график процесса нейтрализации угрозы региональным штабом по обеспечению безопасности электроснабжения на базе использования пространственных географических данных ГИС и технико-технологических данных с целью определения среднего времени предотвращения нарушения регионального электроснабжения. Затем решается прямая задача (подставляются ранее полученные переменные  $\zeta^+$ ,  $\zeta^-$ ,  $\lambda$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_1^-$ ,  $v_2^-$ ) и определяется показатель  $P_2$ . В случае, если показатель  $P_2$  не соответствует требуемому значению, то решается обратная задача, при которой для получения конкретного показателя  $P_2$  определяется необходимый параметр  $v_1$  (либо  $v_2$ , либо  $v_1^-$ , либо  $v_2^-$ ). В результате выполненных действий при соответствии показателя безопасности электроснабжения  $P_2$  требуемому значению можно говорить о выполнении объектом управления (ВЛЭП) своего предназначения (электроснабжение региона) в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов.

### Заключение

Назначение ГИС в ГИУ безопасностью электроснабжения региона — создание условий для гарантированного достижения цели деятельности.

В ходе проведенного исследования была осуществлена системная интеграция процессов обеспечения безопасности (процесс проявления угрозы нарушения регионального электроснабжения, процесс идентификации угрозы и процесс нейтрализации угрозы такого нарушения) с показателем безопасности электроснабжения региона. Были достигнуты все поставленные цели: определены переменные ГИУ безопасностью электроснабжения региона ( $\zeta^+$ ,  $\zeta^-$ ,  $\lambda$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_1^-$ ,  $v_2^-$ ), элементы методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС, впервые разработана блок-схема применения методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов на основе СОФ-модели решения человека. Предложенный подход позволяет рассматривать два варианта управления процессом обеспечения безопасности: путем решения прямой задачи управления, путем решения обратной задачи управления.

Разработанный подход предполагает установление показателя безопасности электроснабжения региона заранее в зависимости от требований и наличия ресурсов системы электроснабжения.

В научных исследованиях, посвященных проблематике обеспечения безопасности электроснабжения, рассматривается только подход на основе анализа [43—44], что не гарантирует достижение цели деятельности. В данном исследовании предложена методика, в основе которой положена модель решения человека, разработанная путем применения подхода на основе синтеза, что, в отличие от подхода на основе анализа, позволяет достигать цели деятельности в условиях неопределенности факторов окружающей среды. Кроме того, в работе осуществлена системная интеграция процессов обеспечения безопасности, что позволяет учитывать все аспекты деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов на ВЛЭП.

В предыдущем исследовании [34] не учитывался целевой процесс. В настоящем исследовании получена модель решения человека, одним из компонентов которой является среднее время реализации целевого процесса. Рассмотрена возможность учета срыва целевого процесса. В дальнейшем актуальной является задача разработки требуемого информационного обеспечения ГИУ безопасностью электроснабжения региона, базой данных которого должна являться совокупность пространственных географических данных и технико-технологических данных.

### Список литературы

1. Мурзакулов Н. А., Жетибаев Н. Факторы, приводящие к повреждениям воздушных линий электропередачи // Известия Ошского технологического университета. 2021. № 1. С. 128—131.
2. Айдарова А. Р. Модельное представление потерь от короны в высоковольтных воздушных линиях электропередачи в условиях высокогорья // Проблемы автоматики и управления. 2019. № 2 (37). С. 140—146. doi: 10.5281/zenodo.3594814.
3. Гашо Е. Г., Гужов С. В., Кролин А. А. Оценка последствий изменения климата на безопасность и надежность функционирования электроэнергетического комплекса г. Москвы // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11, № 3. С. 208—216. doi: 10.24223/1999-5555-2018-11-3-208-216.
4. Кабашов В. Ю., Андрианова Л. П., Хайрисламов Д. С. Причины аварийных отключений сельских воздушных линий электропередачи напряжением 10 (6) кВ // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 48-7. С. 40—44. doi: 10.18411/lj-03-2019-148.
5. Бигун А. Я., Гиршин С. С., Горюнов В. Н. и др. Оценка влияния ветра на нагрев изолированного провода воздушных линий электропередачи // Динамика систем, механизмов и машин. 2020. Т. 8, № 3. С. 23—30. doi: 10.25206/2310-9793-8-3-23-30.
6. Колбанёв М. О., Палкин И. И., Пойманова Е. Д., Татарникова Т. М. Пути создания зеленых информационных технологий // Гидрометеорология и Экология. 2021. № 62. С. 127—138. doi: 10.33933/2074-2762-2021-62-127-138.
7. Клименко В. В., Кондрашева О. Е., Терешин А. Г. и др. Изменение ветрового режима на территории России и аварийность воздушных линий электропередач // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. Т. 497, № 1. С. 57—64. doi: 10.31857/S2686740021020048.
8. Гимадиев Р. Ш. Динамика деформирования провода электропередачи // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2019. № 4. С. 63—75. doi: 10.1134/S0572329919040044.
9. Наумов И. В., Карпова Е. В. Анализ причин повреждаемости распределительных электрических сетей 10 кВ (на примере южных электрических сетей города Иркутска) // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11, № 4. С. 299—304. doi: 10.24223/1999-5555-2018-11-4-299-304.
10. Зизаева Р. Р., Ужанов А. Е. Коммуникационная технология управления кризисом в условиях массового нарушения электроснабжения в период «Ледяных дождей» // Надежность и безопасность энергетики. 2020. Т. 13, № 3. С. 197—206. doi: 10.24223/1999-5555-2020-13-3-197-206.
11. Даффи Р. Б. Прогнозирование надежности энергетической системы и продолжительности сбоев, включая нештатные ситуации // Надежность. 2020. Т. 20, № 3. С. 3—14. doi: 10.21683/1729-2646-2020-20-3-3-14.
12. Будникова И. К., Приймак Е. В., Заманов Р. И. Использование автоматических систем управления для минимизации последствий аварийных ситуаций в нефтедобывающей отрасли // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25, № 5. С. 89—93. doi: 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_5\_89.
13. Щербатов И. А. Формализация неопределенности внешней среды при эксплуатации энергетического оборудования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20, № 7. С. 405—411. doi: 10.17587/mau.20.405-411.
14. Горбунов И. Н., Захаренко С. Г., Захаров С. А., Малахова Т. Ф. Применение нейронных сетей в целях определения места повреждения воздушных и кабельных линий электропередачи // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 4 (144). С. 48—55. doi: 10.26730/1816-4528-2019-4-48-55.
15. Сидоров С. В., Сушков В. В., Сухачев И. С. Особенности моделирования определения мест повреждения воздушных линий электропередачи напряжением 6(10) кВ // Промышленная энергетика. 2020. № 3. С. 33—40. doi: 10.34831/EP.2020.92.72.003.



16. Куликов А. Л., Лоскутов А. А., Пелевин П. С. Алгоритм идентификации поврежденного участка на кабельно-воздушных линиях электропередачи на основе распознавания волновых портретов // *Электричество*. 2018. № 3. С. 11—17. doi: 10.24160/0013-5380-2018-3-11-17.
17. Пантелеев В. И., Малеев А. В. Система мониторинга интенсивности гололедообразования на проводах воздушной линии электропередачи // *Омский научный вестник*. 2020. № 6 (174). С. 74—80. doi: 10.25206/1813-8225-2020-174-74-80.
18. Тимофеев Г. В., Потапчук Н. К. Современные методы контроля ледообразования на проводах воздушной линии электропередач // *Вести научных достижений. Естественные и технические науки*. 2020. № 3. С. 125—128. doi: 10.36616/2687-1335-2020-3-125-128.
19. Пантелеев В. И., Малеев А. В. Определение стрелы провеса проводов воздушных линий электропередачи в устройстве мониторинга гололедообразования по результатам физического моделирования // *Южно-Сибирский научный вестник*. 2021. № 2 (36). С. 139—143. doi: 10.25699/SSSB.2021.36.2.009.
20. Садыков М. Ф., Ярославский Д. А., Горячев М. П. и др. Анализ современных методов оценки состояния воздушных линий электропередачи по механическим параметрам проводов (обзор) // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2021. Т. 85, № 11. С. 1600—1606. doi: 10.31857/S0367676521110326.
21. Запевалов В. Н. Использование геоинформационных систем и технологий в управлении земельными ресурсами Тюменской области // *Московский экономический журнал*. 2021. № 4. С. 67—80. doi: 10.24411/2413-046X-2021-10255.
22. Малюгин Д. В., Петров Ю. В. Результаты многолетнего экомониторинга подземных вод на территории Тюменской агломерации // *Географическая среда и живые системы*. 2021. № 2. С. 15—29. doi: 10.18384/2712-7621-2021-2-15-29.
23. Ивлиева Н. Г., Манухов В. Ф., Борискин А. С., Ерофеева И. В. Опыт создания базы данных в ГИС-среде // *Геодезия и картография*. 2020. Т. 81, № 12. С. 43—49. doi: 10.22389/0016-7126-2020-966-12-43-49.
24. Гордеева С. М., Малинин В. Н. Использование Data Mining в задаче гидрометеорологического прогнозирования // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2016. № 44. С. 30—44.
25. Гарсия Эскалона Х. А., Истомин Е. П., Колбина О. Н. Перспективы развития инфраструктуры пространственных данных с использованием современных технологий // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2018. № 50. С. 130—136.
26. Malinin V. N., Gordeeva S. M. Variability of evaporation and precipitation over the ocean from satellite data // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2017. Т. 53, № 9. С. 934—944. doi: 10.1134/S0001433817090195.
27. Авдеева М. О., Узун О. Л., Доронин А. С., Гаврилова М. В. Применение метода имитационного моделирования для оценки оснащенности лесопожарных формирований силами пожаротушения // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2022. Т. 11, № 2 (58). С. 196—201. doi: 10.46548/21vek-2022-1158-0034.
28. Shilin M., Baikov E., Sikarev I. et al. Natural risks management digitalization for arctic seaports while climate change // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Т. 246. С. 727—734. doi: 10.1007/978-3-030-81619-3\_81.
29. Вагизов М. Р., Истомин Е. П. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 2) // *Геоинформатика*. 2022. № 1. С. 40—46. doi: 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46.
30. Шилин М. Б., Сычев В. И., Михеев В. Л. и др. Результаты исследований техносферы Невской губы в РГГМУ // *Гидрометеорология и экология*. 2020. № 60. С. 351—370. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-351-370.
31. Бескид П. П., Богданов П. Ю., Миклуш В. А. и др. Результаты исследований в области дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности, проводимых в РГГМУ // *Гидрометеорология и Экология*. 2020. № 60. С. 371—391. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-371-391.
32. Ушаков Д. Н. Большой толковый словарь русского языка. М: Дом Славянской кн., 2008. 959 с.

33. Бурлов В. Г., Полюхович М. А. Синтез системы обеспечения безопасности электроснабжения региона // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 3 (59). С. 32—38. doi: 10.46548/21vek-2022-1159-0005.
34. Бурлов В. Г., Попов Н. Н., Гарсия Эскалона Х. А. Управление процессом применения космической геоинформационной системы в интересах обеспечения экологической безопасности региона // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 50. С. 118—129.
35. Бурлов В. Г., Кириенко А. В., Остриков В. Н., Плахотников О. В. Оценка качества построения геоинформационной системы автоматизированного поиска техногенного мусора по видеоданным воздушной съемки // Гидрометеорология и экология. 2021. № 63. С. 311—328. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-311-328.
36. Бурлов В. Г., Миронов А. Ю., Миронова А. Ю. Применение геоинформационной системы в профилактике, выявлении и доказывании административных правонарушений // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2019. № 57. С. 126—146. doi: 10.33933/2074-2762-2019-57-126-146.
37. Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга. URL: <http://is.ifmo.ru/aboutus/2013/science-schools.pdf>.
38. Burlov V. G. Mathematical models for solving the problems of information warfare // Proceedings of the 16th International Conference on Cyber Warfare and Security ICCWS 2021. 25-26 February 2021. A virtual conference hosted by Tennessee Tech University and the Oak Ridge National Laboratory USA. 2021. С. 37—47.
39. Burlov V. G., Volkov V. F. Method of consecutive expert estimates in control problems for the development of large-scale potentially dangerous systems // Engineering Simulation. 1994. Т. 12, № 1. С. 110—115.
40. Бурлов В. Г., Магулян Г. Г., Матвеев А. В. Общий подход к моделированию систем обеспечения безопасности // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 5 (133). С. 73—76.
41. Бурлов В. Г., Грачев М. И., Примакин А. И. Многоуровневый подход в подготовке и переподготовке кадров в сфере безопасности информационных технологий // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник научных трудов. Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. 2017. С. 185—189.
42. Кондратьева Н. В. Оптимизация ресурсных испытаний вспомогательных ГТД на основе имитационного моделирования: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа, 2003.
43. Папков Б. В. Основа безопасности государства — электроэнергетика // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4 (27). С. 4.
44. Папков Б. В. Требования потребителей к уровню энергетической безопасности и надежности // Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы. Материалы II Международной научно-практической конференции. 2014. С. 328—335.

### References

1. Murzakulov N. A., Zhetibaev N. Factors leading to damage to overhead power lines. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta = News of Osh Technological University*. 2021;(1):128—131. (In Russ.).
2. Ajdarova A. R. Model representation of corona losses in high-voltage overhead power transmission lines in high-altitude conditions. *Problemy avtomatiki i upravleniya = Automation and control problems*. 2019;2(37):140—146. doi: 10.5281/zenodo.3594814. (In Russ.).
3. Gasho E. G., Guzhov S. V., Krolin A. A. Assessment of the effects of climate change on the safety and reliability of the functioning of the Moscow electric power complex. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Reliability and safety of energy*. 2018;11(3):208—216. doi: 10.24223/1999-5555-2018-11-3-208-216. (In Russ.).



4. Kabashov V. Yu., Andrianova L. P., Hajrislamov D. S. Causes of emergency shutdowns of rural overhead power lines with a voltage of 10 (6) kV. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in the development of science and education*. 2019;(48-7):40—44. doi: 10.18411/lj-03-2019-148. (In Russ.).
5. Bigun A. Ya., Girshin S. S., Goryunov V. N. et al. Assessment of the influence of wind on the heating of insulated wires of overhead power lines. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin = Dynamics of systems, mechanisms and machines*. 2020;8(3):23—30. doi: 10.25206/2310-9793-8-3-23-30. (In Russ.).
6. Kolbanyov M. O., Palkin I. I., Pojmanova E. D., Tatarnikova T. M. The challenges of the digital economy. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2021;(62):127—139. doi: 10.33933/2074-2762-2021-62-127-138. (In Russ.).
7. Klimenko V. V., Kondrat'eva O. E., Tereshin A. G. et al. Changes in the wind regime on the territory of Russia and the accident rate of overhead power lines. *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Fizika, tekhnicheskie nauki = Reports of the Russian Academy of Sciences. Physics, technical sciences*. 2021;497(1):57—64. doi: 10.31857/S2686740021020048. (In Russ.).
8. Gimadiev R. Sh. Dynamics of deformation of the power transmission wire. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Mekhanika tverdogo tela = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Solid state mechanics*. 2019;(4):63—75. doi: 10.1134/S0572329919040044. (In Russ.).
9. Naumov I. V., Karpova E. V. Analysis of the causes of damage to 10 kV distribution electric networks (on the example of the southern electric networks of the city of Irkutsk). *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Reliability and safety of energy*. 2018;11(4):299—304. doi: 10.24223/1999-5555-2018-11-4-299-304. (In Russ.).
10. Zizaeva R. R., Uzhanov A. E. Communication technology for crisis management in conditions of massive power supply disruption during the «Icy Rains». *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Reliability and safety of energy*. 2020;13, 3: 197—206. doi: 10.24223/1999-5555-2020-13-3-197-206. (In Russ.).
11. Daffi R. B. Prognozirovanie nadezhnosti energeticheskoy sistemy i prodolzhitel'nosti sboev, vlyuchaya neshtatnye situacii. *Nadezhnost' = Reliability*. 2020;20(3):3—14. doi: 10.21683/1729-2646-2020-20-3-3-14. (In Russ.).
12. Budnikova I. K., Prijmak E. V., Zamanov R. I. Use of automatic control systems to minimize the consequences of emergencies in the oil industry. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*. 2022;25(5):89—93. doi: 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_5\_89. (In Russ.).
13. Shcherbatov I. A. Formalization of the uncertainty of the external environment during the operation of power equipment. *Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie = Mechatronics, automation, control*. 2019;20(7):405—411. doi: 10.17587/mau.20.405-411. (In Russ.).
14. Gorbunov I. N., Zaharenko S. G., Zaharov S. A., Malahova T. F. Application of neural networks in order to determine the location of damage to overhead and cable power lines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining equipment and electromechanics*. 2019;4(144):48—55. doi: 10.26730/1816-4528-2019-4-48-55. (In Russ.).
15. Sidorov S. V., Sushkov V. V., Suhachev I. S. Features of modeling the determination of damage locations of overhead power lines with a voltage of 6(10) kV. *Promyshlennaya energetika = Industrial energy*. 2020;(3):33—40. doi: 10.34831/EP.2020.92.72.003. (In Russ.).
16. Kulikov A. L., Loskutov A. A., Pelevin P. S. An algorithm for identifying a damaged section on cable and overhead power lines based on recognition of wave portraits. *Elektrichestvo = Electricity*. 2018;(3):11—17. doi: 10.24160/0013-5380-2018-3-11-17. (In Russ.).
17. Panteleev V. I., Maleev A. V. Ice formation intensity monitoring system on overhead power line wires. *Omskij nauchnyj vestnik = Omsk Scientific Bulletin*. 2020;6(174):74—80. doi: 10.25206/1813-8225-2020-174-74-80. (In Russ.).
18. Timofeev G. V., Potapchuk N. K. Modern methods of control of ice formation on overhead power line wires. *Vesti nauchnyh dostizhenij. Estestvennyye i tekhnicheskie nauki = News of scientific achievements. Natural and technical sciences*. 2020;(3):125—128. doi: 10.36616/2687-1335-2020-3-125-128. (In Russ.).
19. Panteleev V. I., Maleev A. V. Determination of the sagging boom of overhead power lines wires in the ice formation monitoring device based on the results of physical modeling. *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik = South Siberian Scientific Bulletin*. 2021;2(36):139—143. doi: 10.25699/SSSB.2021.36.2.009. (In Russ.).

20. Sadykov M. F., Yaroslavskij D. A., Goryachev M. P. et al. Analysis of modern methods for assessing the condition of overhead power transmission lines by mechanical parameters of wires (overview). *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya fizicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physical series.* 2021;85(11):1600—1606. doi: 10.31857/S0367676521110326. (In Russ.).
21. Zapevalov V. N. The use of geoinformation systems and technologies in the management of land resources of the Tyumen region. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal = Moscow Economic Journal.* 2021;(4):67—80. doi: 10.24411/2413-046X-2021-10255. (In Russ.).
22. Malyugin D. V., Petrov Yu. V. Rezul'taty mnogoletnego ekomonitoringa podzemnyh vod na territorii Tyumenskoy aglomeracii. *Geograficheskaya sreda i zhivye sistemy = Geographical environment and living systems.* 2021;(2):15—29. doi: 10.18384/2712-7621-2021-2-15-29. (In Russ.).
23. Ivlieva N. G., Manuhov V. F., Boriskin A. S., Erofeeva I. V. Experience in creating a database in a GIS environment. *Geodeziya i kartografiya = Geodesy and cartography.* 2020;81(12):43—49. doi: 10.22389/0016-7126-2020-966-12-43-49. (In Russ.).
24. Gordeeva S. M., Malinin V. N. Using Data Mining in the task of hydrometeorological forecasting. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University.* 2016;(44):30—44. (In Russ.).
25. Garsia Eskalona H. A., Istomin E. P., Kolbina O. N. Prospects of infrastructure development spatial data with use modern technologies. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University.* 2018;(50):130—136. (In Russ.).
26. Malinin V. N., Gordeeva S. M. Variability of evaporation and precipitation over the ocean from satellite data. 2017;53(9):934—944. doi: 10.1134/S0001433817090195.
27. Aydeeva M. O., Uzun O. L., Doronin A. S., Gavrilova M. V. Application of the simulation modeling method to assess the equipment of forest fire fighting units by fire extinguishing forces. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus = XXI century: the results of the past and the problems of the present plus.* 2022;11,2(58):196—201. doi: 10.46548/21vek-2022-1158-0034. (In Russ.).
28. Shilin M., Baikov E., Sikarev I. et al. Natural risks management digitalization for arctic seaports while climate change. *Lecture Notes in Networks and Systems.* 2022;(246):727—734. doi: 10.1007/978-3-030-81619-3\_81.
29. Vagizov M. R., Istomin E. P. Development of geoinformation modeling technology for forest ecosystems (Part 2). *Geoinformatika = Geoinformatics.* 2022;(1):40—46. doi: 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46. (In Russ.).
30. Shilin M. B., Sychev V. I., Miheev V. L. et al. Results of investigations of the Neva Bay technosphere at RSHU. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Hydrometeorology and Ecology.* 2020;(60):351—370. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-351-370. (In Russ.).
31. Beskid P. P., Bogdanov P. Yu., Miklush V.A. et al. Results of research in the field of remote sensing methods for detecting oil pollution on the water surface conducted at the RSHU. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Hydrometeorology and Ecology.* 2020;(60):371—391. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-371-391. (In Russ.).
32. Ushakov D. N. *Bol'shoj tolkovyj slovar' russkogo yazyka.* Large explanatory dictionary of the Russian language. Moscow: Dom Slavyanskoi kn., 2008: 959 p. (In Russ.).
33. Burlov V. G., Polyuhovich M. A. Synthesis of the region's electric power supply safety system. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus = XXI century: the results of the past and the problems of the present plus.* 2022; 11,3(59):32—38. doi: 10.46548/21vek-2022-1159-0005. (In Russ.).
34. Burlov V. G., Popov N. N., Garsiya Eskalona H. A. Managing the process of using the space geoinformation system in the interests of ensuring the environmental safety of the region. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University.* 2018;(50):118—129. (In Russ.).
35. Burlov V. G., Kirienko A. V., Ostrikov V. N., Plahotnikov O. V. Quality assessment of building a geoinformation system for automated man-made debris search based on aerial video data. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Hydrometeorology and Ecology.* 2021;(63):311—328. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-311-328. (In Russ.).
36. Burlov V. G., Mironov A. Yu., Mironova A. Yu. Application of geoinformation system in prevention, identification and evidence about administrative offenses. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo*

- gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2019;(57):126—146. doi: 10.33933/2074-2762-2019-57-126-146. (In Russ.).
37. *Reestr vedushchih nauchnyh i nauchno-pedagogicheskikh shkol Sankt-Peterburga = Register of the leading scientific and scientific-pedagogical schools of St. Petersburg*. Available at: <http://is.ifmo.ru/aboutus/2013/science-schools.pdf>. (In Russ.).
  38. Burlov V. G. Mathematical models for solving the problems of information warfare. Proceedings of the 16th International Conference on Cyber Warfare and Security ICCWS 2021. 25—26 February 2021. A virtual conference hosted by Tennessee Tech University and the Oak Ridge National Laboratory USA. 2021: 37—47.
  39. Burlov V. G., Volkov V. F. Method of consecutive expert estimates in control problems for the development of large-scale potentially dangerous systems. *Engineering Simulation*. 1994;(1):110—115.
  40. Burlov V. G., Magulyan G. G., Matveev A. V. A general approach to modeling safety systems. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie = Scientific and technical bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management*. 2011;5(133):73—76. (In Russ.).
  41. Burlov V. G., Grachev M. I., Primakin A. I. Multilevel approach in training and retraining of personnel in the field of information technology safety. *Regional'naya informatika i informacionnaya bezopasnost' . Sbornik nauchnyh trudov. Sankt-Peterburgskoe Obshchestvo informatiki, vychislitel'noj tekhniki, sistem svyazi i upravleniya = Regional informatics and information safety. Collection of scientific papers. St. Petersburg society of informatics, computer technology, communication and control systems*. 2017: 185—189. (In Russ.).
  42. Kondrat'eva N. V. *Optimizaciya resursnyh ispytaniy vspomogatel'nyh GTD na osnove imitacionnogo modelirovaniya: dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk = Optimization of resource tests of auxiliary gas turbine engines based on simulation modeling: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*. Ufa, 2003. (In Russ.).
  43. Papkov B. V. The basis of state safety is the electric power industry. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*. 2013;4(27):4. (In Russ.).
  44. Papkov B. V. Consumer requirements for the level of energy safety and reliability. *Ekonomicheskaya bezopasnost' Rossii: problemy i perspektivy. materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Economic safety of Russia: problems and prospects. materials of the II International Scientific and Practical Conference*. 2014: 328—335. (In Russ.).

### **Информация об авторах**

*Вячеслав Георгиевич Бурлов*, д-р техн. наук, профессор, и.о. зав. кафедрой информационных технологий и систем безопасности ФГБОУ ВО «РГГМУ», [burlovvg@mail.ru](mailto:burlovvg@mail.ru).

*Максим Алексеевич Полюхович*, ассистент, Высшая школа техносферной безопасности, ФГАОУ ВО СПбПУ, [mpolyukhovich@gmail.com](mailto:mpolyukhovich@gmail.com).

### **Information about authors**

*Vyacheslav G. Burlov*, Dr. Sci. (Tech.), Professor, acting head of the department «Information Technologies and Safety Systems», RSHU.

*Maxim A. Polyukhovich*, Assistant, Higher School of Technosphere Safety, SPbPU.

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 24.11.2022*

*Принята к печати после доработки 25.02.2023*

*The article was received on 24.11.2022*

*The article was accepted after revision on 25.02.2023*