

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.22>

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ДОПУСТИМОГО РИСКА НАРУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Научная статья

Полюхович М.А.<sup>1,\*</sup>, Бурлов В.Г.<sup>2</sup>, Идрисова Д.И.<sup>3</sup>, Логвинова Ю.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-2722-5552;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0001-7603-9786;

<sup>4</sup> ORCID : 0000-0002-8392-1790;

<sup>1,3,4</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (mpolyukhovich[at]gmail.com)

### Аннотация

Обеспечение безопасности электроснабжения региона – деятельность общегосударственного значения, от которой зависит устойчивое и стабильное развитие человеческого общества. Основой деятельности является решение человека. Система обеспечения безопасности электроснабжения региона должна быть построена на основе модели решения человека. Для управления безопасностью территориально-разнесенными объектами, которыми являются объекты электроэнергетической отрасли, необходимо использовать распределённые пространственные географические данные. Для их обработки рекомендуется использовать геоинформационную систему. Интеграция системы обеспечения безопасности электроснабжения региона и геоинформационной системы способствует появлению геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона. Объекты электроэнергетической отрасли, в частности, воздушные линии электропередачи, подвержены деструктивному воздействию гидрометеорологических факторов. Нахождение воздушных линий электропередачи в условиях гололедно-ветровой ситуации приводит к режиму с высокими рисками нарушения электроснабжения региона. Цель исследования – выбор и обоснование условий обеспечения безопасности электроснабжения региона при гололедно-ветровой ситуации на базе использования распределённых пространственных географических данных, полученных при помощи геоинформационной системы. Методы исследования включают естественно-научный подход, основанный на законе сохранения целостности объекта, методы декомпозиции, абстрагирования и агрегирования. В ходе научного исследования получена модель решения человека, и на её основе разработаны модель геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона и модель допустимого риска нарушения электроснабжения. Показана возможность обоснования допустимого риска нарушения электроснабжения в зависимости от усвоенного показателя безопасности электроснабжения региона.

**Ключевые слова:** геоинформационное управление, электроснабжение, допустимый риск, модель решения человека, срыв целевого процесса.

## GEO-INFORMATION MANAGEMENT OF REGIONAL POWER SUPPLY SECURITY BASED ON AN ACCEPTABLE RISK OF ELECTRICITY SUPPLY DISRUPTION MODEL

Research article

Polyukhovich M.A.<sup>1,\*</sup>, Burlov V.G.<sup>2</sup>, Idrisova D.I.<sup>3</sup>, Logvinova Y.V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-2722-5552;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0001-7603-9786;

<sup>4</sup> ORCID : 0000-0002-8392-1790;

<sup>1,3,4</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russian Federation

\* Corresponding author (mpolyukhovich[at]gmail.com)

### Abstract

Ensuring security of electricity supply in a region is an activity of national importance, on which the sustainable and stable development of human society depends. The basis of the activity is a human decision. The system of ensuring security of power supply in a region must be built on the basis of the human decision model. To manage the security of territorially-dispersed objects, which are objects of electric power industry, it is necessary to use distributed spatial geographic data. A geographic information system is recommended for the processing of this data. Integration of regional power supply security system and geoinformation system contributes to the emergence of geoinformation management of power supply security in the region. Electric power industry facilities, in particularly overhead power lines, are subject to the destructive impact of hydrometeorological factors. The location of overhead power lines in ice and wind conditions leads to a regime with high risks of power supply disruption in the region. The aim of the study is to select and substantiate the conditions of security of power supply in a region under ice-wind conditions, based on the use of distributed spatial geographic data obtained through the use of geographic information system. The methods of research include the natural science approach based on the law of integrity preservation of the object, methods of decomposition, abstraction and aggregation. In the course of scientific research a model of human decision has been obtained, and on its basis a model of geoinformation management of security of power supply in the region and a model of acceptable risk of power supply disturbance have been developed. The possibility of substantiating

the permissible risk of power supply disruption depending on the established indicator of power supply security in a region is demonstrated.

**Keywords:** geo-information management, electricity supply, acceptable risk, human decision model, target process disruption.

### Введение

Необходимость снижения рисков нарушения электроснабжения объектов региона вызвана высокой аварийностью объектов электроэнергетики в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов [1], [2], [3]. Научные исследования в области обеспечения безопасности электроснабжения в том числе затрагивают проблему срыва процесса передачи электрической энергии [4], [5], [6]. Периодом года с наибольшей аварийностью на объектах, осуществляющих передачу и распределение электрической энергии, является осенне-зимний период. Данное обстоятельство обусловлено образованием на проводах воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) гололедно-изморозевых отложений (ГИО) [7], [8], [9], которые в совокупности с воздействием ветра оказывают значительную нагрузку на провода и опоры, в результате чего происходит обрыв воздушных линий (ВЛ) [10]. В настоящее время существует ряд организационно-технических мероприятий, позволяющих предотвратить обрыв ВЛ, но они должны быть реализованы либо до начала образования ГИО, либо на стадии их формирования. Таким образом, система управления безопасностью электроснабжения региона должна учитывать характеристики гололедно-ветровой ситуации (ГВС). Получить данные характеристики возможно только при анализе распределенных пространственных географических данных [11], [12], [13].

В настоящее время все системы управления направлены на решение прямой задачи управления (задача анализа), то есть оценку результата функционирования системы при заданных ее свойствах и условиях применения, при этом вычисляются и анализируются показатели эффективности [14]. Но такой подход не позволяет достигать цели деятельности. Лицу, принимающему решение (ЛПР), приходится довольствоваться тем результатом, который есть. Но деятельность по обеспечению безопасности предполагает решение обратной задачи управления (задача синтеза), которая связана с определением свойств, характеристик и условий использования системы, при которых показатель эффективности (в контексте данного исследования тождественно понятию «показатель безопасности») будет достигать требуемого значения в смысле выбранного критерия [14]. Следовательно, необходимо применять инструмент, позволяющий своевременно прогнозировать и реагировать на возникающие угрозы. Проявление угрозы нарушения электроснабжения, вызванной воздействием гидрометеорологических факторов, возможно заранее зафиксировать на основе обработки пространственных географических данных. Для этих целей наиболее подходящим инструментом является геоинформационная система (ГИС), которая позволяет в режиме реального времени оценивать обстановку на определенной территории и на её основе вырабатывать комплекс требуемых действий. В настоящий момент система обеспечения безопасности электроснабжения региона (СОБЭР) состоит из Штаба по обеспечению безопасности электроснабжения региона, ситуационно-аналитического центра Минэнерго и оперативно-диспетчерских центров электросетевых организаций. Интеграция объектов СОБЭР и ГИС образует геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона, что подразумевает получение необходимых распределенных географических данных, являющихся основой для создания достаточных условий реализации объектом управления своего предназначения.

Так как базисной единицей управления в эргатических системах является человек [15], то основой геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона является решение ЛПР. Поэтому получение математической модели решения ЛПР является основной приоритетной задачей специалистов в области обеспечения безопасности. Имея модель решения человека, ЛПР может выработать требования к допустимому риску нарушения электроснабжения региона.

Разработке математической модели решения ЛПР и на её основе модели геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона и модели допустимого риска нарушения электроснабжения региона посвящено настоящее научное исследование.

К процессам обеспечения безопасности предъявляется основное требование: необходимо формировать процессы с наперед заданными свойствами (задача синтеза). Поэтому в рамках настоящего исследования рассматривается разработка моделей управления путём применения подхода на основе синтеза, что позволит достигать поставленной цели управления. Система обеспечения безопасности объектов, располагающихся на открытой и значительной по площади территории, которыми являются ВЛЭП, основана на получении и обработке распределенных пространственных географических данных от ГИС. Такие данные лежат в основе процесса формирования решения субъектом управления (ЛПР). Но очевидно, что для соответствующей реализации управляющих воздействий на объект управления требуется найти связь между данными, полученными от ГИС, и моделью решения человека (ЛПР). Не располагая методологическими основами решения задач управления безопасностью электроснабжения региона в форме условия существования процесса, нельзя гарантировать достижения цели деятельности [16].

Согласно трудам академика АН СССР Моисеева Н.Н., решение человека является основой человеческой деятельности. При этом человек в процессе своей деятельности работает с тремя категориями: система, модель, предназначение или решение (научные исследования академика АМН СССР и АН СССР Анохина П.К.). Следовательно, в целях осуществления деятельности по обеспечению безопасности электроснабжения региона в условиях ГВС для достижения требуемого результата необходимо иметь математическую модель решения человека, которая должна соответствовать требованиям адекватности. Наиболее приемлемым подходом для оценивания адекватности является «полнота учета основных закономерностей предметной области» [17]. Данная модель решения является основополагающим элементом геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона. Перечисленные утверждения обосновывают актуальность данного исследования.

Цель данной работы заключается в выборе и обосновании условия обеспечения безопасности электроснабжения региона при ГВС на базе использования распределенных пространственных географических данных, полученных при помощи ГИС.

Задачами исследования являются:

- синтез модели геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона на основе применения закона сохранения целостности объекта (ЗСЦО);
- разработка модели допустимого риска нарушения электроснабжения региона.

### **Методы и принципы исследования**

#### **2.1 Естественно-научный подход к синтезу модели геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона**

При осуществлении деятельности, направленной на обеспечение безопасности электроснабжения региона, периодически результаты предпринимаемых действий, обусловленных принятием решения как выбора альтернатив, не соответствуют ожиданиям человека, не достигается поставленная цель управления из-за наличия противоречивых выводов. Устранить данную проблему можно при использовании формального аксиоматического метода (ФАМ), позволяющего предотвратить формулирование необоснованных рассуждений. Содержание ФАМ представляется в следующем виде [16]:

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

Структурная интерпретация процесса деятельности с целью объективного использования ФАМ должна быть представлена в следующем виде [16]:

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

Обеспечение безопасности электроснабжения региона возможно только при формировании условий, которые позволяют достигать цели деятельности. Для данных целей целесообразно использовать естественно-научный подход (ЕНП), который основан на интеграции свойств мышления человека, окружающего мира и познания [18], [19], [20]. ЕНП реализуется научно-педагогической школой «Системная интеграция процессов государственного управления» [21]. Трехкомпонентность отражается в трех принципах [16].

##### 1. Принцип трехкомпонентности познания [18]:

- компонент А — абстрактное представление (условие существования, методология);
- компонент В — абстрактно-конкретное представление (причинно-следственные связи, методы);
- компонент С — конкретное представление (технологии, алгоритмы).

2. Принцип целостности Мира [18], [19], [20]. Это устойчивая, объективная, повторяющаяся связь свойств объекта и действия при фиксированном предназначении.

3. Принцип познаваемости Мира [18]. Реализуется следующими методами: декомпозиция, абстрагирование, агрегирование.

Принцип трехкомпонентности познания состоит в том, что человек, осознанно или нет, осуществляет выработку решения на трех уровнях представления обстановки [16]:

- 1) абстрактный уровень (формируется условие существования процесса);
- 2) абстрактно-конкретный уровень (формируются причинно-следственные связи);
- 3) конкретный уровень (формируются условия реализации причинно-следственных связей).

Для разработки системы или модели применяются два подхода [17]:

- подход на основе анализа;
- подход на основе синтеза.

Академик АМН СССР и АН СССР Анохин П.К. пришёл к выводу, что синтез системы (модели) возможен только при наличии «основной закономерности» общей теории функциональных систем [22]. В настоящее время данный вопрос широко разрабатывается научно-педагогической школой «Системная интеграция процессов государственного управления» [21] в форме ЗСЦО, на основе применения которого будет осуществлен синтез модели геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона.

Важно отметить, что при разработке модели необходимо удостовериться в её адекватности. Для этого при создании моделей в естествознании используются законы химии и физики, а в случае разработки моделей сложных систем, к которым можно отнести технико-технологические, социальные, экономические, предложено применение ЗСЦО [18], [19], [20].

#### **2.2 Общий подход к синтезу модели геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона**

Обеспечение безопасности электроснабжения региона – сложный и непрерывный процесс. Деятельность по его формированию и существованию всегда основывается на решении человека (ЛПР). Согласно вышеприведенным обоснованным доводам, решение принимается на основе модели. Под моделью объекта понимается описание или представление объекта, соответствующее объекту и позволяющее получать характеристики об этом объекте [16]. Следовательно, модель процесса, с которым работает человек, это и есть решение. Процесс – это объект в действии при фиксированном предназначении [16]. Для применения подхода на основе синтеза применяется ЕНП, базирующийся на ЗСЦО.

ЗСЦО – устойчивая, повторяющаяся связь свойств объекта и свойств действия при фиксированном предназначении [17]. ЗСЦО проявляется во взаимной трансформации свойств объекта и свойств его действия при фиксированном предназначении.

Процесс, с которым работает человек, согласно трёхкомпонентности ЕНП, должен быть представлен [16]:

- компонентом, соответствующим свойству «объективность» или понятию «объект»;
- компонентом, соответствующим свойству «целостность» или понятию «предназначение»;
- компонентом, соответствующим свойству «изменчивость» или понятию «действие».

Перечисленные три компонента имеют горизонтальное расположение с интерпретацией на абстрактном, абстрактно-конкретном и конкретном уровнях познания Мира по вертикали.

В данном научном исследовании приняты следующие определения.

Геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона – создание условий для реализации процесса передачи электрической энергии от электрической станции до конечного потребителя любой категории в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов на базе использования распределенных пространственных географических данных.

Решение – это условие реализации предназначения ВЛЭП в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов в интересах обеспечения процесса передачи электрической энергии от электрических станций до потребителей региона.

Обстановка – совокупность гидрометеорологических факторов и характеристик системы электроснабжения, от которой зависит показатель безопасности электроснабжения региона.

Информационно-аналитическая работа – непрерывное добывание, сбор, изучение, отображение и анализ распределенных пространственных географических данных, полученных на базе применения ГИС и позволяющие сформировать необходимые сведения об обстановке.

Таким образом, «Решение» может быть представлено в виде совокупности трёх базовых элементов: «Обстановка», «Информационно-аналитическая работа», «Решение». Вышеизложенное представлено на рис. 1.

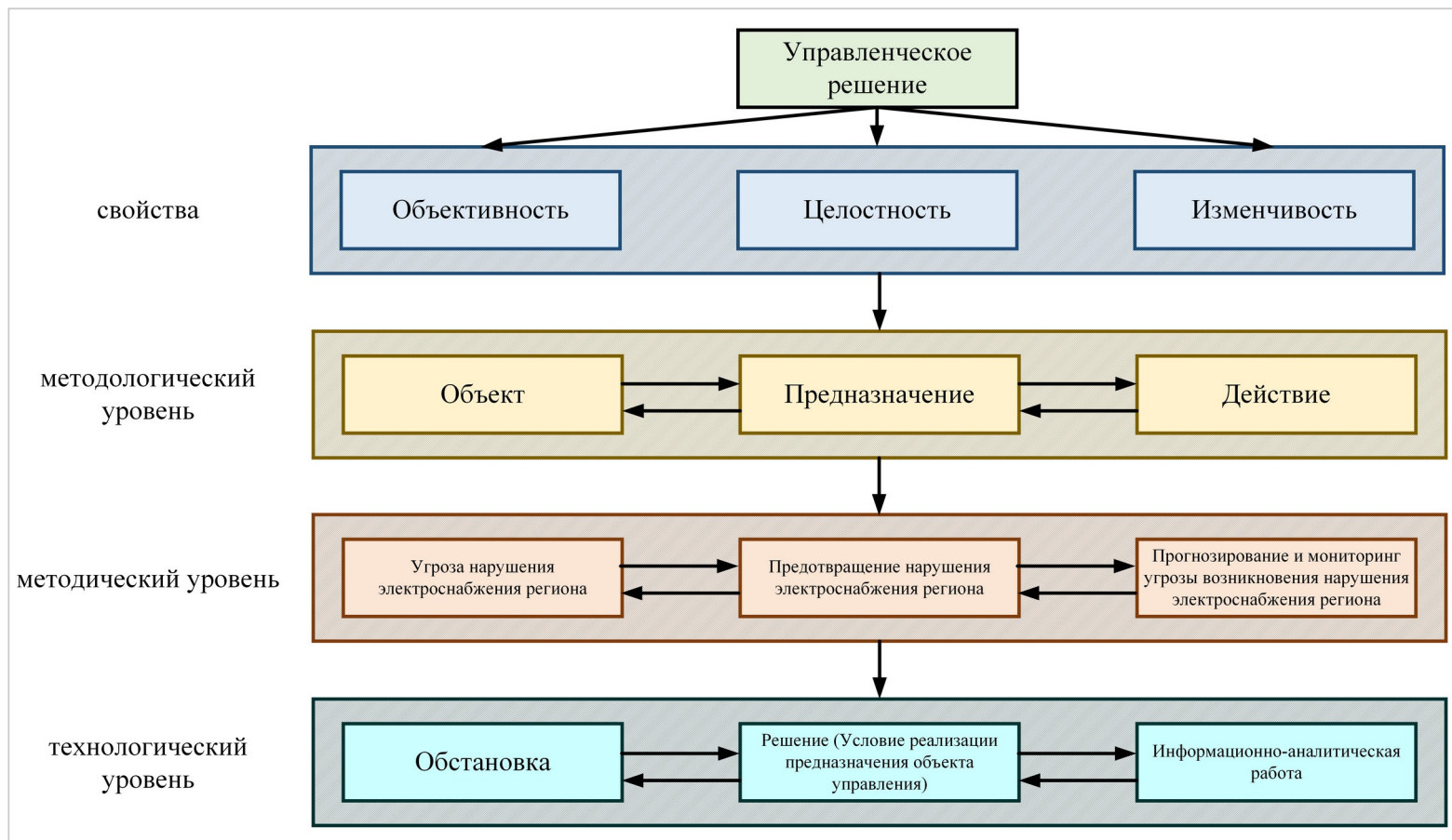


Рисунок 1 - Структурная схема развертывания содержания категории «Управленческое решение» как процесса  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.22.1>

Для получения модели решения необходимо использовать подход на основе синтеза. Для синтеза руководствуются тремя принципами ЕНП, базирующегося на ЗСЦО. Структурная схема интерпретации процесса синтеза математической модели решения представлена на рис. 2. Применение метода декомпозиции на методологическом уровне позволяет представить «Управленческое решение» тремя элементами («Обстановка», «Решение» и «Информационно-аналитическая работа»), соответствующими понятиям «Объект», «Предназначение» и «Действие». Применение метода абстрагирования на методическом уровне позволяет отождествить «Объект» («Обстановка») с периодичностью проявления угрозы нарушения электроснабжения региона ( $\Delta t_{пу}$ ), «Предназначение» («Решение») с периодичностью предотвращения нарушения электроснабжения региона ( $\Delta t_{пу}$ ), «Действие» («Информационно-аналитическая работа») с периодичностью прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона ( $\Delta t_{пу}$ ). Временные характеристики обоснованы тем, что только временные ресурсы для человека невосполнимы. При функционировании возможно неудовлетворительное решение задачи – прекращение электроснабжения региона. Для определения частоты срыва целевого процесса ( $\zeta^-$ ) необходимо учитывать среднее время повторения факта срыва « $T_{ср}$ ». Среднее время реализации целевого процесса по электроснабжению потребителей региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов обозначено как « $T_{э}$ ». Интенсивность бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергией « $\zeta^+$ » есть обратная величина среднего времени выполнения целевого процесса. И, наконец, применяя метод агрегирования, происходит объединение нескольких элементов в единое целое. Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения с учетом целевого процесса представлена на рис. 3.

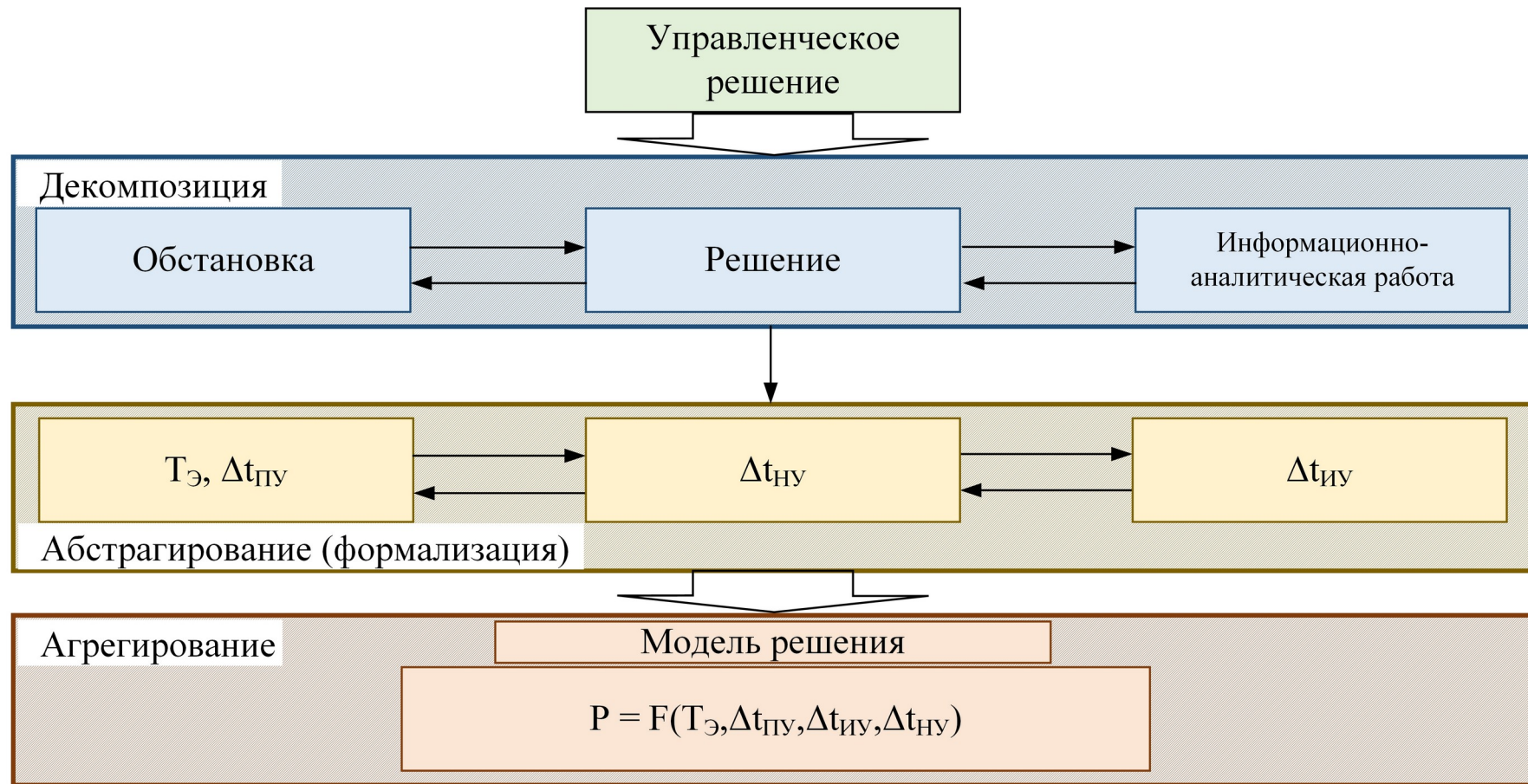


Рисунок 2 - Структурная схема интерпретации процесса синтеза математической модели решения  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.22.2>

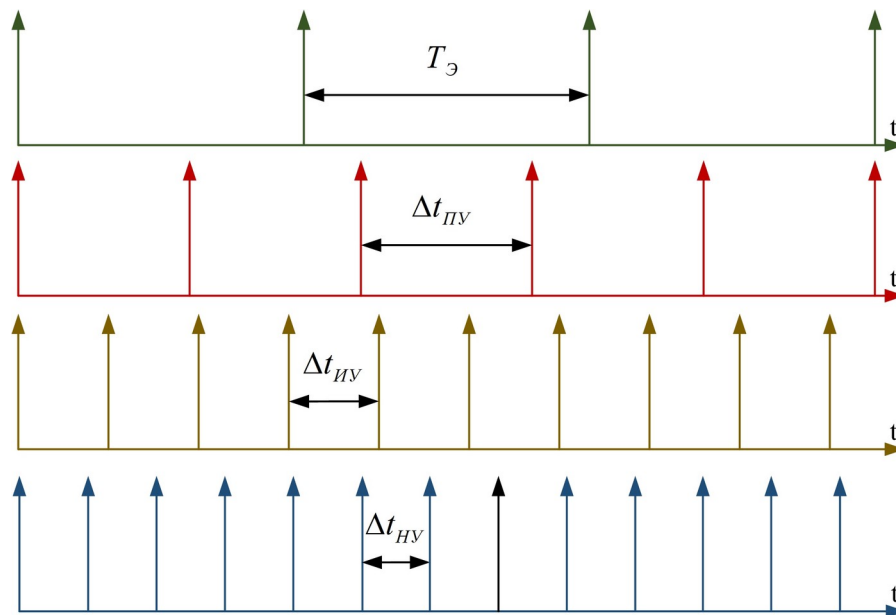


Рисунок 3 - Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения с учетом целевого процесса  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.22.3>

## Основные результаты

### 3.1 Синтез модели геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона

Так как при обеспечении безопасности электроснабжения региона рекомендуется учитывать среднее время повторения факта срыва, то в математическую модель добавлено  $T_{CP}$ . Метод трансформации вербальной модели в формальную позволил преобразовать понятие «Управленческое решение» в математическую модель решения:

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

Из-за воздействия гидрометеорологических факторов, неквалифицированных действий персонала и прочих участников электроэнергетической системы, неудовлетворительного технического состояния оборудования проявляется угроза возникновения нарушения электроснабжения региона.

ЛПР при обеспечении безопасности электроснабжения региона может выполнять в различных сочетаниях две функции [17]:

- идентифицировать (прогнозирование и мониторинг) угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона;
- нейтрализовать (задействовать ресурсы обеспечения безопасности электроснабжения региона) угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона (предотвращение нарушения электроснабжения региона).

В соответствии с изложенным модель геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона характеризуется четырьмя базовыми состояниями:

$S_1$  — геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона не обеспечивает прогнозирование и мониторинг угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона и предотвращение нарушения электроснабжения региона;

$S_2$  — геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона обеспечивает прогнозирование и мониторинг угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона, но не предотвращает нарушение электроснабжения региона;

$S_3$  — геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона не обеспечивает прогнозирование и мониторинг угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона, но предотвращает нарушение электроснабжения региона;

$S_4$  — геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона обеспечивает прогнозирование и мониторинг угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона и предотвращение нарушения электроснабжения региона.

В соответствии с описанной особенностью решения необходимо ввести вероятности нахождения СОБЭР в этих четырех состояниях. Соответственно получаем вероятности  $P_1, P_2, P_3, P_4$  нахождения системы в состояниях  $S_1, S_2, S_3, S_4$ .

Процесс формирования решения можно рассмотреть как цепь Маркова [16]. В связи с тем, что такой подход не позволяет в достаточной мере учитывать динамику процесса, в настоящей работе целесообразно использовать непрерывные цепи Маркова. Для реализации такого подхода необходимо составить систему дифференциальных уравнений Колмогорова — Чепмена. Характеристика переходов системы представлена на рис. 4.



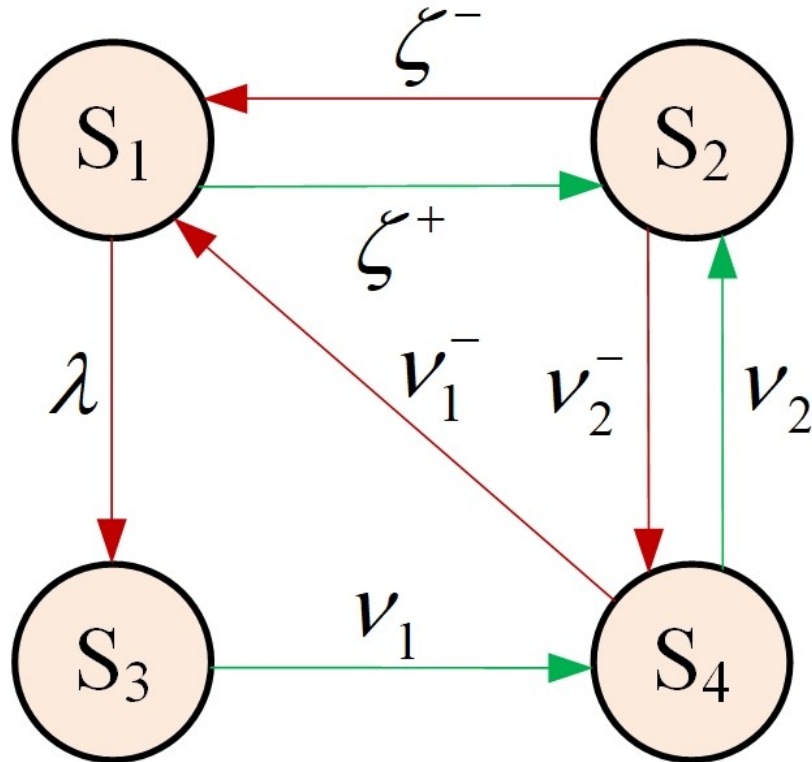


Рисунок 4 - Граф состояний процесса формирования решения при геоинформационном управлении безопасностью электроснабжения региона  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.22.4>

Допустим, что геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона находится в начальном состоянии  $S_1$ . При отсутствии угроз нарушения электроснабжения региона объект управления (ВЛЭП) выполняет свое предназначение в условиях воздействия гидрометеорологических факторов. Геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона из состояния  $S_1$  переходит в состояние  $S_2$  с интенсивностью  $\zeta^+$ . При проявлении угрозы нарушения электроснабжения региона под воздействием интенсивности  $\lambda$  система управления переходит в состояние  $S_3$ , т.е. в состояние прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона. Из этого состояния геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона под воздействием интенсивности  $v_1$  осуществляет переход в состояние  $S_4$ , в котором система управления начинает процесс предотвращения нарушения электроснабжения региона с интенсивностью  $v_2$ , и геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона переходит в состояние  $S_2$ , то есть объект управления выполняет своё предназначение. Эта ситуация возможна, если угроза нарушения электроснабжения региона своевременно устранена, а очередная угроза еще не образовалась. Если своевременно предотвратить нарушение электроснабжения региона не удалось, то происходит срыв целевого процесса (электроснабжение потребителей) с интенсивностью  $\zeta^-$ . В случае, если предпринятые организационно-технические мероприятия не способствовали предотвращению нарушения электроснабжения региона, то под воздействием интенсивности  $v_2^-$  геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона переходит в состояние  $S_4$ . Если при прогнозировании и мониторинге угрозы нарушения электроснабжения не удалось своевременно распознать проявление угрозы, то система управления переходит из состояния  $S_4$  в начальное состояние  $S_1$  с интенсивностью  $v_1^-$ , электроснабжение региона не обеспечивается.

Для описания процесса изменения состояний на графе были сделаны определённые допущения и предположения, аналогичные в [16], [17].

Введенные допущения и предположения позволяют использовать систему дифференциальных уравнений Колмогорова — Чепмена [16]. Система дифференциальных уравнений Колмогорова (2) для рассматриваемого случая имеет следующий вид с ограничением  $P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) = 1$  :

$$\begin{aligned}
\frac{dP_1(t)}{dt} &= -(\zeta^+ + \lambda) P_1(t) + \zeta^- P_2(t) + v_1^- P_4(t) \\
\frac{dP_2(t)}{dt} &= \zeta^+ P_1(t) - (\zeta^- + v_2^-) P_2(t) + v_2 P_4(t) \\
\frac{dP_3(t)}{dt} &= \lambda P_1(t) - v_1 P_3(t) \\
\frac{dP_4(t)}{dt} &= v_2^- P_2(t) + v_1 P_3(t) - (v_2 + v_1^-) P_4(t)
\end{aligned} \tag{2}$$

Рассмотрев процесс как динамический, перейдем к выявлению возможностей рассмотрения этого процесса как стационарного, не нарушая общности рассуждений.

Если предположить, что рассматривается стационарный процесс, то исходная система дифференциальных уравнений трансформируется в систему линейных однородных алгебраических уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned}
-(\zeta^+ + \lambda) P_1(t) + \zeta^- P_2(t) + v_1^- P_4(t) &= 0 \\
\zeta^+ P_1(t) - (\zeta^- + v_2^-) P_2(t) + v_2 P_4(t) &= 0 \\
\lambda P_1(t) - v_1 P_3(t) &= 0 \\
v_2^- P_2(t) + v_1 P_3(t) - (v_2 + v_1^-) P_4(t) &= 0
\end{aligned} \tag{3}$$

Это есть система линейных алгебраических уравнений относительно четырех неизвестных:  $P_1, P_2, P_3, P_4$ , которые связаны между собой следующим соотношением:  $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1$ .

Искомые вероятности уже не зависят от времени. Решением данной линейной алгебраической системы уравнений являются следующие соотношения:

$$\begin{aligned}
P_1 &= \frac{\zeta^- v_1 v_2 + v_1 v_1^- (\zeta^- + v_2^-)}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \\
P_2 &= \frac{v_1 v_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^+ v_1 v_1^-}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \\
P_3 &= \frac{\zeta v_2 + \lambda v_1^- (\zeta^- + v_2^-)}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \\
P_4 &= \frac{v_1 v_2^- (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^- \lambda v_1}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)}
\end{aligned} \tag{4}$$

Получив соотношения, определяющие вероятности нахождения геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона в состояниях  $S_1, S_2, S_3, S_4$ , ЛПР может выработать требования к свойствам процесса прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона, возникшей в системе электроснабжения региона, и к свойствам процесса предотвращения угрозы нарушения электроснабжения региона в СОБЭР:

$$P_2 = \frac{v_1 v_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^+ v_1 v_1^-}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \tag{5}$$

Соотношение  $P_2$  является математической моделью геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона, в которой установлена аналитическая зависимость обобщенных характеристик ГВС ( $\Delta t_{пу}$ ), информационно-аналитической деятельности ( $\Delta t_{иу}$ ) и работ по предотвращению нарушения электроснабжения региона ( $\Delta t_{ну}$ ).

### 3.2 Модель допустимого риска нарушения электроснабжения региона

В настоящее время в области обеспечения безопасности широко распространен риск-ориентированный подход. Но риск является относительной величиной, он не объективен, поэтому нельзя говорить про безопасность, используя понятие «риск». В настоящем исследовании под риском понимается срыв целевого процесса, который ЛПР допускает, исходя из имеющихся финансовых, материальных ресурсов, квалификации и опыта персонала. Категория «риск» должна быть введена только для понимания, насколько реализуема угроза. Срыв – допущение, право на ошибку, ЛПР допускает, что из-за неподготовленности возможен срыв целевого процесса.

Приемлемый (допустимый) риск – риск, при котором субъект управления выполняет свое предназначение с требуемым показателем безопасности. То есть имеется возможность допустить срыв целевого процесса с учётом соблюдения количественных и качественных показателей процесса передачи электрической энергии от источника до потребителя.

ЛПР допускает такой риск, который позволяет достичь уровня безопасности не ниже требуемого:

$$\lim_{\zeta^- \rightarrow \zeta^{*-}} P_2 = P_2^* \tag{6}$$

где  $P_2^*$  – заданная предельная вероятность обнаружения и устранения угрозы нарушения электроснабжения региона;

$\zeta^{-*}$  – частота срыва целевого процесса, которая допускается и позволяет достичь требуемого значения  $P_2^*$ .

Важно помнить, что при обеспечении безопасности электроснабжения региона  $\zeta^{-}$  никогда не реализуется, это только право на ошибку, смысл в том, что ЛПР достигает цели при заданном допустимом риске.

Учитывая вышеприведенную математическую модель решения, модель допустимого риска нарушения электроснабжения региона можно представить в следующем виде:

$$\zeta^{-} = f (P_2, \zeta^{+}, \lambda, v_1, v_2) \tag{7}$$

Для того чтобы определить допустимый риск нарушения электроснабжения региона, с которым будет согласен ЛПР, необходимо выразить из соотношения (5) частоту срыва целевого процесса:

$$\zeta^{-} = \frac{v_1 v_2 (\zeta^{+} + \lambda) + \zeta^{+} v_1 v_1^{-} - v_1 (\zeta^{+} + \lambda) (v_2 + v_2^{-}) - v_1^{-} \lambda v_2 - v_1^{-} v_1 v_2^{-} - v_1 \zeta^{+} v_1^{-}}{v_2 \lambda + v_2 v_1 + v_1^{-} \lambda + v_1^{-} v_1 + v_1 \lambda} \tag{8}$$

Каждая деятельность человека характеризуется приемлемым (допустимым) риском, обусловленным техническим, экономическим, социальным и политическим аспектами. Но при необходимости допустимый риск может быть уменьшен, если для этого имеются определенные ресурсы.

Допустимый риск закладывается либо на этапе проектирования системы управления с целью обеспечения заданных количественных и качественных показателей процесса, например, при электроснабжении потребителей существует нормативно установленная продолжительность перерыва, тем самым задается среднее время повторения факта срыва, либо на этапе эксплуатации объекта управления в случае изменения его технико-технологических показателей или требований к целевому процессу.

В осенне-зимний период (ОЗП), когда наблюдаются гидрометеорологические условия окружающей обстановки, наиболее благоприятствующие образованию ГИО, геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона, разработанное на базе применения подхода на основе синтеза, позволяет решать обратную задачу управления [23]. В частности, можно установить обоснованные требования к частоте срыва целевого процесса.

Рассмотрим ситуацию образования ГИО на проводах ВЛЭП со следующими характеристиками:

- среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона –  $\Delta t_{\text{пу}} = 24$  ч;
- среднее время прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона –  $\Delta t_{\text{иу}} = 3$  ч (получение прогноза о гидрометеорологических факторах каждые три часа и отслеживание изменений их показателей при помощи ГИС);
- среднее время предотвращения нарушения электроснабжения региона –  $\Delta t_{\text{пу}} = 1$  ч;
- среднее время продолжительности целевого процесса (передача электрической энергии от источника до конечных потребителей региона) –  $T_3 = 720$  ч (1 месяц);
- требуемый показатель безопасности –  $P_2 = 0,8$  (вероятность того, что каждая угроза нарушения электроснабжения региона распознана и устранена).

Теперь перейдем к переменным модели допустимого риска нарушения электроснабжения региона:

- интенсивность проявления угрозы нарушения электроснабжения региона –  $\lambda = 1/24 = 0,042$ ;
- интенсивность прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона –  $v_1 = 0,333$ ;
- интенсивность предотвращения нарушения электроснабжения региона –  $v_2 = 1$ ;
- интенсивность выполнения целевой задачи –  $\zeta^{+} = 0,001$ ;
- частота срыва идентификации угрозы (прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона) –  $v_1^{-} = 0,001$  (1 ошибочное действие по распознаванию угрозы на 1000 действий);
- частота срыва нейтрализации угрозы (предотвращения нарушения электроснабжения региона) –  $v_2^{-} = 0,001$  (1 ошибочное действие по устранению угрозы на 1000 действий).

Подставив вышеприведенные переменные в соотношение (8), определяется допустимый риск нарушения электроснабжения региона:  $\zeta^{-} = 0,0092$ .

Но показатель безопасности может быть установлен и выше, в зависимости от требований к объекту управления. В таблице 1 представлены результаты расчёта допустимого риска нарушения электроснабжения региона в зависимости от показателя безопасности электроснабжения региона при геоинформационном управлении безопасностью электроснабжения региона.

Таблица 1 - Значения допустимого риска нарушения электроснабжения региона в зависимости от показателя безопасности электроснабжения региона

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.22.5>

№ п/п	Допустимый риск нарушения электроснабжения региона ()	Показатель безопасности – эффективность геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона ( $P_2$ )
1	0,0092	0,80
2	0,0086	0,81

3	0,0080	0,82
4	0,0075	0,83
5	0,0070	0,84
6	0,0065	0,85
7	0,0059	0,86
8	0,0055	0,87
9	0,0050	0,88
10	0,0045	0,89
11	0,0040	0,90
12	0,0036	0,91
13	0,0032	0,92
14	0,0027	0,93
15	0,0023	0,94
16	0,0019	0,95
17	0,0015	0,96
18	0,0011	0,97
19	0,0007	0,98
20	0,0003	0,99

На рис. 5 представлена зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от допустимого риска нарушения электроснабжения региона при геоинформационном управлении.

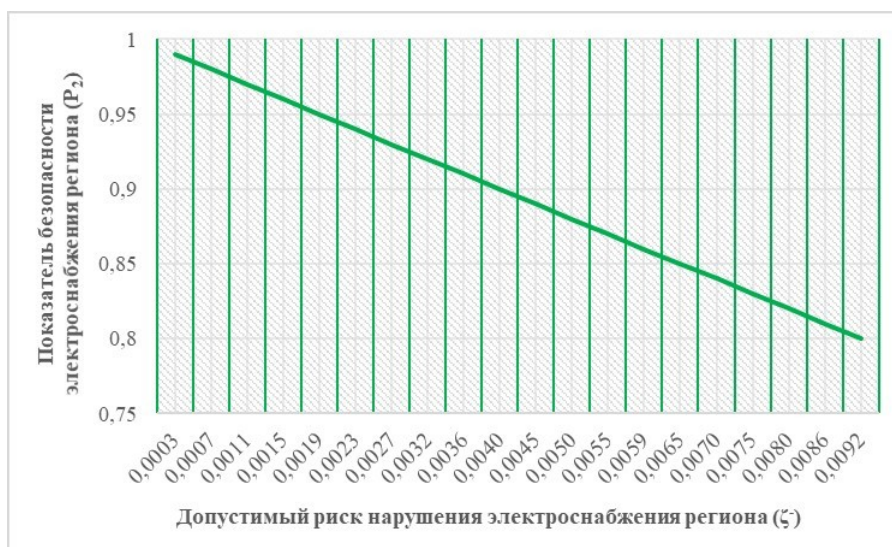


Рисунок 5 - Зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от допустимого риска нарушения электроснабжения региона

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.22.6>

### Обсуждение

Анализируя зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от допустимого риска нарушения электроснабжения региона, ЛПР в состоянии разработать требования к составу и наполнению процессов идентификации и нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона на базе имеющихся ресурсов СОБЭР. При этом основная задача ситуационно-аналитического центра Минэнерго состоит в своевременном прогнозировании состояния системы электроснабжения региона на основе данных о метеоусловиях на подконтрольной территории, Штаба по обеспечению безопасности электроснабжения региона – в формировании требований к значению допустимого риска, электросетевой организации – в предоставлении ресурсов для предотвращения нарушения электроснабжения региона. Выполнение перечисленных задач строится на обработке распределенных пространственных географических данных, вследствие чего управление ВЛЭП для обеспечения бесперебойного электроснабжения переходит в геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона на основе модели допустимого риска нарушения электроснабжения. Таким образом, применяя геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона на основе математической модели допустимого риска нарушения

электроснабжения, ЛПР в состоянии задавать требования к процессам прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона и предотвращения нарушения электроснабжения региона.

Согласно проведенным расчетам для достижения показателя безопасности  $P_2 = 0,90$  (при допустимом риске  $\zeta^- = 0,0040$ ) среднее время распознавания угрозы должно составлять  $\Delta t_{ИУ} = 2$  ч, среднее время устранения угрозы –  $\Delta t_{НУ} = 1$  ч.

Рассматривая соотношение (5) как условие существования процесса обеспечения электроснабжения региона, задавая показатель безопасности электроснабжения региона (эффективность геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона) в виде  $P_2$  и располагая при этом характеристикой ГВС  $\Delta t_{ИУ} = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , можно исходя из условия обеспечения показателя безопасности сформировать требуемый показатель процесса прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона  $\Delta t_{ИУ} = f_1(y_1, y_2, \dots, y_m)$  и требуемый показатель результата деятельности по предотвращению нарушения электроснабжения региона  $\Delta t_{НУ} = f_3(z_1, z_2, \dots, z_k)$ . Здесь вектор  $X$  характеризует процесс проявления угрозы нарушения электроснабжения региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов,  $Y$  – процесс прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона, а  $Z$  – процесс предотвращения нарушения электроснабжения региона. Получение характеристик векторов управления  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  строится на базе использования распределенных пространственных географических данных из ГИС, что способствует появлению геоинформационного управления.

### Заключение

В результате проведенного научного исследования был осуществлен синтез модели геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона на основе применения ЗСЦО, что позволило реализовать гарантированный подход к управлению безопасностью электроснабжения. Описан граф состояний процесса формирования решения при геоинформационном управлении безопасностью электроснабжения региона. Разработана модель допустимого риска нарушения электроснабжения региона, которая далее может быть усложнена введением дополнительных обратных связей и учетом других условий. На данном этапе полученная модель позволяет предъявлять требования к процессам прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона и предотвращения нарушения электроснабжения региона.

Практическая значимость работы заключается в возможности обоснования частоты срыва целевого процесса при осуществлении передачи электрического тока от электрической станции до потребителей всех категорий при геоинформационном управлении безопасностью электроснабжения региона.

### Финансирование

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

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Funding

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 20-38-90225.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Мурзакулов Н.А. Факторы, приводящие к повреждениям воздушных линий электропередачи. / Н.А. Мурзакулов, Н. Жетибаев // 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. / А.Р. Айдарова // Проблемы автоматики и управления. — 2019. — 2 (37). — с. 140-146. — DOI: 10.5281/zenodo.3594814
3. Гашо Е.Г. Оценка последствий изменения климата на безопасность и надежность функционирования электроэнергетического комплекса г. Москвы. / Е.Г. Гашо, С.В. Гужов, А.А. Кролин // Надежность и безопасность энергетики. — 2018. — 3. — с. 208-216. — DOI: 10.24223/1999-5555-2018-11-3-208-216
4. Большев В.Е. Корректировка стоимости электроэнергии при перерывах в электроснабжении. / В.Е. Большев, А.В. Виноградов, А.В. Виноградова и др. // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. — 2020. — 2 (39). — с. 44-50. — DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-2-44-50
5. Наумов И.В. К вопросу о повреждаемости воздушных линий электропередачи в системах электроснабжения. / И.В. Наумов, Д.Н. Карамов // Надежность и безопасность энергетики. — 2021. — 2. — с. 92-99. — DOI: 10.24223/1999-5555-2021-14-2-92-99
6. Боярков Д.А. Программный комплекс по оценке и управлению рисками выхода из строя электрических сетей. / Д.А. Боярков, Б.С. Компанеев, А.В. Яценко // Автоматизация в промышленности. — 2021. — 11. — с. 13-17.
7. Шутенко Д.А. Анализ актуальных методов борьбы с обледенением проводов воздушных линий электропередач на примере Белгородского района. / Д.А. Шутенко // Аллея науки. — 2018. — 5 (21). — с. 203-207.

8. 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.
9. Санакулов А.Х. Проблемы обледенения электрических и контактных сетей. / А.Х. Санакулов // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. — 2016. — 2 (69). — с. 34-51.
10. Кшевинская Е.О. Гололёдные и ветровые нагрузки на воздушные линии электропередачи. / Е.О. Кшевинская, Е.А. Лавлинская, Е.В. Плаксина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. — 2016. — 1 (2). — с. 44-48.
11. Джалалванд А. Применение методов пространственной интерполяции к гидрологическим данным на примере водосбора р. Карун (Иран). / А. Джалалванд, Е.В. Гайдукова, В.Г. Бурлов и др. // Международный научно-исследовательский журнал. — 2019. — 2 (80). — с. 37-42. — DOI: 10.23670/IRJ.2019.80.2.006
12. Яковченко С.Г. Оценка гидрогеологических условий при определении зон подтопления городских территорий с использованием численных моделей. / С.Г. Яковченко, В.И. Заносова // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. — 2021. — 4 (63). — с. 56-75. — DOI: 10.24412/2410-1192-2021-16304
13. Миронова Ю.Н. Использование геоинформационных систем в лесном хозяйстве и лесной промышленности. / Ю.Н. Миронова // Отходы и ресурсы. — 2022. — 1. — DOI: 10.15862/04TOR122
14. Кондратьева Н.В. Оптимизация ресурсных испытаний вспомогательных ГТД на основе имитационного моделирования дис. ...канд. null: 05.07.05 : защищена 2003-03-05 : утв. 2003-06-06 / Н.В. Кондратьева — Уфа: 2003. — 181 с.
15. Захаров Н.А. Место и роль оператора в эргатической системе. / Н.А. Захаров // Автоматизация в промышленности. — 2020. — 1. — с. 20-23. — DOI: 10.25728/avtprom.2020.01.03
16. Бурлов В.Г. Управление процессом применения космической геоинформационной системы в интересах обеспечения экологической безопасности региона. / В.Г. Бурлов, Н.Н. Попов, Х.А. Гарсия Эскалона // Ученые записки РГГМУ. — 2018. — 50. — с. 118-129.
17. Бурлов В.Г. Разработка модели управления процессами обеспечения безопасности эксплуатации электроустановки. / В.Г. Бурлов, В.Д. Маньков, М.А. Полухович // Техничко-технологические проблемы сервиса. — 2018. — 4 (46). — с. 33-38.
18. Бурлов В.Г. Математические методы моделирования в экономике / В.Г. Бурлов — СПб: СПбГПУ, 2007. — 330 с.
19. Бурлов В.Г. О концепции гарантированного управления устойчивым развитием арктической зоны на основе решения обратной задачи. / В.Г. Бурлов // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. — 2015. — 2 (16). — с. 99-111.
20. Бурлов В.Г. Основы моделирования социально-экономических и политических процессов (методология, методы) / В.Г. Бурлов — СПб: СПбГПУ, 2007. — 265 с.
21. Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Университет ИТМО Кафедра «Технологии программирования». — 2013. — URL: <http://is.ifmo.ru/aboutus/2013/science-schools.pdf>. (дата обращения: 05.02.23)
22. Анохин П.К. Системные механизмы высшей нервной деятельности / П.К. Анохин — М.: Наука, 1979. — 453 с.
23. Солиман Х. Использование нечеткой логики в среде ГИС для выбора местоположения ветряных электростанций на примере провинции Хомс, Сирия. / Х. Солиман, В.Г. Бурлов, Д.А. Украинцева // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — 11 (125). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.125.17

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Murzakulov N.A. Factory', privodyashhie k povrezhdeniyam vozduzhny'x linij e'lektrperedachi [Factors Leading to Damage to Overhead Power Lines]. / N.A. Murzakulov, N. Zhetibaev // Izvestiya Oshskogo texnologicheskogo universiteta [News of Osh Technological University]. — 2021. — 1. — p. 128-131. [in Russian]
2. Ajdarova A.R. Model'noe predstavlenie poter' ot korony' v vy'sokovol'tny'x vozduzhny'x liniyax e'lektrperedachi v usloviyax vy'sokogor'ya [Model Representation of Corona Losses in High-voltage Overhead Power Transmission Lines in High-altitude Conditions]. / A.R. Ajdarova // Problemy' avtomatiki i upravleniya [Automation and Control Problems]. — 2019. — 2 (37). — p. 140-146. — DOI: 10.5281/zenodo.3594814 [in Russian]
3. Gasho E.G. Ocenka posledstvij izmeneniya klimata na bezopasnost' i nadezhnost' funkcionirovaniya e'lektroe'nergeticheskogo kompleksa g. Moskv'y' [Assessment of the Effects of Climate Change on the Safety and Reliability of the Functioning of the Electric Power Complex in Moscow]. / E.G. Gasho, S.V. Guzhov, A.A. Krolin // Nadezhnost' i bezopasnost' e'nergetiki [Reliability and Safety of Energy]. — 2018. — 3. — p. 208-216. — DOI: 10.24223/1999-5555-2018-11-3-208-216 [in Russian]
4. Bol'shev V.E. Korrektirovka stoimosti e'lektroe'nergii pri perery'vax v e'lektrosnabzhenii [Adjustment of the Cost of Electricity in Case of Interruptions in Power Supply]. / V.E. Bol'shev, A.V. Vinogradov, A.V. Vinogradova et al. // E'lektrotexnologii i e'lektrooborudovanie v APK [Electrical Technologies and Electrical Equipment in the Agro-industrial Complex]. — 2020. — 2 (39). — p. 44-50. — DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-2-44-50 [in Russian]
5. Naumov I.V. K voprosu o povrezhdaemosti vozduzhny'x linij e'lektrperedachi v sistemax e'lektrosnabzheniya [On the Issue of Damage to Overhead Power Lines in Power Supply Systems]. / I.V. Naumov, D.N. Karamov // Nadezhnost' i bezopasnost' e'nergetiki [Reliability and Safety of Energy]. — 2021. — 2. — p. 92-99. — DOI: 10.24223/1999-5555-2021-14-2-92-99 [in Russian]
6. Boyarkov D.A. Programmny'j kompleks po ocenke i upravleniyu riskami vy'xoda iz stroya e'lektricheskix setej [Software Package for Assessing and Managing the Risks of Failure of Electrical Networks]. / D.A. Boyarkov, B.S.

Kompaneecz, A.V. Yashhenko // *Avtomatizaciya v promy'shlennosti* [Automation in Industry]. — 2021. — 11. — p. 13-17. [in Russian]

7. Shutenko D.A. Analiz aktual'ny'x metodov bor'by' s obledeneniem provodov vozduzhny'x linij e'lektrperedach na primere Belgorodskogo rajona [Analysis of Current Methods of Combating Icing of Overhead Power Lines Wires on the Example of the Belgorod Region]. / D.A. Shutenko // *Alleya nauki* [Alley of Science]. — 2018. — 5 (21). — p. 203-207. [in Russian]

8. Shilin A.N. Informacionno-izmeritel'naya sistema dlya monitoringa klimaticheskogo vozdejstviya na vozduzhny'e linii e'lektrperedachi [Information and Measurement System for Monitoring the Climatic Impact on Overhead Power Lines]. / A.N. Shilin, A.A. Shilin, S.S. Dement'ev // *Problemy' regional'noj e'nergetiki* [Problems of Regional Energy]. — 2020. — 2 (46). — p. 23-32. [in Russian]

9. Sanakulov A.X. Problemy' obledeneniya e'lektricheskix i kontaktny'x setej [Problems of Icing of Electrical and Contact Networks]. / A.X. Sanakulov // *Social'no-e'konomicheskie i texnicheskie sistemy': issledovanie, proektirovanie, optimizaciya* [Socio-economic and Technical Systems: Research, Design, Optimization]. — 2016. — 2 (69). — p. 34-51. [in Russian]

10. Kshevinskaya E.O. Gololyodny'e i vetrovy'e nagruzki na vozduzhny'e linii e'lektrperedachi [Icy and Wind Loads on Overhead Power Lines]. / E.O. Kshevinskaya, E.A. Lavlinskaya, E.V. Plaksina // *Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii* [Urban Planning. Infrastructure. Communications]. — 2016. — 1 (2). — p. 44-48. [in Russian]

11. Dzhahalvand A. Primenenie metodov prostranstvennoj interpolyacii k gidrologicheskim dannym na primere vodosbora r. Karun (Iran) [Application of Spatial Interpolation Methods to Hydrological Data on the Example of the Karun River Catchment (Iran)]. / A. Dzhahalvand, E.V. Gajdukova, V.G. Burlov et al. // *Mezhdunarodny'j nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Research Journal]. — 2019. — 2 (80). — p. 37-42. — DOI: 10.23670/IRJ.2019.80.2.006 [in Russian]

12. Yakovchenko S.G. Ocenka gidrogeologicheskix uslovij pri opredelenii zon podtopleniya gorodskix territorij s ispol'zovaniem chislenny'x modelej [Assessment of Hydrogeological Conditions in Determining the Zones of Flooding of Urban Areas Using Numerical Models]. / S.G. Yakovchenko, V.I. Zanosova // *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshhestva* [News of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. — 2021. — 4 (63). — p. 56-75. — DOI: 10.24412/2410-1192-2021-16304 [in Russian]

13. Mironova Yu.N. Ispol'zovanie geoinformacionny'x sistem v lesnom xozyajstve i lesnoj promy'shlennosti [The Use of Geoinformation Systems in Forestry and Forestry Industry]. / Yu.N. Mironova // *Otxody' i resursy'* [Waste and Resources]. — 2022. — 1. — DOI: 10.15862/04ITOR122 [in Russian]

14. Kondrat'eva N.V. Optimizaciya resursny'x ispy'tanij vspomogatel'ny'x GTD na osnove imitacionnogo modelirovaniya [Optimization of Resource Tests of Auxiliary Gas Turbine Engines Based on Simulation Modeling] dis...of PhD in Engineering: 05.07.05 : defense of the thesis 2003-03-05 : approved 2003-06-06 / N.B. Кондратьева — Ufa: 2003. — 181 p. [in Russian]

15. Zaxarov N.A. Mesto i rol' operatora v ergaticheskoy sisteme [The Place and Role of the Operator in the Ergatic System]. / N.A. Zaxarov // *Avtomatizaciya v promy'shlennosti* [Automation in Industry]. — 2020. — 1. — p. 20-23. — DOI: 10.25728/avtprom.2020.01.03 [in Russian]

16. Burlov V.G. Upravlenie processom primeneniya kosmicheskoy geoinformacionnoj sistemy' v interesax obespecheniya e'kologicheskoy bezopasnosti regiona [Managing the Process of Using the Space Geoinformation System in the Interests of Ensuring the Environmental Safety of the Region]. / V.G. Burlov, N.N. Popov, X.A. Garsiya E'skalona // *Ucheny'e zapiski RGGMU* [Scientific Notes of RGGMU]. — 2018. — 50. — p. 118-129. [in Russian]

17. Burlov V.G. Razrabotka modeli upravleniya processami obespecheniya bezopasnosti e'kspluatcii e'lektroustanovki [Development of a Process Management Model to Ensure the Safety of Electrical Installation Operation]. / V.G. Burlov, V.D. Man'kov, M.A. Polyuxovich // *Texniko-texnologicheskie problemy' servisa* [Technical and Technological Problems of the Service]. — 2018. — 4 (46). — p. 33-38. [in Russian]

18. Burlov V.G. Matematicheskie metody' modelirovaniya v e'konomike [Mathematical Methods of Modeling in Economics] / V.G. Burlov — SPb: SPbGPU, 2007. — 330 p. [in Russian]

19. Burlov V.G. O koncepcii garantirovannogo upravleniya ustojchivy'm razvitiem arkticheskoy zony' na osnove resheniya obratnoj zadachi [On the Concept of Guaranteed Management of Sustainable Development of the Arctic Zone Based on the Solution of the Inverse Problem]. / V.G. Burlov // *Informacionny'e texnologii i sistemy': upravlenie, e'konomika, transport, pravo* [Information Technologies and Systems: Management, Economics, Transport, Law]. — 2015. — 2 (16). — p. 99-111. [in Russian]

20. Burlov V.G. Osnovy' modelirovaniya social'no-e'konomicheskix i politicheskix processov (metodologiya, metody') [Fundamentals of Modeling Socio-economic and Political Processes (methodology, methods)] / V.G. Burlov — SPb: SPbGPU, 2007. — 265 p. [in Russian]

21. Reestr vedushhix nauchny'x i nauchno-pedagogicheskix shkol Sankt-Peterburga [Register of the Leading Scientific and Scientific-pedagogical Schools of St. Petersburg] [Electronic source] // ITMO University Department of "Programming Technologies". — 2013. — URL: <http://is.ifmo.ru/aboutus/2013/science-schools.pdf>. (accessed: 05.02.23) [in Russian]

22. Anoxin P.K. Sistemny'e mexanizmy' vy'sshej nervnoj deyatel'nosti [Systemic Mechanisms of Higher Nervous Activity] / P.K. Anoxin — M.: Nauka, 1979. — 453 p. [in Russian]

23. Soliman X. Ispol'zovanie nechetkoj logiki v srede GIS dlya vy'bora mestopolozheniya vetryany'x e'lektrostantsij na primere provincii Xoms, Siriya [Using Fuzzy Logic in a GIS Environment to Select the Location of Wind Farms on the Example of Homs Province, Syria]. / X. Soliman, V.G. Burlov, D.A. Ukraineva // *Mezhdunarodny'j nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Research Journal]. — 2022. — 11 (125). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.125.17 [in Russian]