

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

*На правах рукописи*

\_\_\_\_\_  
*Подпись аспиранта*

ПОЛЮХОВИЧ МАКСИМ АЛЕКСЕЕВИЧ

*ФИО аспиранта*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*наименование темы научно-квалификационной работы (заглавными буквами)*

20.06.01 Техносферная безопасность

*отрасль науки (шифр и наименование научной специальности)*

20.06.01\_01 Охрана труда (по отраслям)

*наименование направленности (шифр и наименование направления)*

Академическая степень **Исследователь. Преподаватель-исследователь**

**НАУЧНЫЙ ДОКЛАД**

Научный руководитель: доктор технических наук, без зв., профессор  
ВШТБ ИСИ СПбПУ Бурлов Вячеслав Георгиевич

Санкт-Петербург, 2022

Научный доклад выполнен в Высшей школе техносферной безопасности Инженерно-строительного института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Научный руководитель: доктор технических наук, без зв.,  
профессор ВШТБ ИСИ СПбПУ  
Бурлов Вячеслав Георгиевич

Рецензент: кандидат технических наук, без зв., доцент ИТМО  
Болдырева Елена Александровна

С научным докладом можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте Электронной библиотеки СПбПУ по адресу: <http://elib.spbstu.ru>.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

В настоящее время, как отмечается многими исследователями, все масштабнее становится проблема обеспечения стабильного и качественного электроснабжения потребителей, которые варьируются от небольших населенных пунктов до градообразующих промышленных предприятий, что является актуальной задачей, стоящей перед руководством государства. В связи с особенностями как электроэнергетической системы (например, передача электроэнергии посредством воздушных линий электропередачи), так и климатических и территориальных условий такой страны как Россия, вопросы разработки системы, гарантирующей бесперебойное электроснабжение, остаются актуальными до сих пор. Статистические данные по аварийности в электроэнергетической системе ясно демонстрируют, что, несмотря на научно-технический прогресс во многих отраслях промышленности, подверженность состояния процесса передачи электроэнергии различным факторам не решена.

В связи с увеличением энергоемкости практически всех сфер жизнедеятельности человека вопрос об обеспечении безопасности электроснабжения становится все более первостепенным. Основная особенность передачи электроэнергии в условиях РФ заключается в значительном расстоянии от её источника до конечного потребителя. На протяжении всего участка линии электропередачи на элементы электроэнергетической сети воздействует огромное количество совершенно разнородных по своей природе факторов, среди которых выделяются гидрометеорологические факторы, особенно значимые ввиду территориального расположения и размеров России. Становится очевидным, что необходимо разработать системный подход, позволяющий своевременно реагировать на угрозы нарушения электроснабжения и устранять их.

Безопасность электроснабжения – одно из главных условий эффективного функционирования производства и всех

жизнеобеспечивающих структур поселений. Нарушения электроснабжения объектов промышленного комплекса с непрерывным циклом производства, как правило, могут повлечь за собой расстройство сложного технологического процесса, опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб.

Влияние гидрометеорологических факторов относится к одной из наиболее значительных причин нарушения электроснабжения объектов региона, так как главный элемент процесса передачи электроэнергии – воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) целиком подвержен их воздействию круглый год. Одновременное воздействие нескольких гидрометеорологических факторов способно привести к продолжительным перебоям в электроснабжении.

Вызванные отсутствием электропитания простои промышленного оборудования создают нарушения сложных технологических процессов, что, во-первых, приводит к производственным издержкам, и, естественно, отрицательно сказывается на экономических показателях предприятия, а во-вторых, в некоторых случаях, особенно это касается производственных объектов, на которых присутствует повышенный риск воздействия опасного или вредного производственного фактора на персонал, возможно снижение производственной безопасности.

Одним из главных элементов процесса электроснабжения региона является лицо, принимающее решение (ЛПР), которому назначена ведущая роль в управлении электроэнергетическим режимом и обслуживании объектов электроэнергетики. Несомненно, что говорить о безопасности электроснабжения можно только при учете данного факта.

Анализ факторов позволяет сделать следующие выводы, что основа деятельности по обеспечению безопасности электроснабжения есть решение человека (академик Моисеев Н.Н.). Решение человека осуществляется на базе трех категорий: модель, система, предназначение (результат) (академик Анохин П.К.). Для того чтобы решить поставленную научную задачу

необходимо разработать модель, но модель исследуемого объекта должна удовлетворять свойствам системы. Известно, что для этого необходимо использовать системообразующий фактор (СОФ) согласно академику Анохину П.К. Однако, данный фактор в известных публикациях не используется в полной мере, это не позволяет гарантированно достигать цели деятельности по обеспечению безопасности электроснабжения региона. Из этого следует, что для адекватности решения необходимо разработать СОФ. Это следствие теории функциональных систем академика Анохина П.К. Поэтому модель системы обеспечения безопасности электроснабжения в настоящей работе строится на базе условий существования процесса обеспечения безопасности. Условие существования процессов обеспечения безопасности разработано и используется в научно-педагогической школе «Системная интеграция процессов государственного управления». В отличие от известных публикаций такой подход позволяет гарантированно достигать цели деятельности при обеспечении безопасности электроснабжения региона.

#### **Объект, предмет и методы исследования**

Объект исследования – система обеспечения безопасности электроснабжения региона.

Предмет исследования – процесс обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи.

**Методологическая основа исследования** базируется на достижениях научно-педагогической школы «Системная интеграция процессов государственного управления», зарегистрированной в Реестре ведущих научных и научно-образовательных школ Санкт-Петербурга и использующей естественно-научный подход к осознанию и познанию закономерностей из закона сохранения целостности объекта предметной области.

Для решения поставленных задач применялись:

– системный анализ;

- теория вероятностей;
- теория функциональных систем;
- теория системной интеграции процессов управления;
- теория марковских процессов.

### **Цель и задачи исследования**

Целью работы является выбор, обоснование и реализация условий гарантированного достижения требуемого уровня безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на воздушные линии электропередачи.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать известные методы и особенности обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды.

2. Разработать модель обеспечения безопасности электроснабжения региона на базе применения геоинформационной системы.

3. Разработать технологию обеспечения безопасности электроснабжения региона на основе решения обратной задачи управления в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе системной интеграции процессов обеспечения безопасности.

4. Разработать предложения по совершенствованию технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи.

### **Научная новизна**

Научная новизна работы состоит в разработке технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона на основе решения обратной задачи управления. Разработка заключается в системной интеграции процессов целевой деятельности, процессов проявления угрозы, процесса

идентификации угрозы и процесса нейтрализации угрозы и показателя безопасности, базирующейся на системообразующем факторе в виде условия существования процесса обеспечения безопасности.

Техника (как и все рукотворные объекты, в том числе ЭС и ВЛЭП) – есть реализация модели решения человека (главного конструктора). Следовательно, чтобы гарантировать выполнение объектом его предназначения (электроснабжение региона посредством воздушных линий электропередачи), необходимо иметь модель решения человека.

В результате решения поставленных задач были получены следующие новые результаты:

- синтезирована математическая модель принятия решения, обеспечивающего требуемый уровень безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды;
- разработана технология обеспечения безопасности электроснабжения региона на основе решения обратной задачи управления в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе системной интеграции процессов обеспечения безопасности;
- разработаны предложения по совершенствованию технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи.

Полученные результаты позволяют исследовать эффективность системы обеспечения безопасности электроснабжения региона путем решения обратной задачи (задачи синтеза), что обеспечивает определение свойств, характеристик и условий использования системы, при которых её эффективность будет достигать требуемого показателя.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость исследования определяется:

- адекватной формализацией математической модели принятия решения, обеспечивающего требуемый уровень безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды;
- разработкой технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе системной интеграции процессов обеспечения безопасности;
- разработкой предложений по совершенствованию технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи.

Практическая значимость исследования определяется:

- статистическим обоснованием низкого уровня безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи;
- определением свойств синтезированной модели принятия решения, обеспечивающего требуемый уровень безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды;
- конкретизацией применения технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе системной интеграции процессов обеспечения безопасности;
- разработкой предложений по совершенствованию технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи.

### **Апробация работы**

Основные результаты научно-квалификационной работы докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях:

1. International Scientific Conference on Energy, Environmental and

- Construction Engineering (EESCE – 2019). 20 ноября 2019. г. Санкт-Петербург.
2. «Неделя науки СПбПУ». 21 ноября 2019 г. Санкт-Петербург.
  3. Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ», посвященная 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. 22-24 октября 2020 г.
  4. Национальная научная конференция для молодых ученых «БИОТЕХНОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ». 21-22 апреля 2021 г.
  5. Всероссийская молодежная конференция с международным участием «СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ – 2021». 25-28 мая 2021 г.
  6. DiEarth 2021: Международная научно-исследовательская конференция по перспективным исследованиям Земли: геодезия, геоинформатика, картография, землеустройство и кадастры. 18 ноября 2021 г.
  7. Научно-практическая конференция молодых ученых ИНФОГЕО 2021 «Информационные системы в Арктике». 27 ноября 2021 г.
  8. 2-й национальная научная конференция для молодых ученых «БИОТЕХНОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ». 2-3 марта 2022 г.

### **Публикации**

По теме научно-квалификационной работы опубликовано 28 статей, из них 4 в рекомендованных ВАК изданиях и 7 в высокорейтинговых зарубежных изданиях.

### **Представление научного доклада: основные положения**

1. Постановка и реализация задачи обеспечения безопасности электроснабжения региона на базе применения геоинформационной

системы в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды.

2. Модель обеспечения безопасности электроснабжения региона на базе применения геоинформационной системы.
3. Технология обеспечения безопасности электроснабжения региона на основе решения обратной задачи управления в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе системной интеграции процессов обеспечения безопасности.
4. Предложения по совершенствованию технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи.

### **Характеристика основных источников и научной литературы**

При исследовании рассматриваемой проблемы изучались посвященные аналогичным вопросам монографии ведущих ученых в данной области, учебные пособия, научные статьи, опубликованные в изданиях, рекомендуемых ВАК, и в международных базах данных рецензируемой научной литературы SCOPUS и Web of Science.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Научно-исследовательская работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы, включающего как отечественных, так и иностранных авторов, и приложений.

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформированы цель и задачи исследования, представлены основные положения, выносимые на представление научного доклада.

**В первой главе** «Научно-технические основы обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды» проанализированы методы и технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия

гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе геоинформационной системы.

В первую очередь дана характеристика особенностей процесса передачи электроэнергии посредством воздушных линий электропередачи. Установлено, что предприятия, эксплуатирующие ВЛЭП, ставят перед собой цель обеспечить бесперебойное электроснабжение с заявленными показателями качества электроэнергии в зоне своей ответственности. Комплекс мер, направленных на достижение поставленной цели, включает в себя организацию эксплуатации и ремонта ВЛЭП, своевременное устранение повреждений и реализацию требуемых технических мероприятий.

Аспектами, ограничивающими развитие электроэнергетической отрасли, являются неблагоприятная природно-климатическая обстановка, которая для обширной части территории РФ считается как рискоформирующая.

В общем случае могут быть выделены следующие типы гидрометеорологических явлений, оказывающих значительное деструктивное воздействие на исследуемый объект (ВЛЭП):

- сильный ветер;
- гололедно-изморозевые отложения;
- грозовые явления;
- выпадение града;
- выпадение осадков (дождь, снег, смешанные осадки);
- температурные воздействия (жара, морозы);
- солнечная радиация;
- гидрологические явления (затор, паводок, половодье);
  - комплексы неблагоприятных явлений (КНЯ):
  - сочетание сильного ветра и гололедно-изморозевых отложений;
  - сочетание сильного ветра, града и выпадения дождя;
  - сочетание града и выпадения дождя;

- сочетание сильного ветра и выпадения дождя;
- сочетание сильного ветра и выпадения снега (метель).

Расчет проводов (тросов) ВЛЭП на механическую прочность заключается в определении механического напряжения в проводах (тросах) при различных сочетаниях гидрометеорологических факторов и сравнении полученных механических напряжений с допустимыми значениями.

К основным гидрометеорологическим факторам, оказывающим влияние на механическое напряжение в проводе, относятся:

- температура окружающей среды (влияет на внутреннее механическое напряжение в проводе за счет изменения длины провода в полете);
- гололедные нагрузки (влияют на механическое напряжение в проводе за счет внешнего механического воздействия);
- ветровые нагрузки (влияют на механическое напряжение в проводе за счет внешнего механического воздействия).

Большая часть аварийных отключений воздушных линий электропередачи связана с воздействием таких гидрометеорологических явлений, как грозовые явления, ветровая нагрузка, гололедно-изморозевые отложения (ГИО), затопление и т.п. При этом наиболее значительный вред составляющим объекта (провода, опоры) наносится при совместном действии гололедной и ветровой нагрузок.

В данном исследовании основное внимание уделяется вопросу обеспечения безопасности ВЛЭП при образовании на проводах ГИО.

Факторы, влияющие на возникновение гололедных образований на линиях электропередачи:

- температура воздуха – образование того или иного вида обледенения (плотность отложений), продолжительность процесса, длительность сохранения льда на проводах;
- ветер – формирование структуры отложений (кристаллическая изморозь, зернистая изморозь, гололед, смешанные отложения);

- высота подвеса проводов – характер и масса гололедных отложений (увеличение высоты приводит к увеличению массы);
- закручивание проводов – образуется устойчивая муфта, которая в течение активной фазы гололедного процесса постоянно растет;
- диаметр проводов – увеличение плотности осадка (чем больше диаметр), масса гололедных отложений сначала увеличивается (до  $d=3-8$  см), далее уменьшается;
- действие электрического тока – притяжение к заряженной поверхности и осаждение на ней дождевых капель с наведенным зарядом;
- протекание нагрузочного тока – выделение тепла пропорционально активному сопротивлению и квадрату тока (чем меньше теплоотвод от провода в зависимости от условий окружающей среды, тем температура провода выше, при температуре провода выше  $+1^{\circ}\text{C}$  гололед не образуется).

Образование льда в виде сосулек на проводах происходит в результате осаждения капель дождя с их последующим охлаждением. Тяжесть массы образовавшихся ГИО может превышать допустимую проектную нагрузку, поэтому опоры ВЛЭП деформируются и разрушаются.

Надежность и устойчивость процесса снабжения потребителей электрической энергией напрямую зависят от организации эффективных действий по наблюдению за ВЛЭП в осенне-зимний период с целью предупреждения аварий, связанных с образованием ГИО. Задача состоит в отыскании связей между гидрометеорологическими факторами, воздействующими на систему электроснабжения, и критерием её эффективности, соблюдение которого гарантирует с определенной вероятностью безопасное электроснабжение региона при любом известном из предыдущего опыта воздействия внешней среды в условиях гололедно-ветровой ситуации (ГВС).

При этом мониторинг процесса гололедообразования группой электромонтеров прямо на местах расположения участков линий характеризуется рядом недостатков:

- отсутствие своевременного мониторинга текущей ситуации на рассматриваемом объекте;
- невозможность достоверной и правильной оценки свойств ГИО в связи с глазомерным методом определения;
- проблематичность в реализации такого подхода в условиях недостаточной видимости;
- отсутствие в осенне-зимний сезон возможности получения доступа к конкретной части трассы ВЛ из-за небольшой продолжительности светового дня и полного бездорожья;
- отсутствие объективной возможности точного прогноза времени начала процесса плавки, и, в свою очередь, времени, необходимого на осуществление организационных мероприятий по отключению участка линии;
- внушительные операционные издержки электросетевой организации.

К современным методам активной борьбы с обледенением относятся:

- механические;
- электротермические;
- физико-химические;
- электромеханические.

В целом, существующие методы удаления гололедных образований можно свести в единую таблицу 1.

Таблица 1 – Методы удаления ГИО с поверхности провода ВЛЭП

Название метода	Принцип действия	Достоинства	Недостатки
Механический (удаление уже существующего слоя ГИО)	использование шестов	–	требуется доступ к линии, её обесточивание, привлечение большого количества сотрудников,

Название метода	Принцип действия	Достоинства	Недостатки
			затрачивается много времени
	применение роликов-ледорезов	—	требуется доступ к линии, низкая производительность, высокая вероятность повреждения провода, затрачивается много времени
	применение многозарядных пневматических устройств	—	требуется доступ к линии, низкая производительность, затрачивается много времени,
	применение мобильных роботов	есть возможность обнаружить деформацию проводов, провести простой ремонт, нет необходимости обесточивать линию	требуется доступ к линии, значительные финансовые затраты, необходимость подготовки для каждого робота отдельного оператора
Электротермический (нагрев провода ВЛЭП)	профилактический нагрев	нет необходимости обесточивать линию	тратится большое количество энергии, требуется изрядно много времени
	плавка льда переменным током	уменьшение возможных энергозатрат и трудовых издержек, нет необходимости обесточивать линию	целесообразна только при сравнительно небольшой длине проплавляемых участков, необходимость непрерывного нагрева участка линии; дороговизна источников высокочастотного тока требуемой мощности; появление радиопомех в УКВ диапазоне
	плавка льда постоянным током	применима для линий большой протяженности и с большим размером сечения проводов,	обязательно применение выпрямительной установки (ВУ), имеющей большую стоимость, которая большую часть времени простаивает, требуется

Название метода	Принцип действия	Достоинства	Недостатки
		уменьшение возможных энергозатрат и трудовых издержек, нет необходимости обесточивать линию	доступ к участку линии
Физико-химический (предотвращение образования ГИО)	нанесение на поверхность объекта растворов из веществ со специальным составом, температура замерзания которых намного ниже, чем у воды	низкая адгезия покрытий к водной среде, нет необходимости обесточивать линию	кратковременный эффект, для использования на ВЛЭА не целесообразно в виду их огромной протяженности
Электромеханический (удаление и предотвращение ГИО)	удаление льда путем создания электромеханического воздействия на обледенение, устройства работают в двух режимах: в вибрационном и в ударно-встряхивающем	уменьшение времени и энергии, при вибрационном режиме нет необходимости обесточивать линию	если гололедный слой достаточно плотный, то увеличивается энергопотребление, при ударно-встряхивающем режиме нужно обесточивать линию и подключать источник постоянного тока, возможно явление резонанса

Очевидно, что с целью обеспечения безопасности ВЛЭП от гидрометеорологических факторов необходимо получать своевременные и полные данные об их показателях. С этой целью целесообразно разрабатывать и внедрять информационные технологии определенного назначения. Наиболее активно совершенствующимися и развивающимися в сфере информационных технологий за несколько последних десятилетий являются геоинформационные системы (ГИС), под которыми понимается система сбора, хранения, анализа и графической визуализации географических пространственных данных и связанной с ними информацией о рассматриваемых объектах.

К отличительным особенностям географических пространственных данных относится их достаточно большой объем, так как они содержат распределение определенных характеристик в пространственных и

временных интервалах. Инструменты ГИС реализуют дополнительные функциональные способы картографической визуализации с целью представления динамики течения опасных и неблагоприятных процессов. Такое представление данных позволяет за относительно короткое время проанализировать и отобразить на карте полученную информацию, демонстрирует наглядную визуализацию направленности определенных гидрометеорологических факторов (например, ветра) и способствует комплексному анализу информации о характеристиках протекания и проявления опасностей разнообразного происхождения.

В настоящее время в области обеспечения безопасности ВЛЭП применяются следующие подходы:

- определение по параметрам предаварийного и аварийного режимов мест повреждения ВЛЭП (Абрамочкина Л.В., Солдатов С.В., Хакимзянов Э.Ф., Филатова Г.А.);
- разработка и применение информационно-измерительной системы контроля аварийных режимов ВЛЭП, которая позволяет дистанционно в реальном режиме времени определять вид и место аварии (Шилин А.А., Доронина О.И., Ле Суан Фу, Варнавский К.А., Чжо Зин Лин);
- повышение надежности и эксплуатационной готовности ВЛЭП на основе оценки надежности и разработанных рекомендаций по срокам организации капитальных ремонтов и снижению рисков технологических нарушений, в том числе оценка влияния природно-климатических факторов (Складчиков А.А., Лопатин Е.И., Косорлуков И.А., Левин Д.С., Зацепина В.И., Малеев П.Г., Виноградова А.В., Федоров А.В., Прохоров Д.В., Гатиятов И.З., Тошходжаева М.И., Нгуен Ван Ву, Батуева Д.Е., Горячев М.П., Кабашов В.Ю.);
- в рамках данной диссертационной работы отдельно рассмотрено обнаружение, предотвращение или устранение образовавшегося

ГИО (Щуров А.Н., Ратушняк В.С., Ярославский Д.А., Титов Д.Е., Сацук Е.И., Елизарьев А.Ю.).

Безопасность – это условия, гарантирующие выполнением объекта управления (ВЛЭП) своего предназначения (электроснабжение региона). Адекватность комплекса мероприятий по обеспечению безопасности основана на познании и осознании окружающей нас действительности. Принятие любого решения на этапах разработки, экспериментальной отработки и применении таких систем требует осуществления моделирования процесса применения системы. Квалификация любого специалиста определяется его потенциальными возможностями по моделированию процесса, с которым работает этот специалист (или на который он воздействует). Квалифицированный специалист основывает свою деятельность на знаниях конкретной предметной области.

Так как решение – основа деятельности человека, то необходимо сформировать решение для обеспечения безопасности электроснабжения региона.

Принятое определение понятия «решение» как выбор альтернатив страдает концептуальной неполнотой (Дружинин В.В., Конторов Д.С.). Для получения результатов, гарантирующих достижение цели деятельности, согласно Анохину П.К. необходимо иметь системообразующий фактор СОФ. В технико-технологических системах СОФ является модель решения человека, так как техника – рукотворные объекты окружающего мира, созданные для удовлетворения потребностей человека на основе модели решения конструктора (инженера). Получить СОФ позволяет применение закона сохранения целостности объекта (ЗСЦО), активно прорабатываемого научно-педагогической школой «Системная интеграция процессов государственного управления». На рисунке 1 представлен системообразующий процесс функционирования сложной системы.

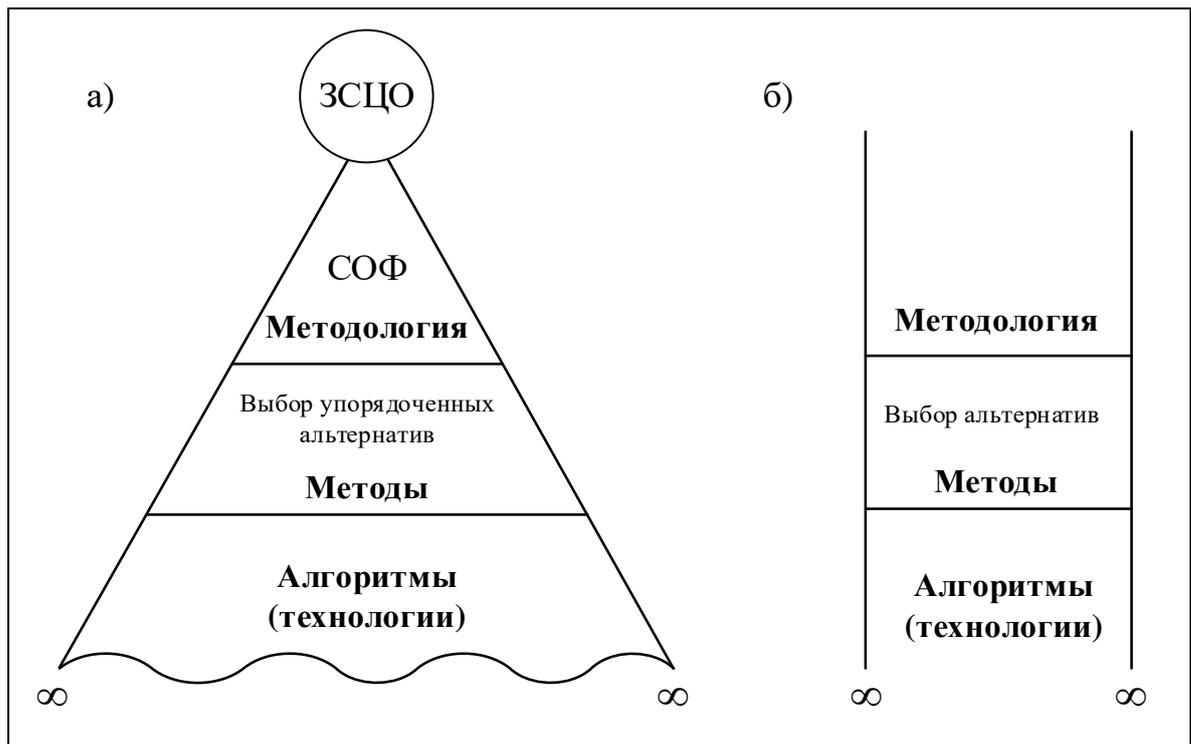


Рисунок 1 – Системообразующий процесс функционирования сложной системы (а) при наличии системообразующего фактора; б) при отсутствии системообразующего фактора)

Для управления безопасностью рекомендуется использовать модели, основанные на синтезе, что позволяет применять подход, основанный на решении обратной задачи управления.

Для синтеза применяется Естественно-научный подход (ЕНП), базирующийся на ЗСЦО. На основе данного подхода можно осуществить системную интеграцию процессов обеспечения безопасности, что и является, по мнению авторов, решением существующей проблемы.

Из вышесказанного следует, что для ЛПР необходимо иметь условие существования процесса электроснабжения региона в виде модели решения. И если передача электроэнергии осуществляется, то можно говорить о том, что обеспечивается безопасность электроснабжения, то есть цель данной работы достигается. При этом согласно ЗСЦО решение должно быть получено на основе системной интеграции свойств мышления человека, свойств объектов окружающего мира и всеобщей связи явлений.

Во второй главе «Разработка модели обеспечения безопасности электроснабжения региона на базе применения геоинформационной системы» для синтеза модели решения человека (модели обеспечения безопасности электроснабжения региона) применялся ЕНП, базирующийся на ЗСЦО.

В результате применения методов декомпозиции, абстрагирования и агрегирования понятие «решение» преобразуется в агрегат – математическую модель решения следующего вида:

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

где  $\Delta t_{ИУ}$  – среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона ( $\lambda = 1/\Delta t_{ИУ}$ );

$\Delta t_{НУ}$  – среднее время прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона ( $\nu_1 = 1/\Delta t_{НУ}$ );

$\Delta t_{ПУ}$  – среднее время предотвращения нарушения электроснабжения региона ( $\nu_2 = 1/\Delta t_{ПУ}$ ).

В работе предполагается, что эти промежутки времени являются случайными величинами, и используется следующая диаграмма изменения базовых компонентов формирования модели решения (рисунок 2 (а) среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона; б) среднее время прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона; в) среднее время предотвращения нарушения электроснабжения региона).

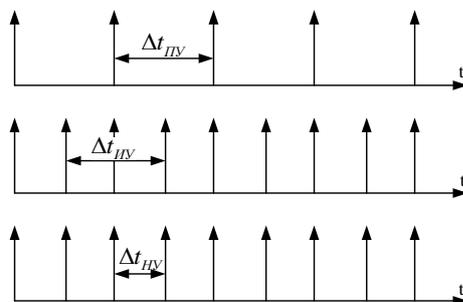


Рисунок 2 – Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения

В силу того, что базовая модель решения имеет три элемента, представим структурную схему управления в виде, показанном на рисунке 3.

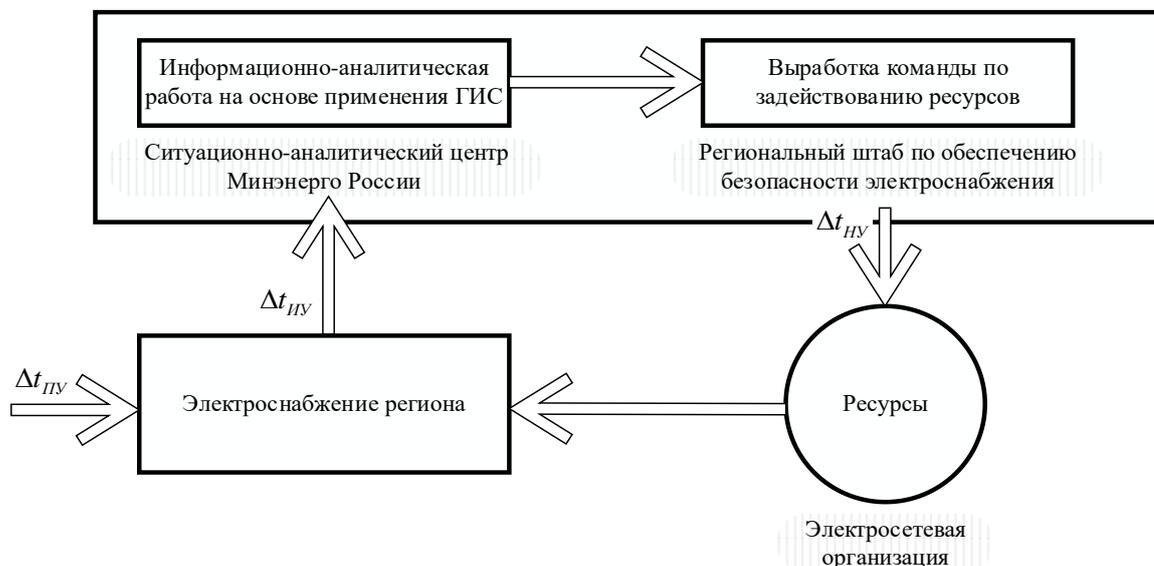


Рисунок 3 – Структурная схема управления процессом обеспечения безопасности региона

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

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

В соответствии с изложенным модель решения ЛПР характеризует четыре базовых состояния:

«S<sub>00</sub>» – ЛПР не идентифицирует (прогнозирование и мониторинг) угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона и не нейтрализует угрозу возникновения нарушения электроснабжения регион (предотвращение нарушения электроснабжения региона);

«S<sub>10</sub>» – ЛПР идентифицирует (прогнозирование и мониторинг) угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона и не нейтрализует

угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона (предотвращение нарушения электроснабжения региона);

«S<sub>01</sub>» –ЛПР не идентифицирует (прогнозирование и мониторинг) угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона и нейтрализует угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона (предотвращение нарушения электроснабжения региона);

«S<sub>11</sub>» – ЛПР идентифицирует (прогнозирование и мониторинг) угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона и нейтрализует угрозу возникновения нарушения электроснабжения регион (предотвращение нарушения электроснабжения региона).

В соответствии с описанной особенностью решения необходимо ввести вероятности нахождения системы, в основе которой лежит процесс обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов, в этих четырех состояниях. Соответственно получаются вероятности  $P_{00}$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{01}$ ,  $P_{11}$  нахождения системы в состояниях «S<sub>00</sub>», «S<sub>10</sub>», «S<sub>01</sub>», «S<sub>11</sub>».

Процесс формирования решения можно рассмотреть как цепь Маркова. 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. Характеристику переходов системы представлена на рисунке 4.

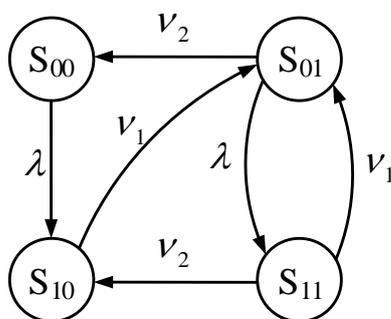


Рисунок 4 – Граф состояний процесса формирования решения

Для описания изменения состояний процесса формирования решения

были сделаны определенные допущения и предположения, и в результате проведенных расчетов была получена система уравнений, описывающих нахождение системы обеспечения безопасности электроснабжения региона (СОБЭР) в четырёх состояниях на рисунке 4:

$$\begin{aligned}
 P_{00} &= \frac{v_1 v_2}{\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2} \\
 P_{10} &= \frac{\lambda v_2 (\lambda + v_1 + v_2)}{(v_1 + v_2)(\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2)} \\
 P_{01} &= \frac{\lambda v_1}{(\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2)} \\
 P_{11} &= \frac{\lambda^2 v_1}{(v_1 + v_2)(\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2)}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Получив соотношения, определяющие вероятности нахождения системы в состояниях «S<sub>00</sub>», «S<sub>10</sub>», «S<sub>01</sub>», «S<sub>11</sub>», можно выработать требования к свойствам процесса идентификации (прогнозирование и мониторинг) угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона и к свойствам процесса нейтрализации угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона (предотвращение нарушения электроснабжения региона) в СОБЭР:

$$P_{00} = \frac{v_1 v_2}{\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2} \tag{3}$$

В этом соотношении связаны три параметра. Таким образом, установлена аналитическая зависимость обобщенных характеристик обстановки ( $\Delta t_{IV}$ ), информационно-аналитической деятельности ( $\Delta t_{IV}$ ) и нейтрализации проблемы ( $\Delta t_{IV}$ ), возникшей при управлении процессом обеспечения безопасности электроснабжения региона. Следуя работе академика П.К. Анохина, был получен СОФ создания СОБЭР в форме соотношения (3).

Человек в своей деятельности работает с 4 процессами:

1. Целевой процесс (электроснабжение региона).

2. Процесс проявления угрозы (проявления угрозы нарушения электроснабжения региона).

3. Процесс идентификации угрозы (прогнозирование и мониторинг угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона).

4. Процесс нейтрализации угрозы (предотвращение нарушения электроснабжения региона).

В связи с тем, что были введены новые переменные « $\zeta^+$ » и « $\zeta^-$ » ( $\zeta^+$  – интенсивность выполнения целевой задачи – электроснабжение потребителей ( $\zeta^+ = \frac{1}{T_э}$ ),  $\zeta^-$  – средняя частота срыва целевой задачи ( $\zeta^- = \frac{1}{T_{CP}}$ )), характеризующие целевой процесс, понятие «Решение» было преобразовано в агрегат – математическую модель решения следующего вида:

$$P = f(\Delta t_{ПУ}, \Delta t_{ИУ}, \Delta t_{НУ}, T_э, T_{CP}) \quad (4)$$

где  $\Delta t_{ПУ}$  – среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона;  $\Delta t_{ИУ}$  – среднее время прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона;  $\Delta t_{НУ}$  – среднее время предотвращения нарушения электроснабжения региона;  $T_э$  – среднее время выполнения целевой задачи (электроснабжение региона);  $T_{CP}$  – среднее время срыва целевой задачи (электроснабжение региона);  $P$  – показатель эффективности реализации решений по обеспечению безопасности электроснабжения региона. Это и есть условие существования процесса обеспечения безопасности электроснабжения региона.

Был составлен новый граф состояний процесса формирования решения с учетом целевого процесса (рисунок 5):

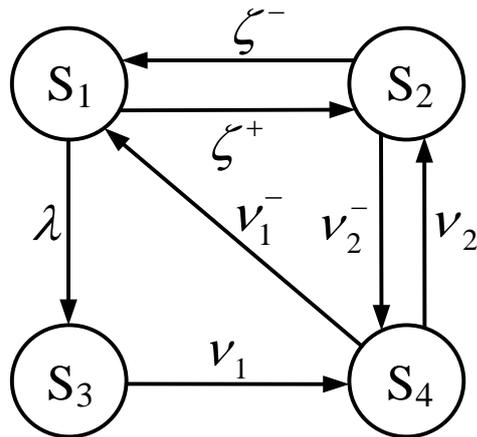


Рисунок 5 – Граф состояний процесса формирования решения с учетом целевого процесса

Состояние « $S_1$ » – нормальное (начальное состояние) объекта электроэнергетической системы – ВЛЭП (объект управления находится в начале рассматриваемого процесса передачи электроэнергии потребителям региона). Состояние « $S_2$ » – установленное безопасное функционирование объекта электроэнергетической системы – ВЛЭП, обеспечивающее требуемое энергоснабжение потребителей региона (объект управления выполняет свое предназначение). В процессе управления возможны штатные ситуации, которые характеризуются отработанными схемами и нештатные ситуации, когда в процессе управления возникает угроза (такая ситуация, в условиях которой возможности персонала не соответствуют сложившейся ситуации и приходится искать ресурсы по разрешению возникшей проблемы). В связи с этим появляется третье базовое состояние СОБЭР, которое характеризуется фактом проявления проблемы (проявления угрозы нарушения электроснабжения региона) – состояние « $S_3$ ». При нахождении процесса управления в состоянии « $S_3$ » персонал электроэнергетического объекта должен идентифицировать возникшую угрозу (прогнозирование и мониторинг угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона). Способность участника процесса управления своевременно реагировать на потенциальную возможность возникновения проблемы определяет его профессиональную пригодность, основанную на квалифицированной

подготовке кадров. На этом этапе происходит подготовка к привлечению дополнительных ресурсов для решения проблемы. Таким образом, процесс управления переходит в состояние «S<sub>4</sub>». Состояние «S<sub>4</sub>» – анализ необходимости применения конкретных ресурсов для достижения цели управления и разработка первоочередных действий.

Частоты срывов процессов идентификации и нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона представлены следующими параметрами:

–  $v_1^- = \frac{N_{ИУ}^{CP}}{N_{ИУ}}$  – частота срыва идентификации угрозы (прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона), где  $N_{ИУ}^{CP}$  – количество срывов процессов идентификации угрозы,  $N_{ИУ}$  – общее количество процессов идентификации угрозы;

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

Руководствуясь ранее озвученными умозаключениями, составлены следующие соотношения (5), которые являются решением данной системы:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{\zeta^- v_1 v_2 + v_1 v_1^- (\zeta^- + v_2^-)}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \\
 P_2 &= \frac{v_1 v_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^+ v_1 v_1^-}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \\
 P_3 &= \frac{\zeta^- \lambda v_2 + \lambda v_1^- (\zeta^- + v_2^-)}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \\
 P_4 &= \frac{v_1 v_2^- (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^- \lambda v_1}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Теперь базовая модель решения имеет семь элементов, представить структурную схему обеспечения безопасности электроснабжения региона можно в виде, показанном на рисунке 6.

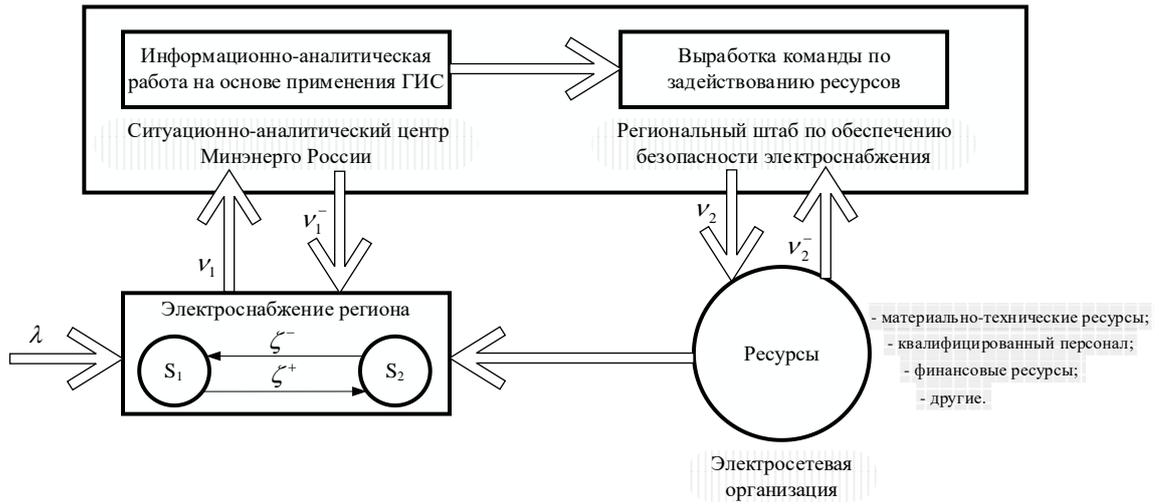


Рисунок 6 – Структурная схема управления процессом обеспечения безопасности региона с учетом целевого процесса

Изучая полученную модель решения человека в рамках процесса обеспечения безопасности электроснабжения региона, можно математически подобрать необходимые средние значения времен, затрачиваемых на идентификацию и нейтрализацию угрозы нарушения электроснабжения региона с целью обеспечить требуемый показатель эффективности СОБЭР.

На рисунке 7 представлено распределение вероятностей нахождения СОБЭР в определенных положениях на графе состояний процесса формирования решения без учета целевого процесса.

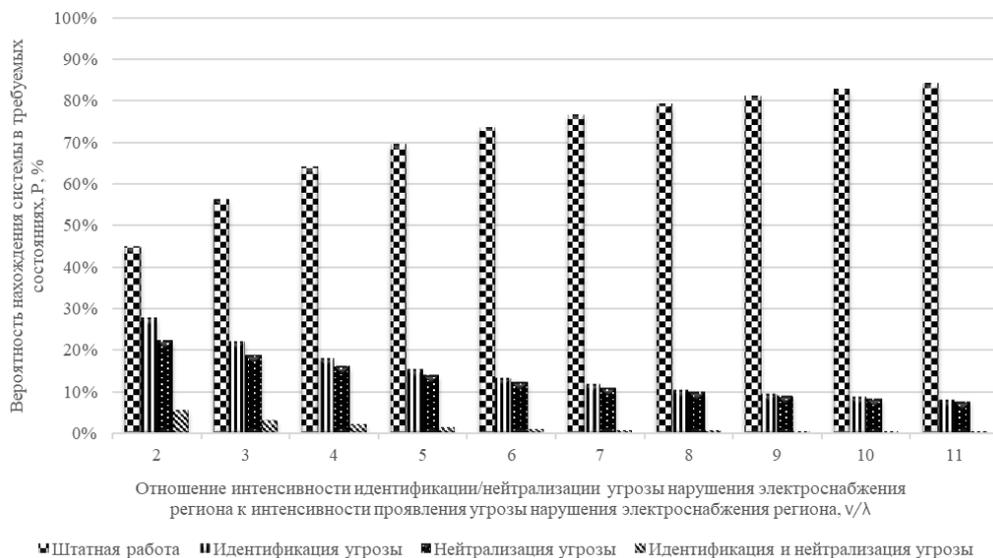


Рисунок 7 – Распределение вероятности нахождения в базовых состояниях СОБЭР

В соответствии с критерием гарантированного управления бесперебойным и устойчивым электроснабжением региона вероятность нахождения СОБЭР выше значения 80%, считающегося наиболее приемлемым значением для удовлетворительного обеспечения безопасности объекта, при отношении интенсивности идентификации/нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона к интенсивности проявления угрозы нарушения электроснабжения региона равно  $8: v_1/\lambda = v_2/\lambda > = 8$ . Таким образом, рекомендуемые значения средних времен идентификации и нейтрализации угроз нарушения электроснабжения региона должны быть меньше среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона в 8 раз.

В **третьей главе** «Разработка технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона на основе решения обратной задачи управления в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе системной интеграции процессов обеспечения безопасности» была получена технология обеспечения безопасности электроснабжения региона.

Говорить о нормальном (штатном) функционировании объекта можно только при условии обеспечения его безопасности. Безопасность – свойство системы сохранять свое предназначение (в данном случае – электроснабжение потребителей). Нарушения электроснабжения особенно характерны для электрических сетей, расположенных в гололедных районах, где ВЛЭП подвержены опасным воздействиям гидрометеорологических факторов. Практика показывает, что гололедные аварии на ВЛЭП относятся к числу наиболее тяжелых и могут дезорганизовать электроснабжение больших экономических районов.

Переходы между состояниями характеризуются определенными переменными. На рисунке 8 представлены входные и выходные данные СОБЭР в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов:

$\zeta^+$  – величина, обратная среднему времени выполнения целевой задачи (электроснабжение региона);

$\zeta^-$  – частота срыва выполнения целевой задачи (нарушение электроснабжение региона);

$\lambda$  – частота проявления угрозы (угрозы нарушения электроснабжения региона);

$\nu_1$  – частота идентификации угрозы (прогнозирование и мониторинг угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона);

$\nu_2$  – частота нейтрализации угрозы (предотвращение нарушения электроснабжения региона);

$\nu_1^-$  – частота срыва идентификации угрозы (прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона);

$\nu_2^-$  – частота срыва нейтрализации угрозы (предотвращения нарушения электроснабжения региона);

$P_2$  – показатель эффективности системы обеспечения безопасности электроснабжения региона (каждая угроза нарушения электроснабжения региона идентифицирована и нейтрализована).

Значения переменных  $\zeta^+$ ,  $\zeta^-$  ЛПР не в состоянии изменить, так как они зависят от характеристик самой электроэнергетической системы (задаются требованиями к процессу передачи электрической энергии). Показатель  $\zeta^-$  задается исходя из требований по электроснабжению потребителей.

Значения переменных  $\lambda$  и  $\nu_1$  получаются из обработки географических пространственных данных, полученных при помощи ГИС. При этом  $\lambda$  зависит от гидрометеорологических условий на рассматриваемой территории в конкретный промежуток времени, в то время как  $\nu_1$  фактически задается ситуационно-аналитическим центром Минэнерго России для достижения необходимого показателя эффективности СОБЭР. Переменные  $\nu_2$ ,  $\nu_1^-$  и  $\nu_2^-$  являются показателями системы оперативно-диспетчерского управления, то есть электросетевой организации. Показатели  $\nu_1^-$  и  $\nu_2^-$  задаются исходя из

опыта и квалификации персонала, задействованного при управлении процессом передачи электроэнергии.

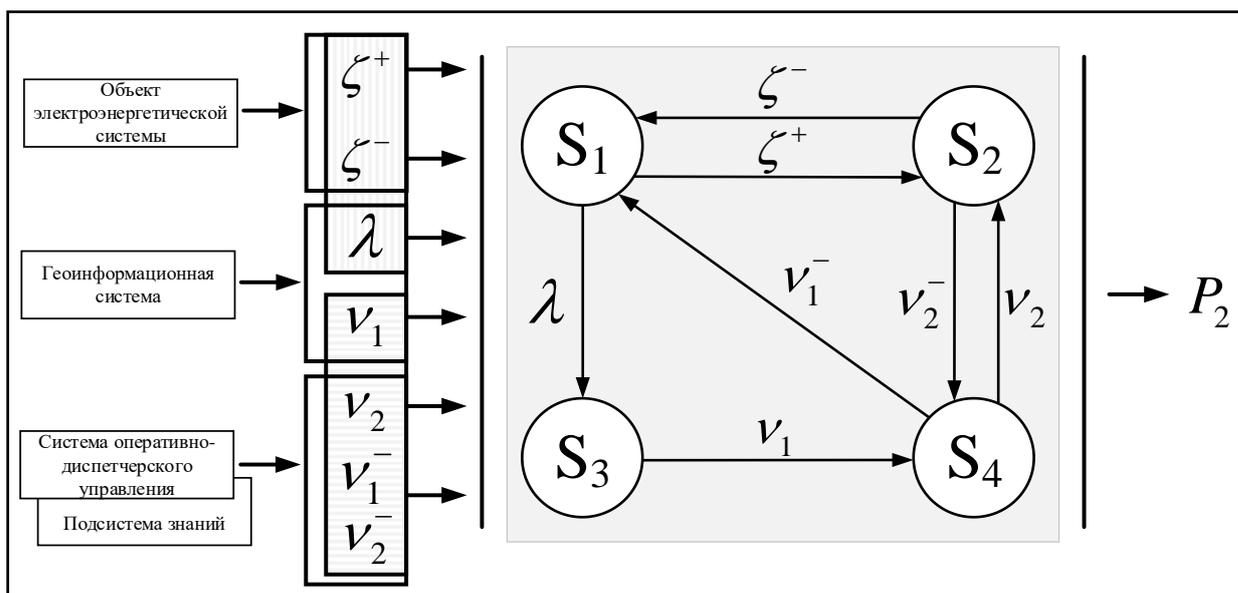


Рисунок 8 – Входные и выходные данные СОБЭР в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов

При обеспечении безопасности электроснабжения региона участвует человек (оператор), который использует технические средства в процессе своей деятельности. Таким образом, в процессах идентификации и нейтрализации угроз обнаруживаются две составляющие: человеческий фактор и техническое оснащение. Разумеется, что данными показателями нужно оперировать в интересах достижения цели деятельности.

Среднее время идентификации угрозы (прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона) имеет 2 составляющие:

$$\Delta t_{\text{ИУ}} = \Delta t_{\text{ИУ}}^{\text{ЧФ}} + \Delta t_{\text{ИУ}}^{\text{ТО}}, \quad (6)$$

где  $\Delta t_{\text{ИУ}}^{\text{ТО}}$  – среднее время идентификации угрозы (прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона), которое зависит от технического оснащения, а  $\Delta t_{\text{ИУ}}^{\text{ЧФ}}$  – среднее время идентификации угрозы (прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона), которое зависит от человеческого фактора.

Среднее время нейтрализации угрозы (предотвращения нарушения электроснабжения региона) также имеет 2 составляющие:

$$\Delta t_{\text{НУ}} = \Delta t_{\text{НУ}}^{\text{ЧФ}} + \Delta t_{\text{НУ}}^{\text{ТО}}, \quad (7)$$

где  $\Delta t_{\text{НУ}}^{\text{ТО}}$  – среднее время нейтрализации угрозы (предотвращения нарушения электроснабжения региона), которое зависит от технического оснащения, а  $\Delta t_{\text{НУ}}^{\text{ЧФ}}$  – среднее время нейтрализации угрозы (предотвращения нарушения электроснабжения региона), которое зависит от человеческого фактора.

Таким образом интенсивность идентификации угрозы (прогнозирования и мониторинга угрозы возникновения нарушения электроснабжения региона) и нейтрализации угрозы (предотвращения нарушения электроснабжения региона) можно представить в следующем виде соответственно:

$$v_1 = \frac{1}{\Delta t_{\text{ИУ}}^{\text{ЧФ}} + \Delta t_{\text{ИУ}}^{\text{ТО}}} \quad (8)$$

$$v_2 = \frac{1}{\Delta t_{\text{НУ}}^{\text{ЧФ}} + \Delta t_{\text{НУ}}^{\text{ТО}}} \quad (9)$$

Проблема учета человеческого фактора очевидна. Каждый человек имеет собственные психологические и физиологические показатели, которые к тому же могут меняться с течением времени из-за влияния тех или иных условий и обстоятельств. Хотя можно предпринять попытку усреднить среднее время идентификации или нейтрализации угрозы, пользуясь данными об обучении персонала или профессиональной подготовке категорий сотрудников. Тем не менее, несомненно, техническое оснащение играет важную роль в процессах идентификации и нейтрализации угроз, так как позволяет значительно сократить время их продолжительности. Используя вышеприведенные результаты, ЛПР может выработать требования к техническому оснащению персонала электроэнергетической системы для достижения требуемого показателя эффективности СОБЭР.

Служба ситуационно-аналитического центра Минэнерго России, ответственная за прогнозирование параметров гидрометеорологических факторов и мониторингом состояния обстановки на контролируемой территории в целях предупреждения аварии на ВЛЭП в результате обрыва проводов из-за ГИО должна руководствоваться следующим алгоритмом (рисунок 9).

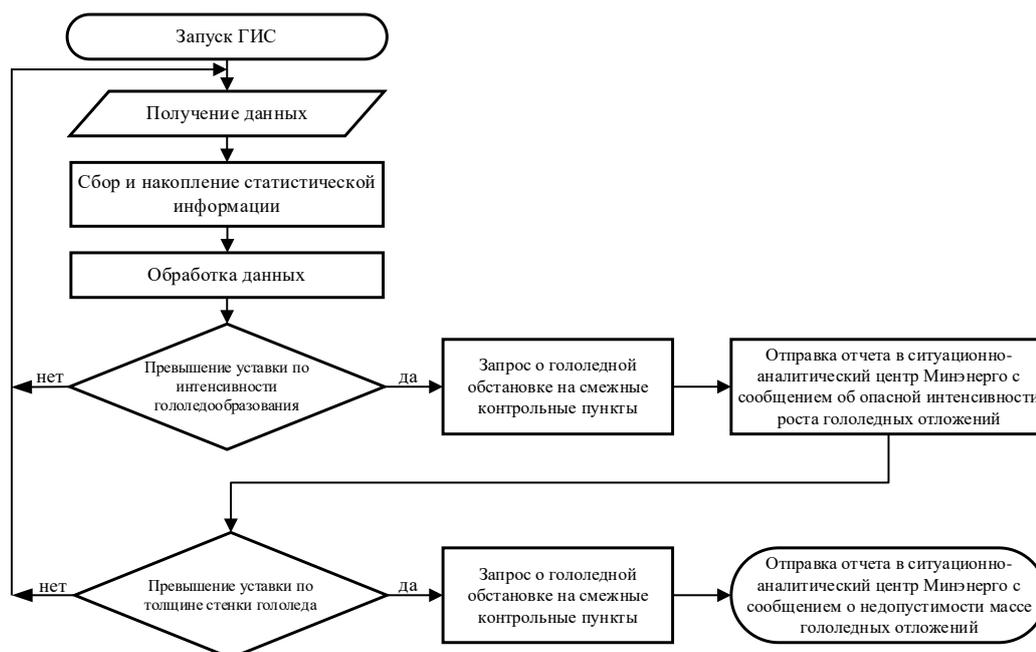


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма применения ГИС

Процесс образования ГИО на поверхности провода (процесс проявления угрозы) зависит от следующих параметров:

- $T$  – температура окружающей среды, °C;
- $V$  – скорость ветра, м/с;
- $P$  – относительная влажность воздуха, %;
- $Z$  – вид атмосферного явления (дождь, морось, мокрый снег, туман).

Зависимость интенсивности проявления угрозы нарушения электроснабжения региона от гидрометеорологических факторов может быть представлена следующим образом:

$$\lambda = f(T, V, P, Z) \quad (10)$$

Совокупность гидрометеорологических факторов, при которых образуется или отсутствует тот или иной вид ГИО, характеризуют

обстановку на определенной территории за конкретный период времени. Обозначим такую совокупность символом «С», тогда за время  $t$  территорию можно охарактеризовать как:

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i \quad (10)$$

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

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1 & V_1 & P_1 & Z_1 \\ T_2 & V_2 & P_2 & Z_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_n & V_n & P_n & Z_n \end{bmatrix} \quad (11)$$

Полученная матрица отражает гидрометеорологическую обстановку в районе пролегания контролируемой линии электропередачи.

Обозначим  $Z_m$  – морось,  $Z_d$  – дождь,  $Z_t$  – туман,  $Z_s$  – мокрый снег.

Тогда условия образования ГИО можно представить в следующем виде:

– для гололеда:

$$\left\{ \begin{array}{l} -5 \leq T < 0 \\ 2 \leq V < 15 \\ V_{max} < 40 \\ Z_m/Z_d/Z_t \end{array} \right\} \quad (12)$$

– для зернистой (плотной) изморози:

$$\left\{ \begin{array}{l} -20 \leq T < -3 \\ 1 \leq V < 15 \\ V_{max} < 40 \\ Z_m/Z_t \end{array} \right\} \quad (13)$$

– для кристаллической изморози:

$$\left\{ \begin{array}{l} -30 \leq T < -5 \\ 0 \leq V < 3 \\ 5 \leq V_{max} < 7 \\ Z_t \end{array} \right\} \quad (14)$$

– для смешанного отложения:

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

– для мокрого снега:

$$\left\{ \begin{array}{l} -2 \leq T < +1 \\ 0 \leq V < 10 \\ 20 \leq V_{max} < 30 \\ Z_s \end{array} \right\} \quad (16)$$

При температуре провода ВЛЭП выше 0 градусов по Цельсию и влажности воздуха менее 80%, условия для проявления гололеда не образуются. Условия исключения образования ГИО на поверхности провода можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{пр} > 0 \\ P < 80\% \end{array} \right\} \quad (17)$$

В контексте СОБЭР взаимодействие между участниками (заинтересованными лицами) требует единой модели, которая объединяет основные структурные элементы, чтобы обеспечить адекватное формирование процесса электроснабжения региона (рисунок 10).

Участники системы обеспечения безопасности электроснабжения региона				
Объект электроэнергетической системы	Сетевой график целевого процесса (электроснабжение региона)			$\zeta^+$   $\zeta^-$
Геоинформационная система	Сетевой график проявления угрозы гидрометеорологического характера			$\lambda$
	Сетевой график идентификации угрозы гидрометеорологического характера			$V_1$
Система оперативно-диспетчерского управления	Сетевой график нейтрализации угрозы гидрометеорологического характера			$V_2$
	Прямая задача		Обратная задача	
	Входные данные	Выходные данные	Входные данные	Выходные данные
	$P_2 = f(\zeta^+, \zeta^-, \lambda, V_1, V_2, V_1^-, V_2^-)$		$P_2$	$P_2 = f(\zeta^+, \zeta^-, \lambda, V_1, V_2, V_1^-, V_2^-) \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \rightarrow P_2$
Подсистема знаний	Декларативное знание (требования стандартов, технологические показатели, руководящие документы, математические зависимости и т.д.).			$V_1^-, V_2^-$
	Знание технологического процесса (программа поиска неисправностей, аналитический метод, расчеты и т.д.).			
	Стратегическое знание (надежность элементов, пространство возможных решений, суррогатная модель и т.д.).			

Рисунок 10 – Составляющие элементы СОБЭР

Участникам СОБЭР назначаются три роли в зависимости от их ответственности при принятии решений: региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения, ситуационно-аналитический центр Минэнерго России, электросетевая организация. Региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения отвечает за анализ системных требований и уточнение траектории функционирования объекта. Таким образом, 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. Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России отвечает за разработку подробных процессов идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона и формулирование соответствующих моделей воздействия гидрометеорологических факторов на электрические сети, в конечном итоге используя знания предметной области, чтобы судить о приемлемости результатов прогнозирования для предоставления достаточных рекомендаций по принятию решений. Таким образом, создание и реализация шаблонов событий и процессов идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона является основным направлением работы ситуационно-аналитического центра Минэнерго России. Электросетевая организация несет ответственность за подготовку и реализацию задач для конкретного процесса принятия решений и за определение окончательных технологических параметров посредством идентифицированных превентивных действий при тщательном исследовании процесса функционирования электрических сетей. Информационная поддержка знаний о возможности повторного использования позволяет электросетевой организации сосредоточить свои усилия на создании и улучшении текущих

процессов нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона для конкретных подходов к решению проблем.

Разработанная технология обеспечения безопасности электроснабжения позволяет рассматривать два варианта управления процессом обеспечения безопасности: путем решения прямой задачи управления, путем решения обратной задачи управления.

При решении прямой задачи путем подстановки переменных в уравнение (4) определяется показатель эффективности системы управления процессом передачи электроэнергии. Затем проводится сравнение полученного показателя с заранее определенным допустимым показателем. Если выявляется несоответствие (показатель эффективности ниже допустимого), то решается обратная задача (путем подстановки в уравнение (4) определяется, какое значение должно быть у  $v_1$ , либо у  $v_2$ , либо у  $v_1^-$ , либо у  $v_2^-$ ). Блок-схема функционирования технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов представлена на рисунке 11.

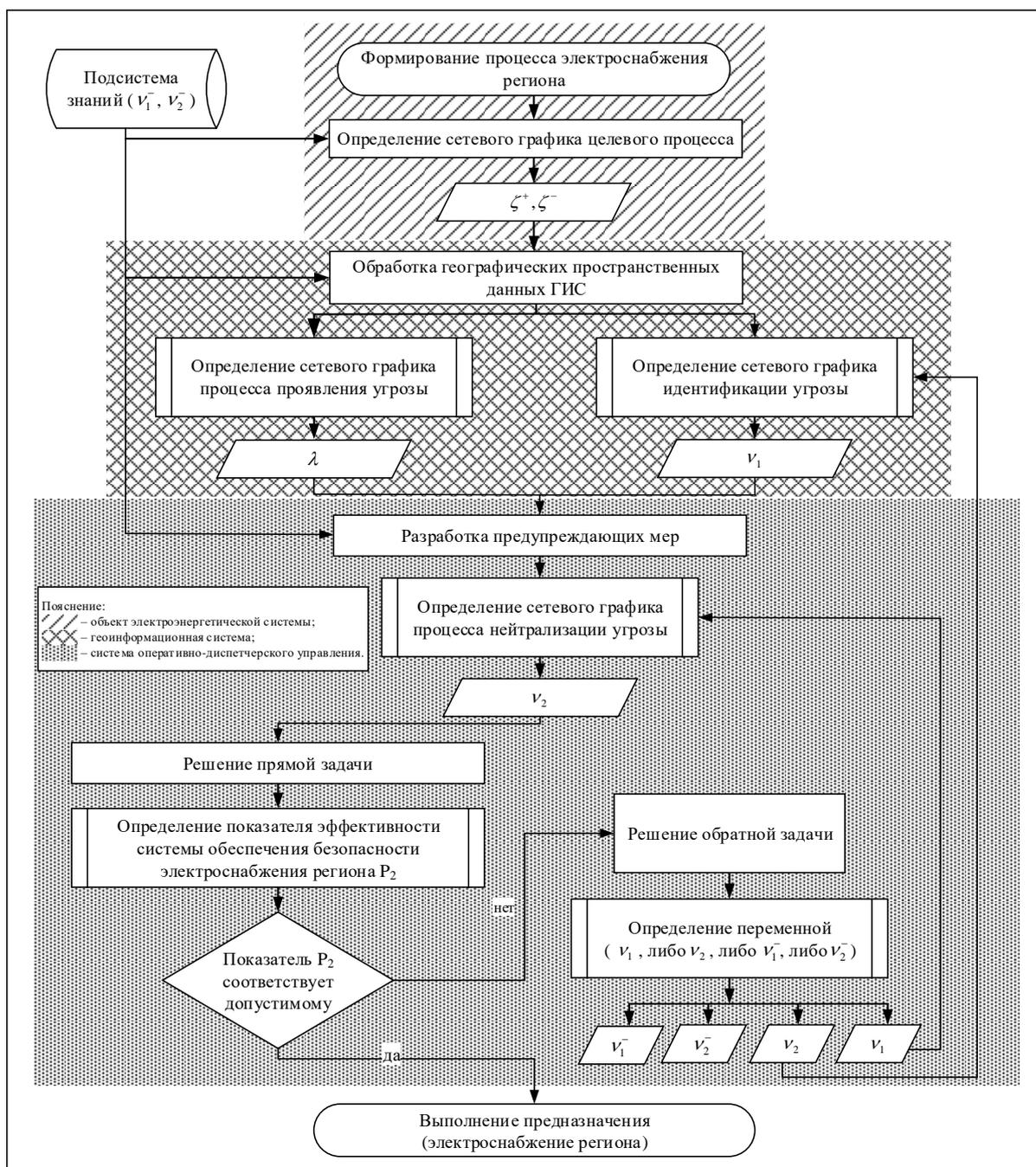


Рисунок 11 – Блок-схема функционирования технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов

В четвертой главе «Разработка предложений по совершенствованию технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи» были разработаны предложения по совершенствованию:

– информационного обеспечения технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона;

- технического оснащения технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона;

- кадрового обеспечения технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона.

По первому пункту были получены следующие результаты. Объём информационного потока, поступающего на вход системы управления, нередко превышает возможность восприятия и осознания информации человеком. Это снижает эффективность деятельности ЛПР.

Актуальна задача разработки инструментов, облегчающих принятие приемлемых решений ЛПР в процессе управления объектами электроэнергетической отрасли. Не менее важная проблема связана с обучением и постоянной тренировкой оперативного персонала, развитием его способностей быстро принимать решения в нестандартных ситуациях. Очевидная взаимосвязанность этих проблем предполагает их рассмотрение и решение в неразрывном единстве.

Проблемно-ориентированная ГИС является тем необходимым инструментом, который может использоваться для определения конкретных действий со стороны ЛПР. При этом ЛПР должен, несомненно, являться профессионалом в конкретной предметной области.

Подход, реализованный в проблемно-ориентированной ГИС, представляет собой методологию построения диалоговых систем оперативно-диспетчерского управления электроэнергетическими системами и позволяет:

- совместно описывать постановку и методы решения большой совокупности локальных задач, составляющих одну общую задачу оперативно-диспетчерского управления;

- интегрировать в модели всю пользовательскую информацию о предметной области управления, включая данные о состоянии объекта управления;

- установить связь этих данных с постановкой любой совокупности задач с методами управляющих решений;
- автоматизировать планирование процессов поиска решения задач и обмена информацией;
- наблюдать за логикой принятия решений и получением объяснений как о действиях оперативного персонала, так и о процедурах и данных, положенных в основу разработки предупреждающих действий.

Требуемая архитектура проблемно-ориентированной ГИС представлена на рисунке 12.

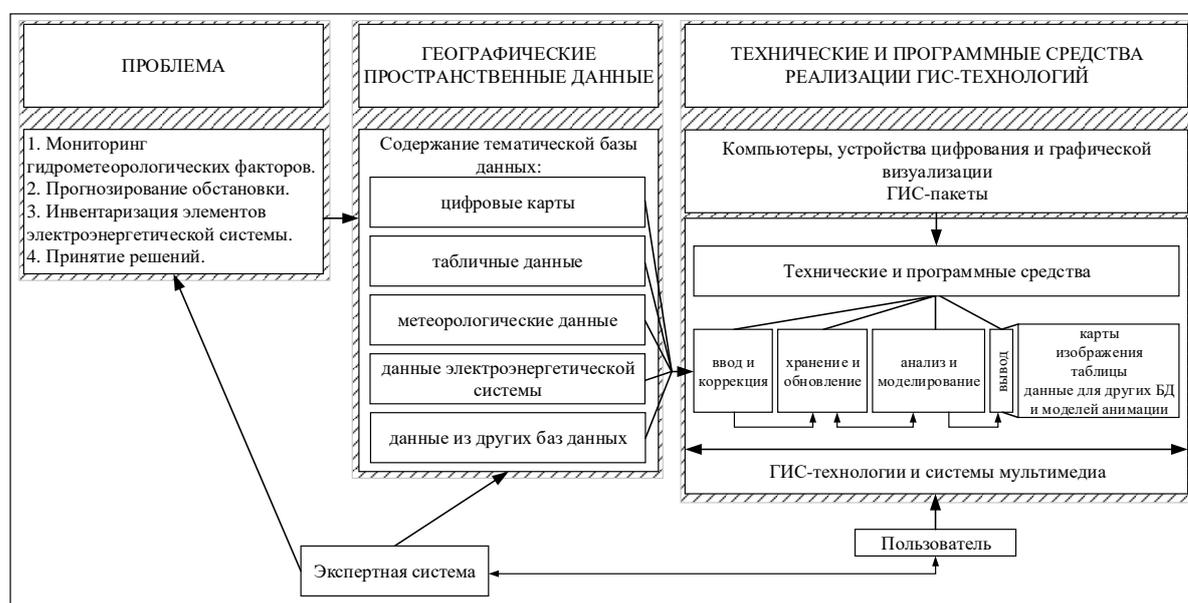


Рисунок 12 – Представление проблемно-ориентированной ГИС

В таблице 2 представлены группы базовых слоев и их обязательные составляющие, наличие которых обязательно для рассмотренной проблемно-ориентированной ГИС.

Таблица 2 – Базовые слои и их составляющие проблемно-ориентированной ГИС

№ п/п	Группа слоев	Составляющие
Цифровые карты		
1	Природные элементы ландшафта	рельеф
		водные объекты
		почвенный покров
		растительность
2	Техногенные элементы ландшафта	сооружения
		здания
		дорожная сеть

№ п/п	Группа слоев	Составляющие
Данные электроэнергетической системы		
1	Сооружения	подстанции
		опоры
		воздушные линии электропередачи
2	Места размещения	аварийный резерв
		мобильные бригады
		спецтехника
		мобильные модульные подстанции
		резервные источники снабжения электроэнергией
Метеорологические данные		
1	Метеорологические величины	температура воздуха, °С
		скорость ветра, м/с
		направление ветра, °
		влажность воздуха, %
		атмосферное давление, мм. рт. ст.
2	Гидрометеорологические явления	количество осадков, мм
		гроза
		град
		дождь
		снег

На рисунке 13 представлено структурное взаимодействие компонентов СОБЭР: электросетевая организация (система оперативно-диспетчерского управления), ситуационно-аналитический центр Минэнерго России (геоинформационная система), региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения (электроэнергетическая система).

В целях информационного обеспечения технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона ГИС предназначена для формирования атласа карт, топографических планов, дорожно-транспортной сети, моделей объектов электроэнергетической системы, зданий и сооружений. Связь с электроэнергетической системой осуществляется через идентификационные ссылки на объекты электроэнергетической системы. В результате предоставляется возможность обработки и хранения кадастровых, нормативных, описательных, функциональных, технологических, экономических, финансовых и других данных об объектах электроэнергетической отрасли. Данные накладываются и при помощи

технических и программных средств отображаются в системе оперативно-диспетчерского управления.

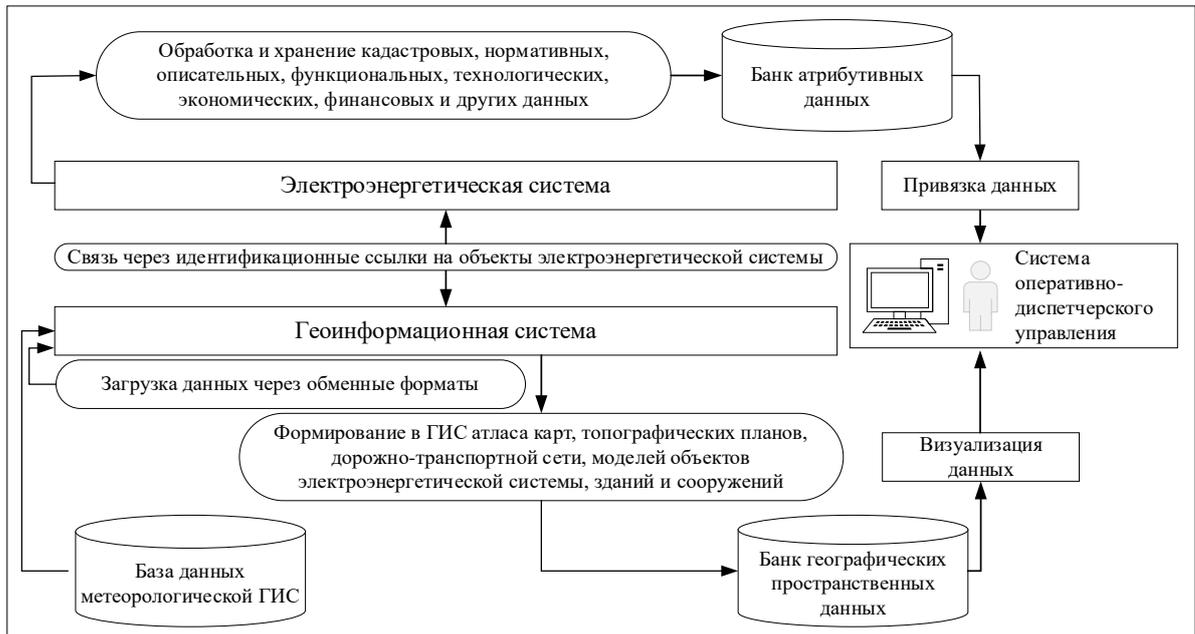


Рисунок 13 – Структурное взаимодействие компонентов СОБЭР

Предложения по совершенствованию технического оснащения технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона заключаются в том, что система электроснабжения обладает как внутренней, так и внешней средой. Под внешней средой понимается множество всех объектов и обслуживающих их людей вне системы. Внешняя среда имеет следующие особенности:

1. Изменение признаков внешней среды (или внешних факторов) влияет на систему электроснабжения. Среди внешних факторов выделяются как воздействия, имеющие отрицательное влияние на объект управления (гидрометеорологические факторы, плохое качество элементов объекта электроэнергетической отрасли, плохая подготовка персонала и т.д.), так и воздействия, предназначенные для оказания положительного эффекта (плавка гололеда, изменение режима работы сетей, переключения и др.).

В качестве критерия безопасности системы электроснабжения рассматривается неравенство:

$$\Delta T_{\text{км}} < \Delta t_{\text{ПУ}}, \quad (18)$$

где  $T_{\text{км}}$  – сумма фактически затраченного времени при реализации комплексных мероприятий (КМ), оперативно предпринятых для ликвидации опасной ситуации, возникшей при появлении гололедообразования в системе электроснабжения,  $\Delta T_{\text{км}} = \Delta t_{\text{иу}} + \Delta t_{\text{пу}}$ ;  $\Delta t_{\text{пу}}$  – время наступления необратимых последствий, нарушающих электроснабжение в период гололедообразования.

2. Изменение признаков самой системы электроснабжения оказывает влияние на внешнюю среду, например, если ухудшится такой признак ВЛЭП (компонент системы электроснабжения), как соответствие реальных и проектных (расчетных) гололедно-ветровых нагрузок, то это приведет к изменению такого признака проектных решений института (объект внешней среды), как новые карты нормативных районов по ветру и гололеду.

К внутренней среде системы должны принадлежать объекты и люди, непосредственно обеспечивающие электроснабжение. Внутренняя среда – это электрические сети плюс оперативный персонал, внешняя – все остальное.

Согласно ранее приведенным соотношениям (6) и (7) очевидно, что, заранее установив показатель эффективности СОБЭР, можно подобрать требуемое техническое оснащение для осмотра и контроля состояния ВЛЭП, а также устранения ГИО.

Согласование технико-технологических параметров объектов электроэнергетической отрасли, ресурсов информационных систем с возможностями и свойствами людей, управляющих техникой, – важный резерв повышения эффективности СОБЭР.

При разработке предложений по совершенствованию кадрового обеспечения технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона отмечено, что тенденции развития систем управления объектом электроэнергетической отрасли таковы, что роль ЛПП все более сводится к контролю за функционированием оборудования и вмешательствам при

возникновении нестандартных ситуаций, т.е. ситуаций, требующих принятия решений.

Для подготовки ЛПР необходимо организовать такой подход к обучению, который рассчитан на получение новой и необходимой информации через изучение и решение теоретических и практических проблем, рассматриваемых в срезе возможной проблемной ситуации. Поэтому для развития оперативного мышления требуется применять проблемное обучение, которое позволяет полноценно сосредоточиться на различии ситуаций, встречающихся в оперативной деятельности.

Возможны следующие рекомендации:

1. Уровень надежности ЛПР не может быть надлежащим образом определен в обычных условиях работы. Поэтому специалистами, занимающимися такими вопросами, рекомендуется в процессе обучения вводить обучаемый персонал в условия экстремальной непредвиденной ситуации.

Такое требование вызывает, по крайней мере, два следствия:

а) изучение поведения ЛПР в экстремальных условиях можно систематически проводить только на специальных полигонах и тренажерах;

б) для тренировки ЛПР необходимо применять игровое обучение, так как оно предполагает «клинические» методы, что несравненно ценнее для ЛПР, нежели лекции и учебники, с помощью которых трудно создать условия, побуждающие людей самостоятельно развивать и применять творческие способности.

2. Системный подход к проблеме надежности предполагает математическое моделирование системы «человек – электрические сети». Кратко суть примененного в работе имитационного моделирования в следующем: предлагается ряд параметров, определяющих системы управления, затем эти параметры моделируются, а результаты сравниваются с допустимым уровнем эффективности системы управления. Особенность имитационного моделирования в том, что не делается попытка моделировать

истинные механизмы, действующие в мозговых структурах человека, а находится и конструктивно описывается удовлетворяющее нас объяснение поведения ЛПР на основе модели решения.

Это позволяет перейти к систематическому изучению особенностей деятельности ЛПР в условиях соревнования на полигоне. В результате такого изучения может быть внесена значительная ясность в организацию игрового обучения ЛПР, что представлено на рисунке 14.

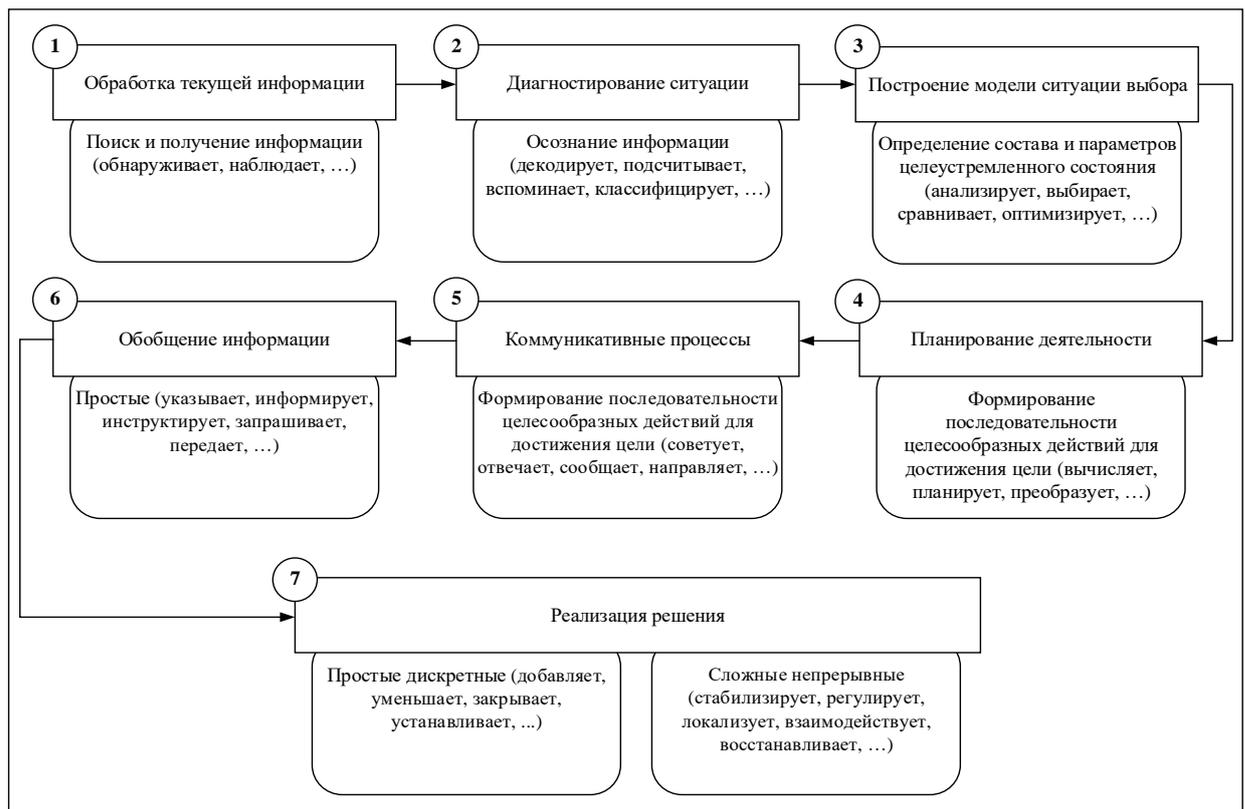


Рисунок 14 – Этапы организации игрового обучения ЛПР

### Результаты и их обсуждение

Задача автора заключалась в представлении возможных путей системного решения проблемы обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов.

**Основные выводы и итоги.** Был разработан СОФ СОБЭР в виде математической модели решения человека. Процесс принятия решения представляет собой выбор подходящей альтернативы из ряда возможных. Всегда ЛПР находится в ситуации выбора, он должен выработать планы

действий и, сравнив их, сделать выбор. Но при наличии СОФ и при постановке конкретной цели (установлении показателя эффективности СОБЭР) перед ЛПР есть только одно, адекватное сложившейся обстановке решение. Принятие решения как выбор упорядоченных СОФ альтернатив позволяет гарантировать бесперебойное электроснабжение региона в условиях воздействия различных факторов окружающей среды, в том числе гидрометеорологических.

Сложность выявления законов синтеза СОБЭР состоит в том, что её три составляющие компонента должны быть едины и в то же время отражать их отличительные особенности.

Проводить натурные эксперименты с целью выявления связей между гидрометеорологическими факторами и критерием системы электроснабжения не представляется возможным не только в силу непрерывного характера электроснабжения, но также и потому еще, что любая содержательная гипотеза о поведении такой сложной системы требует специального и независимого исследования. Эту задачу можно решить только методами математического моделирования и численного экспериментирования.

Человек остается важнейшим звеном как в ныне существующих, так и проектируемых системах управления. Это полностью относится и к системам электроснабжения. Частичное моделирование некоторых функций человека не может служить основанием для предположения о том, что человек будет вытеснен из сферы управления и обеспечения безопасности электроснабжения.

Особенность деятельности персонала, предотвращающего или ликвидирующего обледенение ВЛЭП, состоит в том, что на стадии принятия им решения персонал работает с информационной моделью системы электроснабжения. Поэтому то, насколько точно и своевременно будут получены и обработаны входящие параметры зависит устойчивость и бесперебойность процесса передачи электроэнергии. Недостаточная или ошибочная информация может привести к катастрофическим последствиям

для человеческого общества. Взаимодействие компонентов системы управления должно быть согласованным и оперативным, не допуская задержек и перерывов, так как время является единственным невозполнимым ресурсом для человека. Основываясь на средних временах проявления, идентификации и нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона, важно подобрать такую функциональную структуру системы управления, чтобы сумма времени, затрачиваемого на идентификацию и нейтрализацию угрозы была как можно значительно ниже, чем время, необходимое для проявления угрозы. Применяя технологию обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе системной интеграции процессов обеспечения безопасности в условиях гололёдно-ветровой ситуации, можно гарантировать своевременное предотвращение всех возникающих в процессе осуществления деятельности угроз.

В целом, в исследовательской работе предложены основы построения технологии обеспечения безопасности электроснабжения на основе применения ГИС. Представленное моделирование процессов управления безопасностью предоставляет возможность применения в организациях гарантированного подхода к управлению процессами устойчивого и надежного электроснабжения.

**Рекомендации.** Предложенный в рамках диссертационного исследования подход на основе ЗСЦО позволяет гарантировать достижение требуемой цели деятельности в виде обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов. Интеграция трех компонентов (региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения, ситуационно-аналитический центр Минэнерго России, электросетевая организация) в единую модель управления является необходимым инструментом для решения задачи по предотвращению нарушения

электроснабжения. В связи с этим, полученные результаты рекомендуются для внедрения в системы управления электроэнергетической отраслью.

**Перспектива.** Нахождение численных значений показателей СОБЭР представляет собой чрезвычайно сложную и трудоемкую задачу. Необходимо подчеркнуть, что единственным источником для определения численных значений является опыт либо натурный эксперимент, проведение которого чрезвычайно осложнено различными обоснованными факторами. Поэтому реальными являются два пути: обработка эксплуатационных данных, содержащихся в оперативных журналах, сводках, актах и других документах, и постановка численного эксперимента при помощи средств ЭВМ. Следовательно, следующие работы в области тематики исследования будут направлены на разработку методики установления численных значений показателей СОБЭР.

### **Заключение**

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной научной задачи обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов.

По итогу проведенного исследования были получены следующие результаты:

- проанализированы методы и технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды;
- разработана модель обеспечения безопасности электроснабжения региона на базе применения геоинформационной системы;
- разработана технология обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивных воздействий гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе системной интеграции процессов обеспечения безопасности;

- разработаны предложения по совершенствованию технологии обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи.

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

**Список работ, опубликованных по теме научно-квалификационной работы (диссертации)**

**Публикации в изданиях, рецензируемых ВАК**

1. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., Полюхович М.А. Разработка модели управления процессами обеспечения безопасности эксплуатации электроустановки // ТТПС. – 2018. – №4 (46). – С. 33-38.
2. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., Полюхович М.А. Разработка технологии управления безопасностью электрических сетей на основе применения геоинформационной системы // ТТПС. – 2020. – №2 (52). – С. 40-47.
3. Ефремов С.В., Логвинова Ю.В., Полюхович М.А. Метод оценки производственной среды нестационарных рабочих мест // Безопасность жизнедеятельности. – 2020. – № 6 (234). – С. 8-12.
4. Бурлов В.Г., Полюхович М.А. Синтез системы обеспечения безопасности электроснабжения региона // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – №2 (58). – Том 11. [в печати]

**Публикации в изданиях, рецензируемых в Scopus**

1. Polyukhovich, M., Burlov, V., Mankov, V., & Bekbayev, A. (2019). Electric power supply management of the construction site in the interests of facilitating electrical safety. Paper presented at the E3S Web of Conferences, , 140 doi:10.1051/e3sconf/201914008006
2. Burlov, V., Mankov, V., & Polyukhovich, M. (2020). Safety management of the electric power supply process of the construction site, taking into account the qualification of the manager. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, , 890(1) doi:10.1088/1757-899X/890/1/012186

3. Burlov, V., Mankov, V., Tumanov, A., & Polyukhovich, M. (2021). Safety management technology of electric networks using geo information system doi:10.1007/978-3-030-57453-6\_5

4. Efremov, S., Logvinova, Y., Russkova, I., & Polyukhovich, M. (2020). A method for assessing climatic parameters working at low temperatures as an element of technological safety. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 539(1).

5. Polyukhovich M., Burlov V., Mankov V. (2022). Information system for managing the electric power transmission process under the conditions of the hydrometeorological factors destructive impact. Сборник статей конференции: DiEarth 2021: Международная научно-исследовательская конференция по перспективным исследованиям Земли: геодезия, геоинформатика, картография, землеустройство и кадастры. [в печати]

#### **Публикации в изданиях, рецензируемых в Web of Science**

1. Burlov V., Polyukhovich M., Mankov V., Logvinova Yu. (2021). Development of safety management technology of electric power networks in order to sustainable development. Paper presented at the E3S Web of Conferences Volume 274 (2021). 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021). France, 2021. P. 10004. doi:10.1051/e3sconf/202127410004

2. Burlov V., Polyukhovich M.. (2021). System integration of processes of ensuring electric power networks safety under the conditions of impact of meteorological factors. Paper presented at E3S Web of Conferences Volume 289 (2021). International Conference of Young Scientists «Energy Systems Research 2021». 2021. P. 01015. 10.1051/e3sconf/202128901015

#### **Публикации в других изданиях**

1. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., Полюхович М.А. Основы технологии управления процессами обеспечения безопасности эксплуатации электроустановки // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2019. – № 1 (33). – С. 173-181.

2. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., Полухович М.А. Разработка технологии управления электробезопасностью // В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 521-522.

3. Полухович М.А., Маньков В.Д. Разработка технологии безопасной эксплуатации электротехнических устройств // В книге: Гагаринские чтения - 2019. Сборник тезисов докладов XLV Международной молодежной научной конференции. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – 2019. – С. 473-474.

4. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., Полухович М.А. Управление процессами обеспечения безопасности электрических сетей // В сборнике: Информационные управляющие системы и технологии (ИУСТ-ОДЕССА-2019). – 2019. – С. 195-197.

5. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., Полухович М.А. Подход к обеспечению безопасности электрических сетей // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2020. – С. 76-78.

6. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., Полухович М.А. Синтез модели управления безопасностью электрических сетей с использованием геоинформационной системы // В сборнике: Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов конференций: Санкт-Петербургской международной конференции и Санкт-Петербургской межрегиональной конференции. Санкт-Петербург, 2020. – С. 191-195.

7. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., Полухович М.А. Разработка системы управления безопасностью электрических сетей на основе применения геоинформационных систем // В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции,

посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2020. – С. 583-585.

8. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., Полюхович М.А. Технология управления безопасностью электрических сетей // В сборнике: Информационные управляющие системы и технологии. Материалы IX Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 301-303.

9. Полюхович М.А., Бурлов В.Г., Маньков В.Д. Управление процессом обеспечения безопасности электрических сетей с применением геоинформационной системы // В сборнике: Сборник статей Круглого стола «Безопасность в профессиональной деятельности». Сборник статей Круглого стола «Безопасность в профессиональной деятельности», в рамках II Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии и вопросы обеспечения безопасности реальной экономики» ITES-2020. Санкт-Петербург, 2020. С. 131-139.

10. Полюхович М.А. О системной интеграции процессов обеспечения безопасности электрических сетей // В сборнике: Неделя науки ИСИ. сборник материалов всероссийской конференции. В 3 ч.. Санкт-Петербург, 2021. – С. 203-205.

11. Полюхович М.А. О возможности разработки технологии управления процессом обеспечения безопасности электрических сетей на базе геоинформационной системы // В сборнике: Биотехнологии и безопасность в техносфере. Материалы Всероссийской конференции. СПбПУ Петра Великого. – 2021. – С. 208-210.

12. Вахнина А.С., Полюхович М.А., Бурлов В.Г. Управление безопасностью электромонтера при обслуживании линий электропередач // В сборнике: Безопасность в профессиональной деятельности. сборник научных статей. Санкт-Петербург, 2021. – С. 54-70.

13. Полюхович М.А., Маньков В.Д. Разработка геоинформационной системы управления электроснабжением // В книге: XLVII Гагаринские

чтения 2021. Сборник тезисов работ XLVII Международной молодёжной научной конференции. Москва, 2021. – С. 507-508.

14. Маньков В.Д., Полухович М.А. Применение геоинформационной системы для устойчивого функционирования электрических сетей // В книге: XLVII Гагаринские чтения 2021. Сборник тезисов работ XLVII Международной молодёжной научной конференции. Москва, 2021. – С. 503-504.

15. Полухович М.А. Основы информационного обеспечения процесса передачи электроэнергии в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов // В сборнике: Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIX международной научно-практической конференции. Москва, 2021. – С. 347-350.

16. Бурлов В.Г., Полухович М.А., Маньков В.Д. Информационная система управления процессом передачи энергии в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов // В сборнике: Информационные управляющие системы и технологии (ИУСТ-ОДЕССА-2021). Материалы X международной научно-практической конференции. – 2021. – С. 164-166.

17. Полухович М.А. Геоинформационная система как инструмент обеспечения безопасности электрических сетей на территории Арктики // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2022. – № S1. – С. 15-16.

Аспирант \_\_\_\_\_ **Полухович М.А.**

(подпись)