

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

*На правах рукописи*

**Полюхович Максим Алексеевич**

**МОДЕЛИ И МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ  
УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНА**

1.6.20. Геоинформатика, картография

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

**Научный  
руководитель:**

**Бурлов Вячеслав Георгиевич**, доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий и систем безопасности Российского государственного гидрометеорологического университета

**Официальные  
оппоненты:**

**Якушев Денис Игоревич**, доктор технических наук, профессор кафедры специальных информационных технологий Санкт-Петербургского университета МВД России

**Шубина Марина Александровна**, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова

**Ведущая организация:**

**ЗАО «Институт телекоммуникаций»**

Защита диссертации состоится «06» декабря 2023 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.365.01 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98, тел. (812) 633-01-82, 372-50-92.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный гербовой печатью организации, просим направлять по адресу: 192007, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д.79. Российский государственный гидрометеорологический университет, Диссертационный совет 24.2.365.01, Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://www.rshu.ru/university/dissertations/> ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета 24.2.365.01,  
доктор технических наук, доцент \_\_\_\_\_

Соколов А.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В настоящее время, как отмечается многими исследователями, все масштабнее становится проблема обеспечения стабильного и качественного электроснабжения потребителей региона, 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 (ВЛЭП)), так и климатических и территориальных условий такой страны как Россия, вопросы разработки системы, обеспечивающей безопасность электроснабжения, 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.

Указом Президента РФ от 13 мая 2019 г. № 216 «Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации» заложены требования к необходимости обеспечения безопасности электроснабжения. Среди угроз энергетической безопасности отмечены неблагоприятные и опасные природные явления, изменения окружающей среды, приводящие к нарушению нормального функционирования и разрушению инфраструктуры и объектов топливно-энергетического комплекса.

Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 86 «О штабах по обеспечению безопасности электроснабжения» утверждены основные положения, затрагивающие вопросы обеспечения безопасности и безаварийности на объектах электроэнергетической отрасли, среди которых выделена функция штаба по принятию решений о применении мер, направленных на предотвращение нарушения электроснабжения и (или) ликвидацию его последствий. К угрозам нарушения электроснабжения (режим с высокими рисками нарушения электроснабжения) относят в том числе следующее обстоятельство: прогнозируемое наступление таких неблагоприятных природных явлений, которые могут привести к массовому отключению электросетевого оборудования, как обильные снегопады, сопровождающиеся интенсивным налипанием снега на провода, грозозащитные тросы, опоры ВЛЭП и на оборудование объектов электроэнергетики, гололёдообразование на проводах и грозозащитных тросах ВЛЭП, а также резкие изменения метеорологических условий.

Среди причин массовых отключений на объектах электроэнергетики, согласно официальным отчетам Минэнерго России, выделены: недостаточный уровень межведомственного взаимодействия; низкий уровень организации аварийно-восстановительных работ в сетевых компаниях (поздняя оценка обстановки, несвоевременное наращивание группировки сил и средств, неэффективное использование привлеченных ресурсов). Соответственно, в настоящее время отсутствует системная интеграция процессов обеспечения безопасности электроснабжения региона.

Безопасность электроснабжения – свойство системы электроснабжения, которое характеризует способность системы электроснабжения сохранять свое предназначение (электроснабжение потребителей) в процессе жизненного цикла в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов. Влияние гидрометеорологических факторов относится к одной из наиболее значительных причин нарушения электроснабжения объектов региона, так как главный элемент процесса передачи электроэнергии – ВЛЭП целиком подвержен их воздействию круглый год. Одновременное воздействие нескольких гидрометеорологических факторов способно привести к продолжительным перебоям в электроснабжении. Одним из наиболее деструктивных гидрометеорологических явлений является гололёдно-изморозевое отложение (ГИО). Нарушение 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.

В связи с тем, что ВЛЭП являются территориально распределенным объектом, образующим георегион и имеющим множество рассредоточенных в пространстве и времени характеристик, они относятся к геообъектам. Характеристики такого геообъекта управления, как ВЛЭП, описываются технико-технологическими данными (ТТД) и пространственными географическими данными (ПГД). Таким образом, возникает задача геоинформационного управления (ГИУ). В настоящее время существует несколько определений ГИУ. В научной школе Бурлова В.Г. под ГИУ понимается создание условий реализации возможностей объекта управления на базе использования информационных ресурсов в виде ПГД и ТТД, характеризующих данный вид целевой деятельности. В научной школе Биденко С.И. оперируют понятием геоинформационная поддержка управления (ГИПУ). Под ГИПУ понимается система выраженных в пространственной (картографической) форме целевых установок, этапов, категорий, методик и технологий управления, направленная на определение и регулирование целесообразного функционирования объектов (систем) в геопространстве для достижения поставленных целей. На основе двух понятий в работе под ГИПУ понимается создание условий реализации возможностей объекта управления в геопространстве для достижения поставленных целей на базе использования информационных ресурсов в виде ПГД и ТТД, характеризующих данный вид целевой деятельности. Особенность ГИПУ состоит в том, что всем известным категориям и понятиям теории управления дается единая пространственная (территориальная) интерпретация.

При решении задачи прогнозирования характеристик гидрометеорологических факторов в интересах управления безопасностью электроснабжения региона (БЭР) важно обеспечить возможность хранения и обработки ПГД, что входит в предмет построения и функционирования геоинформационной системы (ГИС). ГИС-технологии позволяют объединять в единую систему ПГД и ТТД, характеризующие объекты электроэнергетической системы, для решения пространственно-временных задач управления безопасностью электроснабжения региона. Поэтому дополнительно к задаче прогнозирования возникает важная научная задача обоснования требований к информационному обеспечению геоинформационной системы управления безопасностью электроснабжения региона (ГИС УБЭР).

ГИС УБЭР определяется решаемыми в ней научными и прикладными задачами. Они должны быть выстроены в ряд по мере усложнения и наращивания возможностей управления моделируемыми объектами и процессами. В большинстве случаев ГИС создаются на основе обширных банков и баз данных цифровой информации, куда кроме картографических материалов включаются данные многолетних непосредственных наблюдений, статистические сведения, данные дистанционного зондирования. Рассматриваемая тема настоящей диссертации с точки зрения «Наук о Земле», с одной стороны, лежит в русле исследований Института информационных систем и геотехнологий РГГМУ, занимающегося разработкой теории построения и функционирования ГИС. С другой стороны, настоящая тема прорабатывается в научных исследованиях Высшей школы техносферной безопасности СПбПУ, направленных на разработку методик и методов обеспечения безопасности объектов окружающего мира. Данное положение обосновано тем, что современные системы обеспечения безопасности территориально распределённых объектов, к которым относятся ВЛЭП, основаны на применении спрогнозированных характеристик гидрометеорологических факторов. А это связано с обеспечением возможности хранения и обработки ПГД, что составляет уже предмет теории построения и функционирования ГИС.

К факторам, формирующим потребность в обеспечении безопасности электроснабжения региона, относятся:

**1. Естественно-научные** – воздействие экстремальных погодных явлений (сильные снегопады, ветровые нагрузки, грозы, ливневые дожди, ледяной дождь и т.д.). Проблема: отсутствие связи между ПГД и ТТД и элементами контура управления.

**2. Технические** – отсутствие системно изложенных результатов, которые связывают технические возможности и процесс управления электроснабжением. Проблема: поздняя оценка

обстановки, несвоевременное наращивание группировки сил и средств, неэффективное использование привлеченных ресурсов (согласно отчёту Минэнерго России).

**3. Организационные** – стратегическое планирование в сфере обеспечения национальной безопасности Российской Федерации. Проблема: недостаточный уровень межведомственного взаимодействия (согласно отчёту Минэнерго России).

**Идея работы:** известно, что при электроснабжении региона существует проблема обеспечения безопасности электроснабжения в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов геопространства. Это подтверждается, с одной стороны, статистическими данными, с другой стороны, организационными мероприятиями, в первую очередь к которым можно отнести создание Штабов по обеспечению безопасности электроснабжения. Таким образом, анализ факторов позволяет сделать следующие выводы, что основа деятельности по обеспечению безопасности электроснабжения региона 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 осуществить системную интеграцию процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона на основе модели ГИПУ территориальной системы обеспечения безопасности электроснабжения региона (ТС ОБЭР), но модель исследуемого объекта должна удовлетворять свойствам системы. Из научных трудов академика Анохина П.К. известно, что для этого необходимо использовать системообразующий фактор (СОФ). 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 ГИПУ ТС ОБЭР в настоящей работе строится на базе условия существования процесса обеспечения безопасности (УСПОБ), что и является СОФ. УСПОБ разработано и используется в ведущей научно-педагогической школе (НПШ) «Системная интеграция процессов государственного управления». В отличие от известных публикаций такой подход позволяет гарантированно достигать цели деятельности при обеспечении безопасности электроснабжения региона.

**Цель диссертационной работы** – выбор, обоснование и реализация условий гарантированного достижения требуемого показателя безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на ВЛЭП.

Цель достигается разработкой комплекса научно-технических и кибернетических мероприятий. Цель работы определяется:

1. Несоответствием между возможностями системы электроснабжения региона и государственными интересами в изменяющейся обстановке.

2. Несоответствием между возможностями целевой деятельности электроэнергетической системы и средствами обеспечения безопасности в изменяющейся социально-экономической и военно-политической обстановке при решении главной задачи страны.

3. Несоответствием между техническими возможностями электроэнергетической системы и научными результатами процесса поиска путей повышения эффективности применения электрических сетей (ЭС) за счет разработки, развертывания и использования ГИС в условиях адекватных обстановке действий.

Первое противоречие отражает социально-экономическую грань рассматриваемого процесса, второе – научно-техническую, третье – методологическую. Для разрешения противоречий решена следующая задача.

**Разработать методику ГИПУ ТС ОБЭР в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов на базе системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона.**

Результаты решения данной важной научной задачи предназначены для теоретического обоснования действий соответствующих государственных органов территориальной системы

обеспечения безопасности электроснабжения региона, призванных за ограниченное время выработать комплекс мероприятий для поддержания требуемого показателя безопасности электроснабжения региона на уровне разумной достаточности за счет развития ГИС УБЭР в соответствующих условиях обстановки.

**Объект исследования** – ТС ОБЭР.

**Предмет исследования** – модели и методы ГИПУ ТС ОБЭР.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **основные задачи**:

1. Проанализировать известные модели и методы обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов на базе применения ГИС.

2. Разработать модель ГИПУ ТС ОБЭР в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов.

3. Разработать методику ГИПУ ТС ОБЭР в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов.

4. Разработать практические рекомендации по совершенствованию ГИПУ ТС ОБЭР в условиях обледенения ВЛЭП.

**Методы исследования.** Для достижения цели настоящего исследования применялись системный анализ, теория вероятностей, теория функциональных систем, теория системной интеграции процессов управления, теория марковских процессов.

**Научная новизна.** Определяется постановкой и решением новой научной задачи системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов на основе реализации СОФ в виде условия существования процесса обеспечения безопасности (УСПОБ) в форме решения обратной задачи, разработанного зарегистрированной в реестре ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга НПШ «Системная интеграция процессов государственного управления». Также определяется разработанными научно обоснованными практическими рекомендациями по совершенствованию ГИПУ ТС ОБЭР в условиях обледенения ВЛЭП.

Из теории функциональных систем Анохина П.К. можно показать, что техника (как и все рукотворные объекты, в том числе ВЛЭП) – есть реализация модели решения человека (главного конструктора). Следовательно, чтобы гарантировать выполнение объектом его предназначения (электроснабжение региона посредством ВЛЭП), необходимо иметь модель решения человека.

**Положения и научные результаты, выносимые на защиту:**

1. **Модель ГИПУ ТС ОБЭР**, которая отличается тем, что в отличие от известных публикаций была разработана на базе системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона и показателя безопасности.

2. **Методика ГИПУ ТС ОБЭР**, которая отличается тем, что в отличие от известных публикаций рассматривает задачу управления безопасностью электроснабжения региона как обратную, формируя процессы с наперёд заданными свойствами для достижения требуемого показателя безопасности. Применение методики, по предварительным оценкам, позволяет увеличить показатель безопасности электроснабжения региона на 13,7% (в сопоставлении с использованием датчиков гололёдообразования).

3. **Научно обоснованные практические рекомендации по совершенствованию ГИПУ ТС ОБЭР**, отличающиеся тем, что в отличие от известных публикаций предложено обоснование требований к информационному и кадровому обеспечению, техническому оснащению процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения ВЛЭП.

**Соответствие паспорту специальности**

Полученные научные результаты соответствуют пунктам 1, 3, 6, 7, 9 паспорта научной специальности 1.6.20. Геоинформатика, картография:

1. Теоретические и экспериментальные исследования в области развития научных и методических основ геоинформатики.

Соответствие имеется, так как полученные результаты содержат новые научные и методические основы геоинформатики в области электроснабжения региона.

3. Геоинформационные системы (ГИС) разного назначения, типа (справочные, аналитические, экспертные и др.), пространственного охвата и тематического содержания.

Соответствие имеется, так как полученные результаты основаны на теоретической разработке и применении ГИС, реализующей пространственный охват региона электроснабжения с объектами электроэнергетической отрасли и метеорологическими условиями.

6. Математические методы, математическое, информационное, лингвистическое и программное обеспечение для ГИС.

Соответствие имеется, так как полученные результаты содержат научно обоснованные рекомендации в области математического, информационного и программного обеспечения для ГИС.

7. Геоинформационное картографирование и другие виды геомоделирования, системный анализ многоуровневой и разнородной геоинформации.

Соответствие имеется, так как полученные результаты базируются на геоинформационном моделировании и получении и анализе разнородной геоинформации, куда входят данные по объектам электроэнергетической отрасли и гидрометеорологическим факторам на определённом геопространстве.

9. Геоинформационные инфраструктуры, методы и технологии хранения и использования геоинформации на основе распределённых баз данных и знаний.

Соответствие имеется, так как полученные результаты содержат научно обоснованные рекомендации по разработке базы данных ГИПУ ТС ОБЭР с последующей их реализацией в рамках разработанной методики.

**Теоретическая значимость работы** определяется тем, что получено достаточное УСПОБ, и основана на:

- статистическом обосновании низкого показателя безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения ВЛЭП;
- адекватной формализации модели ГИПУ ТС ОБЭР;
- разработке методики ГИПУ ТС ОБЭР.

**Практическая значимость работы** заключается в её направленности на решение задачи системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона и определяется:

- разработкой модели ГИПУ ТС ОБЭР;
- разработкой методики ГИПУ ТС ОБЭР;
- разработкой научно обоснованных практических рекомендаций по совершенствованию ГИПУ ТС ОБЭР, что позволит органам государственного управления безопасностью электроснабжения региона своевременно подготовить перечень управленческих действий;
- разработкой программ для ЭВМ, реализующих этапы методики ГИПУ ТС ОБЭР, представляющих собой программное обеспечение в том числе и для геоинформационных систем;
- подготовкой специалистов, задействованных в процессе обеспечения безопасности электроснабжения региона, что подтверждается актом внедрения научных результатов в учебный процесс.

**Апробация работы:**

Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE – 2019, 20 ноября 2019, г. Санкт-Петербург), «Неделе науки СПбПУ» (21 ноября 2019, г. Санкт-Петербург), Международной научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ», посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета (22-24 октября

2020, г. Санкт-Петербург), Национальной научной конференции для молодых ученых «Биотехнологии и безопасность в техносфере» (21-22 апреля 2021, г. Санкт-Петербург), Всероссийской молодежной конференции с международным участием «Системные исследования в энергетике – 2021» (25-28 мая 2021, г. Иркутск), Международной научно-исследовательской конференции по перспективным исследованиям Земли: геодезия, геоинформатика, картография, землеустройство и кадастры (18 ноября 2021, г. Барнаул), Научно-практической конференции молодых ученых ИНФОГЕО–2021 «Информационные системы в Арктике» (27 ноября 2021, г. Санкт-Петербург), 2-й национальной научной конференции для молодых ученых «Биотехнологии и безопасность в техносфере» (2-3 марта 2022, г. Санкт-Петербург), Международной научно-практической конференции ИНФОГЕО-2022 «Информационные системы в Арктике» (25-26 ноября 2022, г. Санкт-Петербург), Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях» (7 апреля 2023, г. Санкт-Петербург).

В ходе реализации научного проекта РФФИ № 20-38-90225 по теме диссертации отчёты по результатам проделанной работы были рассмотрены и утверждены экспертной комиссией РФФИ.

**Личный вклад автора.** Научные положения, выносимые на защиту, получены лично автором. В научных публикациях, подготовленных в соавторстве, автору принадлежат формализация задачи исследования, выбор методологии исследования, математическое, геоинформационное и имитационное моделирование, разработка методики трансформации вербальной модели в формальную на базе регламентации пространственно-временных состояний процессов деятельности, разработка геоинформационных моделей и геоинформационных технологий и анализ результатов системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона. Автор разработал программы для ЭВМ, реализующие некоторые этапы предлагаемой методики ГИПУ ТС ОБЭР, на языке программирования Java. Данные программы могут быть использованы в качестве программного обеспечения ГИС УБЭР.

**Публикации.** Основные результаты диссертационного исследования изложены в 34 работах, из них 2 в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ по специальности 1.6.20; 6 в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ по смежным научным специальностям; 5 в высокорейтинговых зарубежных изданиях. Разработано и зарегистрировано 6 программ для ЭВМ в рамках диссертационного исследования.

**Участие в конкурсах на лучшие проекты фундаментальных научных исследований:**

1. Победа в конкурсе РФФИ «Аспиранты. Конкурс на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, выполняемые молодыми учеными, обучающимися в аспирантуре». Получение гранта на научное исследование. Проект № 20-38-90225: «Разработка технологии управления процессами обеспечения безопасности электрических сетей при деструктивном воздействии метеорологических факторов».

2. Победа в конкурсе грантов для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, 2020.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 185 наименований, 9 приложений. Основная часть работы изложена на 152 страницах, содержит 40 рисунков, 9 таблиц.

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

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и решаемые задачи, основные положения и научные результаты, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.



**В первой главе** «Научно-технические основы обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов на базе применения ГИС» была поставлена и формализована задача обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды, которая отличается тем, что в отличие от известных публикаций была сформулирована задача системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона на основе реализации СОФ в виде УСПОБ.

В п.1 представлена характеристика особенностей процесса передачи электроэнергии посредством ВЛЭП. Установлено, что электроснабжение региона основано на эксплуатации ВЛЭП, которые относятся к геобъектам и являются наиболее ненадежными элементами системы электроснабжения, так как они подвержены воздействию многочисленных факторов, среди которых можно выделить две группы: постоянные (конструкции, материалы, срок эксплуатации, состояние и т.д.) и переменные (гололёдные и ветровые нагрузки, лесные насаждения, повреждение транспортными средствами, вандализм и т.д.). Предприятия, эксплуатирующие ЭС на территории георегиона, составной частью которого являются 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 ЭС, своевременное устранение повреждений и реализацию требуемых технических мероприятий. Подверженность объектов топливно-энергетического комплекса влиянию природно-климатических условий, особенно линейных объектов, повреждение которых может повлечь значительный ущерб или возникновение чрезвычайной ситуации (ЧС) на территории геосистемы, приводит к нарушению функционирования особо важных элементов народного хозяйства. Таким образом, условие, которое необходимо реализовать при выполнении всех действий субъектам оперативно-диспетчерского управления процессом электроснабжения, это формирование решения, гарантирующего безопасное и безаварийное функционирование объектов электроэнергетической инфраструктуры в геопространстве.

К недостаткам существующей ТС ОБЭР, согласно ежегодным отчетам Минэнерго России, относится недостаточный уровень межведомственного взаимодействия и, как следствие, низкий уровень организации аварийно-восстановительных работ в сетевых компаниях.

В п.2 проведён анализ угроз нарушения электроснабжения региона. Установлено, что аспектами, ограничивающими развитие электроэнергетической отрасли, является 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) в геопространстве: сильный ветер, гололёдно-изморозевые отложения (ГИО), 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).

Нарушение электроснабжения региона может быть вызвано обрывом линии электропередачи из-за превышения допустимой нагрузки на провода. 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 пролете), гололёдные и ветровые нагрузки (влияют на механическое напряжение в проводе за счет внешнего механического воздействия).

Большая часть аварийных отключений ВЛЭП связана с воздействием таких гидрометеорологических явлений, как грозовые явления, ветровая нагрузка, ГИО, затопление и т.п. При этом наиболее значительный вред составляющим объекта (провода, опоры) наносится при совместном действии гололёдной и ветровой нагрузок.

В данном исследовании основное внимание уделяется вопросу обеспечения безопасности ВЛЭП при образовании на проводах ГИО. Факторы, влияющие на возникновение гололёдных образований на линиях электропередачи: температура воздуха – образование того или иного вида обледенения (плотности отложений), продолжительность процесса гололёдообразования, длительность сохранения льда на проводах; ветер – формирование структуры отложений (кристаллическая изморозь, зернистая изморозь, гололёд, смешанные отложения); высота подвеса проводов – характер и масса гололёдных отложений (увеличение высоты приводит к увеличению массы); закручивание проводов – образуется устойчивая муфта, которая в течение активной фазы гололёдного процесса постоянно растёт; диаметр проводов – увеличение плотности осадка (чем больше диаметр), масса гололёдных 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  $+1^{\circ}\text{C}$  гололёд не образуется).

В п.3 представлены результаты анализа возможностей подходов для обеспечения безопасности электроснабжения региона на базе применения ГИС. Так как распределение гидрометеорологических явлений по земной поверхности имеет неоднородный и комплексный характер, то полноценный и качественный пространственный анализ, по всей видимости, может быть эффективно реализован только при помощи ГИС-технологий.

В п.4 осуществлен выбор и дано обоснование применения методологии решения задачи на базе применения ГИС. 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 объекты системы электроснабжения, и критерием эффективности её применения, соблюдение которого гарантирует с определенной вероятностью безопасное электроснабжение региона при любом известном из предыдущего опыта воздействия внешней среды в условиях гололёдно-ветровой ситуации (ГВС). Очевидно, что с целью обеспечения безопасности ВЛЭП от деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов необходимо получать своевременные и полные данные об их показателях. Поэтому стоит задача разработки методической основы формирования ГИПУ ТС ОБЭР на базе использования ТГД и ПГД.

Так как решение – основа деятельности человека, то необходимо формировать решение для обеспечения безопасности электроснабжения региона. Принятое определение понятия «решение» как выбор альтернатив страдает концептуальной неполнотой (Дружинин В.В., Конторов Д.С., Бурлов В.Г.). В данном исследовании под решением понимается условие реализации предназначения объекта управления. Для получения результатов, гарантирующих достижение цели деятельности, согласно Анохину П.К., необходимо иметь 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 ведущей НПШ «Системная интеграция процессов государственного управления». При этом, согласно ЗСЦО, решение должно быть получено на основе системной интеграции свойств мышления человека, свойств объектов окружающего мира и всеобщей связи явлений. На Рисунке 1 представлен системообразующий процесс функционирования сложной системы.

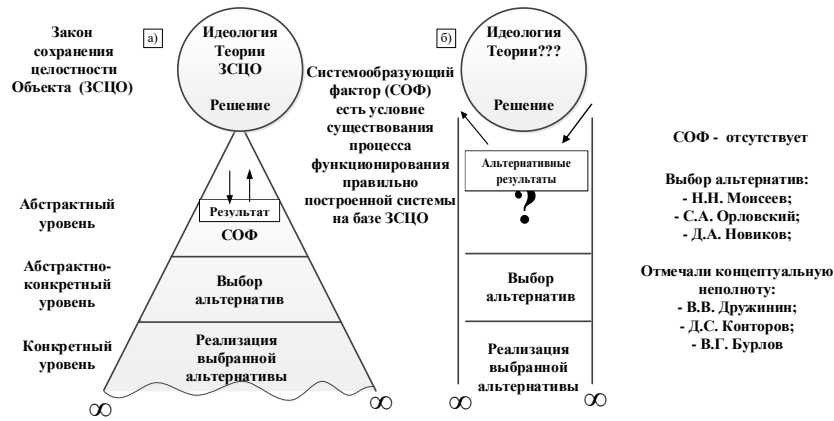


Рисунок 1 – Системообразующий процесс функционирования сложной системы (а) при наличии СОФ; б) при отсутствии СОФ

Для управления безопасностью рекомендуется использовать модели, разработанные путём применения подхода на основе синтеза, 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 геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона с показателем безопасности, что и является, по мнению автора, решением существующей проблемы.

Таким образом, при решении первой задачи было установлено, что для обеспечения безопасности электроснабжения региона необходимо иметь модель ГИПУ ТС ОБЭР, разработанную путём применения подхода на основе синтеза.

**Во второй главе** «Разработка модели геоинформационной поддержки управления территориальной системой обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов» описана модель, которая отличается тем, что в отличие от известных публикаций была разработана на базе системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона и показателя безопасности.

В п.1 описан общий подход к разработке аналитической динамической модели ГИПУ ТС ОБЭР в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов. Был осуществлен синтез модели ГИПУ ТС ОБЭР, в основе которой лежит модель решения человека, на базе применения ЕНП, базирующегося на ЗСЦО.

В результате применения методов декомпозиции, абстрагирования и агрегирования понятие «решение» преобразовано в агрегат – математическую модель решения следующего вида (модель ГИПУ ТС ОБЭР):

$$P = f(\Delta t_{ПВ}, \Delta t_{ИВ}, \Delta t_{НВ}), \quad (1)$$

где  $\Delta t_{ПВ}$  – среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона ( $\lambda = 1/\Delta t_{ПВ}$ );  $\Delta t_{ИВ}$  – среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона ( $\nu_1 = 1/\Delta t_{ИВ}$ );  $\Delta t_{НВ}$  – среднее время нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона ( $\nu_2 = 1/\Delta t_{НВ}$ ).

Математической моделью процесса проявления угрозы нарушения электроснабжения региона является среднее время проявления угрозы  $\Delta t_{ПВ} = f_1(x_1, x_2, \dots, x_a, x_{a+1}, \dots, x_b)$ , где вектор  $X$  характеризует состояния процесса проявления угрозы.  $X \in G_x$ , где  $G_x$  – ограниченное замкнутое множество. Совокупность характеристик состояний  $(x_1, x_2, \dots, x_a)$  представляет собой набор ТТД, а совокупность характеристик состояний  $(x_{a+1}, \dots, x_b)$  – набор ПГД.

Математической моделью процесса идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона является среднее время идентификации угрозы  $\Delta t_{ИВ} = f_2(y_1, y_2, \dots, y_c, y_{c+1}, \dots, y_d)$ , где вектор  $Y$  характеризует состояния процесса идентификации угрозы.  $Y \in G_y$ , где  $G_y$  – ограниченное

замкнутое множество. Совокупность характеристик состояний  $(y_1, y_2, \dots, y_c)$  представляет собой набор ТТД, а совокупность характеристик состояний  $(y_{c+1}, \dots, y_d)$  – набор ПГД.

Математической моделью процесса нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона является среднее время нейтрализации угрозы  $\Delta t_{НУ} = f_3(z_1, z_2, \dots, z_e, z_{e+1}, \dots, z_f)$ , где вектор  $Z$  характеризует состояния процесса нейтрализации угрозы.  $Z \in G_z$ , где  $G_z$  – ограниченное замкнутое множество. Совокупность характеристик состояний  $(z_1, z_2, \dots, z_e)$  представляет собой набор ТТД, а совокупность характеристик состояний  $(z_{e+1}, \dots, z_f)$  – набор ПГД.

Математические модели процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона с указанием совокупностей ТТД и ПГД представлены на Рисунке 2.

В работе предполагается, что эти промежутки времени являются случайными величинами, и используется следующая диаграмма изменения базовых компонентов формирования модели решения (Рисунок 3 (а) среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона; б) среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона; в) среднее время нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона).

В силу того, что базовая модель ГИПУ ТС ОБЭР имеет три элемента, представим структурную схему ГИС УБЭР в виде, показанном на Рисунке 4. Согласно Рисунку 4 к субъектам ТС ОБЭР относятся Ситуационно-аналитический центр (САЦ) Минэнерго России, Региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения и Электросетевая организация.

$$\Delta t_{ПВ} = f_1(\overbrace{x_1, x_2, \dots, x_a}^{\text{ТТД*}}, \overbrace{x_{a+1}, \dots, x_b}^{\text{ПГД**}})$$

$$\Delta t_{ИУ} = f_2(y_1, y_2, \dots, y_c, y_{c+1}, \dots, y_d)$$

$$\Delta t_{НУ} = f_3(z_1, z_2, \dots, z_e, z_{e+1}, \dots, z_f)$$

\* – технико-технологические данные;  
\*\* – пространственные географические данные

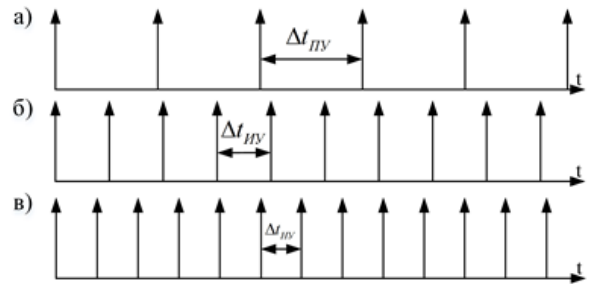


Рисунок 2 – Математические модели процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона с указанием совокупностей ТТД и ПГД

Рисунок 3 – Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения

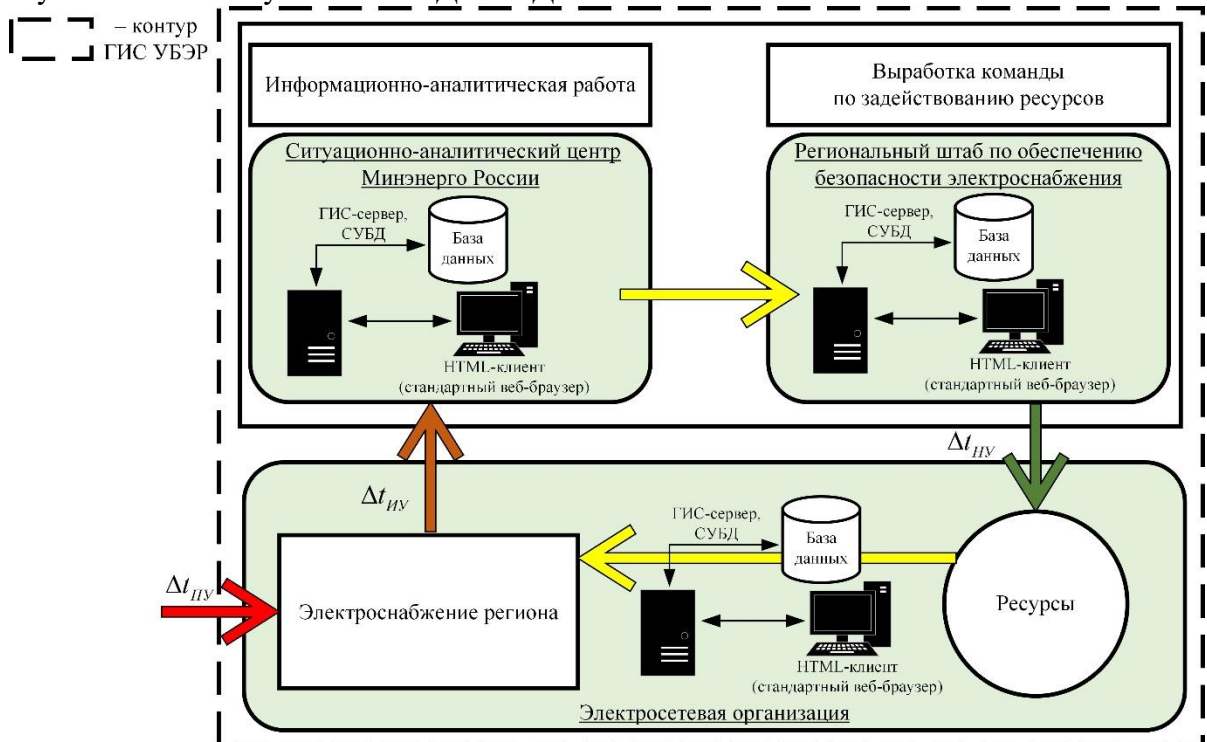


Рисунок 4 – Структурная схема ГИС УБЭР с базовыми элементами ГИПУ ТС ОБЭР

В п.2 представлены выбор и обоснование основных соотношений модели ГИПУ ТС ОБЭР. Лицо, принимающее решение (ЛПР), при обеспечении безопасности электроснабжения региона может выполнять в различных сочетаниях две функции: идентифицировать угрозу нарушения электроснабжения региона, нейтрализовать угрозу нарушения электроснабжения региона. Таким образом, модель ГИПУ ТС ОБЭР характеризуют четыре базовых состояния: «S<sub>00</sub>» – ЛПР не идентифицирует угрозу нарушения электроснабжения региона и не нейтрализует угрозу нарушения электроснабжения региона; «S<sub>10</sub>» – ЛПР идентифицирует угрозу нарушения электроснабжения региона и не нейтрализует угрозу нарушения электроснабжения региона; «S<sub>01</sub>» – ЛПР не идентифицирует угрозу нарушения электроснабжения региона и нейтрализует угрозу нарушения электроснабжения региона; «S<sub>11</sub>» – ЛПР идентифицирует угрозу нарушения электроснабжения региона и нейтрализует угрозу нарушения электроснабжения региона. В соответствии с описанной особенностью модели необходимо ввести вероятности нахождения ГИПУ ТС ОБЭР в этих четырех состояниях. Соответственно получаются вероятности P<sub>00</sub>, P<sub>10</sub>, P<sub>01</sub>, P<sub>11</sub> нахождения ГИПУ ТС ОБЭР 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. Характеристика переходов системы представлена на Рисунке 5.

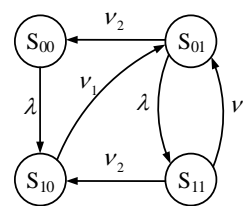


Рисунок 5 – Граф состояний процесса формирования решения

Для описания изменения состояний процесса формирования решения были сделаны определенные допущения и предположения, и в результате проведенных расчётов была получена система уравнений, описывающих вероятность нахождения ГИПУ ТС ОБЭР в четырёх состояниях на Рисунке 5:

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

Получив соотношения, определяющие вероятности нахождения ГИПУ ТС ОБЭР 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 угрозы нарушения электроснабжения региона и к свойствам процесса нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона. Вероятность нахождения ГИПУ ТС ОБЭР в состоянии, в котором обеспечивается безопасность электроснабжения потребителей региона, равна:

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

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

Учитывая вышесказанное, вектор ГИПУ ТС ОБЭР представляется в следующем виде:

$$\vec{U}^T = [\Delta t_{IV}, \Delta t_{HV}], \quad (4)$$

где  $\Delta t_{IV}$ ,  $\Delta t_{HV}$  – компоненты вектора управления. Таким образом, при ГИПУ ТС ОБЭР ЛПР имеется возможность варьировать в различных сочетаниях две функции управления (идентификация и нейтрализация) для достижения требуемого показателя безопасности электроснабжения региона.

В п.3 описаны механизмы связи элементов модели ГИПУ ТС ОБЭР. В контуре управления ТС ОБЭР имеется три субъекта управления с установленными функциями: Электросетевая организация, САЦ Минэнерго России, Региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения. Как ранее уже было отмечено, в ТС ОБЭР наблюдается недостаточный уровень межведомственного взаимодействия между перечисленными субъектами управления. Поэтому ставится задача осуществить системную интеграцию процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона.

Человек в своей деятельности работает с 4 процессами: целевой процесс (электроснабжение региона), процесс проявления угрозы нарушения электроснабжения региона, процесс идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона, процесс нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона.

В связи с тем, что рассматривается целевой процесс, необходимо ввести новые переменные « $\zeta^+$ » и « $\zeta^-$ » ( $\zeta^+$  – частота выполнения целевой задачи – электроснабжение потребителей  $\left(\zeta^+ = \frac{1}{T_{\text{Э}}}\right)$ , где  $T_{\text{Э}}$  – среднее время выполнения целевой задачи,  $\zeta^-$  – частота срыва выполнения целевой задачи  $\left(\zeta^- = \frac{1}{T_{\text{CP}}}\right)$ , где  $T_{\text{CP}}$  – среднее время проявления факта срыва целевой деятельности). Понятие «Решение» было преобразовано в агрегат – математическую модель решения следующего вида:

$$P = f(T_{\text{Э}}, T_{\text{CP}}, \Delta t_{\text{ИУ}}, \Delta t_{\text{ИВ}}, \Delta t_{\text{НУ}}). \quad (5)$$

Агрегат (5) и есть модель ГИПУ ТС ОБЭР с учётом целевой деятельности (электроснабжение потребителей).

Математической моделью целевого процесса является среднее время целевого процесса  $T_{\text{Э}} = f_0(x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m)$ , где вектор  $\mathfrak{X}$  характеризует состояния целевого процесса деятельности ЛПР.  $\mathfrak{X} \in G_{\mathfrak{X}}$ , где  $G_{\mathfrak{X}}$  – ограниченное замкнутое множество. Совокупность характеристик состояний  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  представляет собой набор ТТД, а совокупность характеристик состояний  $(x_{n+1}, \dots, x_m)$  – набор ПГД.

Был составлен новый граф состояний процесса формирования решения с учетом целевого процесса (Рисунок 6). Состояние «S<sub>1</sub>» – штатное, исходное состояние функционирования системы электроснабжения. Начало описания базового процесса целевой деятельности ЛПР. Состояние «S<sub>2</sub>» – требуемое конечное состояние функционирования системы электроснабжения, в которой она находится в результате реализации управляющего воздействия, выработанного ГИПУ ТС ОБЭР на основе идентификации и нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона. В учете состояний «S<sub>1</sub>» и «S<sub>2</sub>» заключается «объективность». 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 «S<sub>3</sub>» – состояние проявления угрозы нарушения электроснабжения региона в контуре ГИПУ ТС ОБЭР. При нахождении ГИПУ ТС ОБЭР в состоянии «S<sub>3</sub>» персонал электроэнергетического объекта должен идентифицировать возникшую угрозу нарушения электроснабжения региона. Способность ЛПР своевременно реагировать на потенциальную возможность проявления угрозы определяет его профессиональную пригодность, основанную на квалифицированной подготовке кадров. На этом этапе происходит подготовка к привлечению дополнительных ресурсов для устранения угрозы. Таким образом, ГИПУ ТС ОБЭР переходит в состояние «S<sub>4</sub>» – состояние идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона, которую надо нейтрализовать ГИПУ ТС ОБЭР (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 переменными:  $v_1^- = \frac{N_{HY}^{CP}}{N_{HY}}$  – частота срыва процесса идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона, где  $N_{HY}^{CP}$  – количество срывов процессов идентификации угрозы,  $N_{HY}$  – общее количество процессов идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона;  $v_2^- = \frac{N_{HY}^{CP}}{N_{HY}}$  – частота срыва процесса нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона, где  $N_{HY}^{CP}$  – количество срывов процессов нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона,  $N_{HY}$  – общее количество процессов нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона.

Руководствуясь вышеизложенным, составлены следующие соотношения (6), которые характеризуют вероятность нахождения ГИПУ ТС ОБЭР в рассмотренных четырёх состояниях. В рамках ГИПУ ТС ОБЭР показателем безопасности электроснабжения региона является значение  $P_2$ , являющееся вероятностью того, что каждая угроза нарушения электроснабжения региона идентифицирована и нейтрализована.

$$\left\{ \begin{aligned} P_1 &= \frac{\zeta^- v_1 v_2 + v_1 v_1^- (\zeta^- + v_2^-)}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \\ P_2 &= \frac{v_1 v_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^+ v_1 v_1^-}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \\ P_3 &= \frac{\zeta^- \lambda v_2 + \lambda v_1^- (\zeta^- + v_2^-)}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \\ P_4 &= \frac{v_1 v_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^- \lambda v_1}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)} \end{aligned} \right. \quad (6)$$

Теперь базовая модель ГИПУ ТС ОБЭР имеет семь элементов. Для ГИПУ ТС ОБЭР необходимо использовать ГИС УБЭР, так как появляется необходимость обработки и анализа ПГД и ТГД. С целью получения обновляемых данных о погодных условиях на конкретной территории в ГИС УБЭР подгружается база данных Гидрометцентра. Структурная схема базовых элементов ГИПУ ТС ОБЭР на базе применения ГИС УБЭР представлена на Рисунке 7.

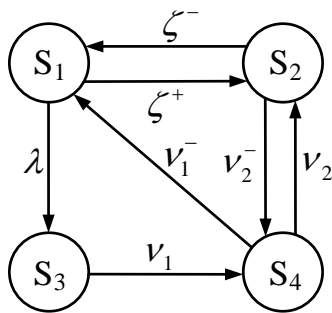


Рисунок 6 – Граф состояний процесса формирования решения с учетом целевого процесса

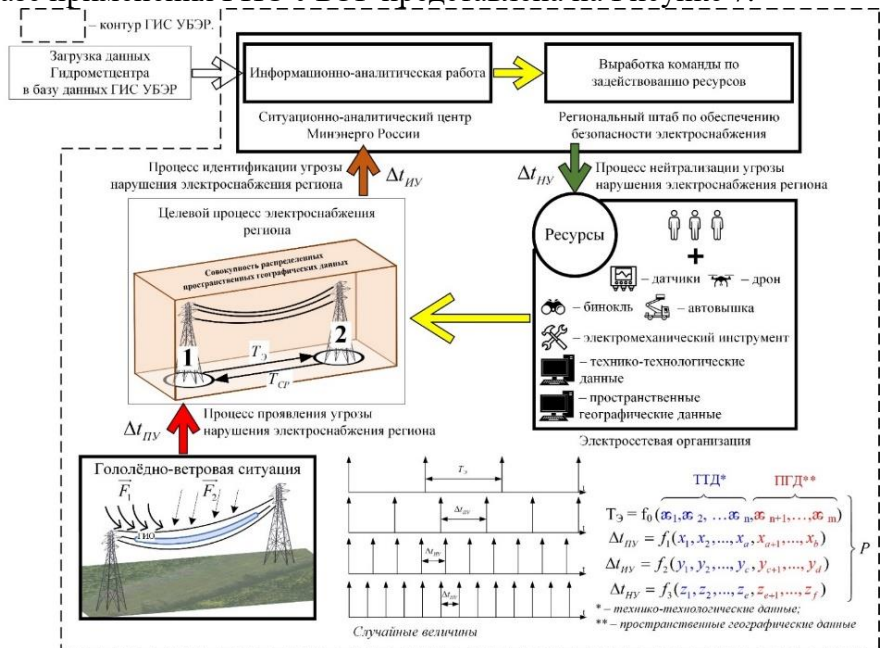
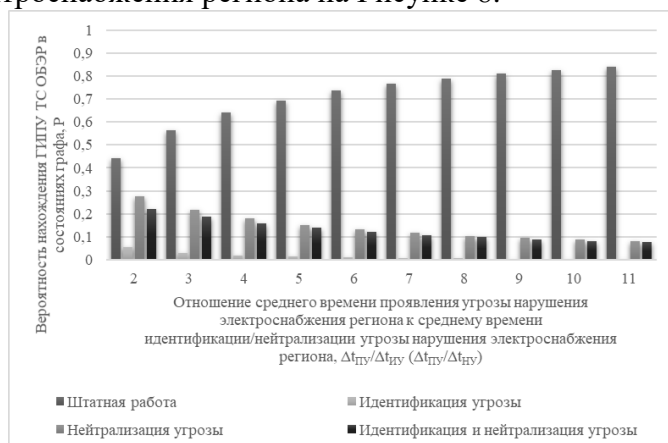


Рисунок 7 – Структурная схема ГИПУ ТС ОБЭР, реализованная на базе системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона с показателем безопасности



В п.4 осуществлен анализ возможностей модели ГИПУ ТС ОБЭР. Исследуя разработанную модель в рамках процесса геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона, можно математически подобрать необходимые средние значения времен, затрачиваемых на идентификацию и нейтрализацию угрозы нарушения электроснабжения региона, с целью обеспечения требуемого показателя безопасности электроснабжения региона.

Смоделируем ситуацию:  $\Delta t_{ИВ} = 24$  ч,  $\Delta t_{ИВ} = 3$  ч,  $\Delta t_{ИВ} = 1$  ч. Представим распределение вероятности нахождения ГИПУ ТС ОБЭР в базовых состояниях графа (Рисунок 5) при увеличении отношения среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона к среднему времени идентификации или нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона на Рисунке 8.

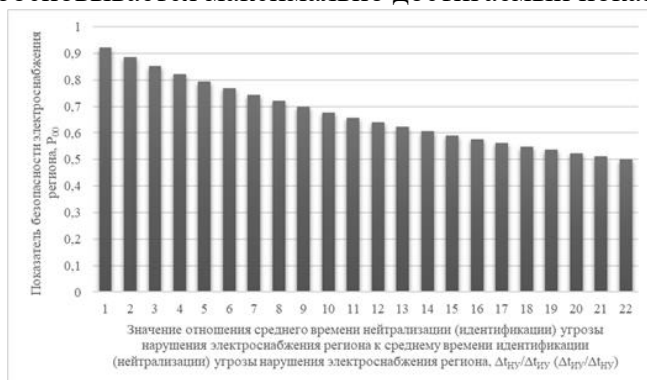


$\Delta t_{ИВ}/\Delta t_{ИВ}$ ( $\Delta t_{ИВ}/\Delta t_{ИВ}$ )	$P_{00}$	$P_{10}$	$P_{01}$	$P_{11}$
2	0,444	0,056	0,278	0,222
3	0,563	0,031	0,219	0,188
4	0,640	0,020	0,180	0,160
5	0,694	0,014	0,153	0,139
6	0,735	0,010	0,133	0,122
7	0,766	0,008	0,117	0,109
8	0,790	0,006	0,105	0,099
9	0,810	0,005	0,095	0,090
10	0,826	0,004	0,087	0,083
11	0,840	0,003	0,080	0,076

Рисунок 8 – Распределение вероятности нахождения ГИПУ ТС ОБЭР в четырех состояниях графа

В результате анализа зависимости, представленной на Рисунке 8, был сделан вывод, что достижение показателя безопасности выше 0,8 достигается при превышении среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона среднего времени идентификации или нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона в 8 и более раз.

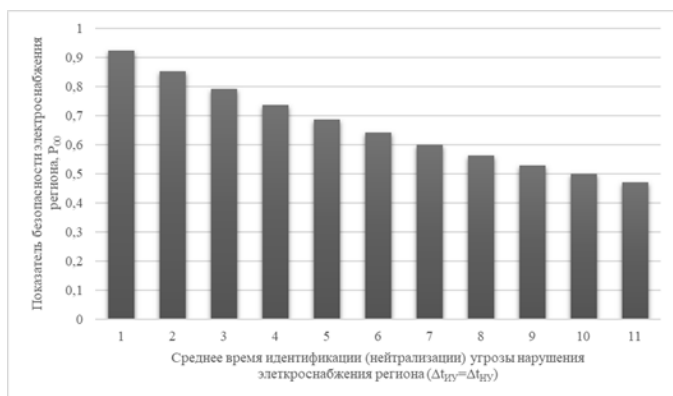
Зависимость на Рисунке 9 демонстрирует, что показатель безопасности электроснабжения региона достигает значения 0,8 и выше при менее 5-кратного превышения среднего времени нейтрализации (идентификации) угрозы нарушения электроснабжения региона среднего времени идентификации (нейтрализации) угрозы нарушения электроснабжения региона. Зависимость, представленная на Рисунке 10, показывает, что при значении средних времен идентификации и нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона менее 3 часов обеспечивается приближение показателя безопасности электроснабжения региона к 0,8. Таким образом, при ограничении на временные, материальные, финансовые и кадровые ресурсы обосновывается максимально достигаемый показатель безопасности электроснабжения региона.



$\Delta t_{ИВ}/\Delta t_{ИВ}$ ( $\Delta t_{ИВ}/\Delta t_{ИВ}$ )	$P_{00}$	$\Delta t_{ИВ}/\Delta t_{ИВ}$ ( $\Delta t_{ИВ}/\Delta t_{ИВ}$ )	$P_{00}$
1	0,922	12	0,640
2	0,886	13	0,623
3	0,853	14	0,606
4	0,823	15	0,591
5	0,794	16	0,576
6	0,768	17	0,562
7	0,743	18	0,549
8	0,720	19	0,536
9	0,698	20	0,524
10	0,678	21	0,512
11	0,658	22	0,501

Рисунок 9 – Зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от значения отношения среднего времени нейтрализации (идентификации) угрозы нарушения электроснабжения региона к среднему времени идентификации (нейтрализации) угрозы нарушения электроснабжения региона





$\Delta t_{ИУ} = \Delta t_{НУ}$	$P_{00}$	$\Delta t_{ИУ} = \Delta t_{НУ}$	$P_{00}$
1	0,922	7	0,599
2	0,852	8	0,563
3	0,790	9	0,529
4	0,735	10	0,498
5	0,685	11	0,470
6	0,640	–	–

Рисунок 10 – Зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от равнозначных значений среднего времени идентификации и нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона

Добавим к вышеприведенным переменным модели ГИПУ ТС ОБЭР следующие переменные:  $T_{\Sigma} = 720$  ч (осуществление электроснабжения в течение месяца),  $T_{CP} = 240$  ч (среднее время проявления факта срыва целевой деятельности),  $v_1^- = 0,001$ ,  $v_2^- = 0,001$ .

На Рисунке 11 представлена зависимость, анализ которой позволяет сделать вывод, что показатель безопасности электроснабжения региона достигает значения 0,8, если значение среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона равно 3 ч, 3,6 ч, 4 ч, 4,3 ч при отношении среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона к среднему времени идентификации (нейтрализации) угрозы нарушения электроснабжения региона, равному 2, 3, 4, 5, соответственно.

Согласно зависимости, представленной на Рисунке 12, если среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона равно 3,5 ч, 3,9 ч, 4,1 ч, 4,2 ч, то при отношении среднего времени нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона к среднему времени её идентификации, равному 2, 3, 4, 5, соответственно, показатель безопасности принимает значение 0,8.

**Научная новизна** модели ГИПУ ТС ОБЭР заключается в её разработке на базе системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона и показателя безопасности.

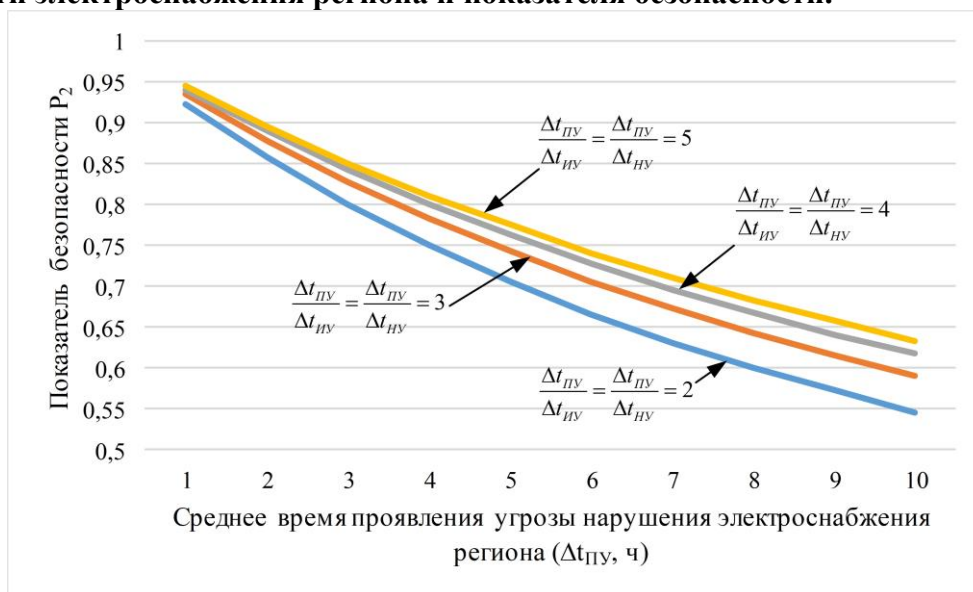


Рисунок 11 – Зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона при различных отношениях среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона к среднему времени идентификации или нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона

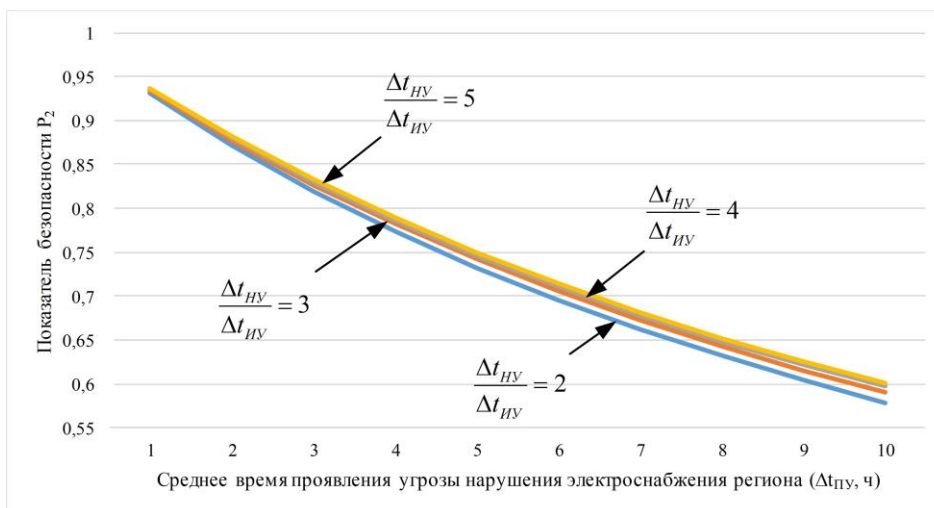


Рисунок 12 – Зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона при различных отношениях среднего времени нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона к среднему времени идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона

Таким образом, при решении второй задачи было установлено, что необходимо разработать методику ГИПУ ТС ОБЭР для достижения требуемого показателя безопасности электроснабжения региона.

В третьей главе «Разработка методики геоинформационной поддержки управления территориальной системой обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов на базе применения ГИС» была разработана методика, которая отличается тем, что в отличие от известных публикаций рассматривает задачу управления безопасностью электроснабжения региона как обратную, формируя процессы с наперёд заданными свойствами для достижения требуемого показателя безопасности.

В п.1 представлен общий подход к разработке методики ГИПУ ТС ОБЭР. В контексте ТС ОБЭР межведомственное взаимодействие между субъектами управления (Региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения (закладывает требования к процессу нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения), САЦ Минэнерго России (закладывает требования к процессу идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона), Электросетевая организация (закладывает требования к целевому процессу)) требует единой модели, которая объединит основные структурные элементы, чтобы обеспечить адекватное формирование процесса формирования решений. Модель ГИПУ ТС ОБЭР, основанная на использовании ТТД и ПГД, как раз позволяет обеспечить межведомственное взаимодействие данных субъектов управления.

В контуре ГИПУ ТС ОБЭР целесообразно выделить два объекта геопространства, характеристики которых необходимо получить: ВЛЭП и гидрометеорологические факторы.

Описать характеристики данных объектов необходимо при помощи ТТД и ПГД. Совокупность гидрометеорологических факторов, при которых образуется или отсутствует тот или иной вид ГИО, характеризует обстановку на определенной территории за конкретный период времени. Обозначим такую совокупность символом «С», тогда за время  $t$  территорию можно охарактеризовать как:

$$C_i^T = (C_1 \quad C_2 \quad \dots \quad C_n). \quad (7)$$

Объединение последовательностей значений параметров гидрометеорологических факторов позволяет получить матричное представление ГВС в районе пролегания контролируемой ВЛЭП:

$$C_i^T = (t_{воздi} \quad V_i \quad P_i \quad Z_i), \quad (8)$$



текущей обстановки с определенными условиями ГВС на рассматриваемой территории необходимо иметь следующие данные геопространства:

- параметры участка ВЛЭП (радиус провода, плотность материала провода, протяженность участка линии, температура провода, категория потребителей) – ТТД;
- характеристики гидрометеорологических факторов (влажность, температура воздуха, направление ветра, скорость ветра, содержание воды в воздухе) – ПГД.

Таким образом, разработанная на основе вышеприведённых результатов структурная схема алгоритма методики ГИПУ ТС ОБЭР представлена в следующем виде (Рисунок 13). Основные этапы реализации методики ГИПУ ТС ОБЭР в соответствии с Рисунком 13:

1. Обработка в автоматическом режиме ПГД и ТТД САЦ Минэнерго России каждые три часа (время получения обновлённого прогноза).
2. Автоматический расчет толщины стенки ГИО.
3. Автоматический расчет суммарной нагрузки на провод воздушной линии электропередачи при ГВС.
4. Автоматический расчет значения среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона.
5. Определение ограничений на ресурсы по идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона.
6. Выезд оперативно-выездной бригады на участок ВЛЭП и/или фиксация нарастания ГИО при помощи датчиков с целью идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона.
7. Идентификация угрозы нарушения электроснабжения региона (выявление факта образования ГИО на проводе ВЛЭП).
8. Разработка мероприятий по нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона Региональным штабом по обеспечению безопасности электроснабжения.
9. Автоматический расчет показателя безопасности электроснабжения региона с учётом текущего плана мероприятий по нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона.
10. Сравнение рассчитанного показателя безопасности с требуемым показателем безопасности электроснабжения региона.
11. При достижении показателя безопасности электроснабжения региона требуемого значения реализация мероприятий по нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона Электросетевой организацией.
12. При несоответствии показателя безопасности электроснабжения региона требуемому значению автоматический расчет требуемого значения среднего времени нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона.
13. Разработка перечня мероприятий по нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона Региональным штабом по обеспечению безопасности электроснабжения.
14. При отсутствии ограничений на ресурсы по идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона автоматический расчет требуемого значения среднего времени идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона.
15. Разработка мероприятий по идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона САЦ Минэнерго России.
16. Осуществление идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона на базе применения установленного технического оснащения.
17. Идентификация угрозы нарушения электроснабжения региона (выявление факта образования ГИО на проводе ВЛЭП).

Для реализации пунктов 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15 методики ГИПУ ТС ОБЭР были разработаны программы для ЭВМ, программный код которых может быть положен в основу программного обеспечения ГИС УБЭР.

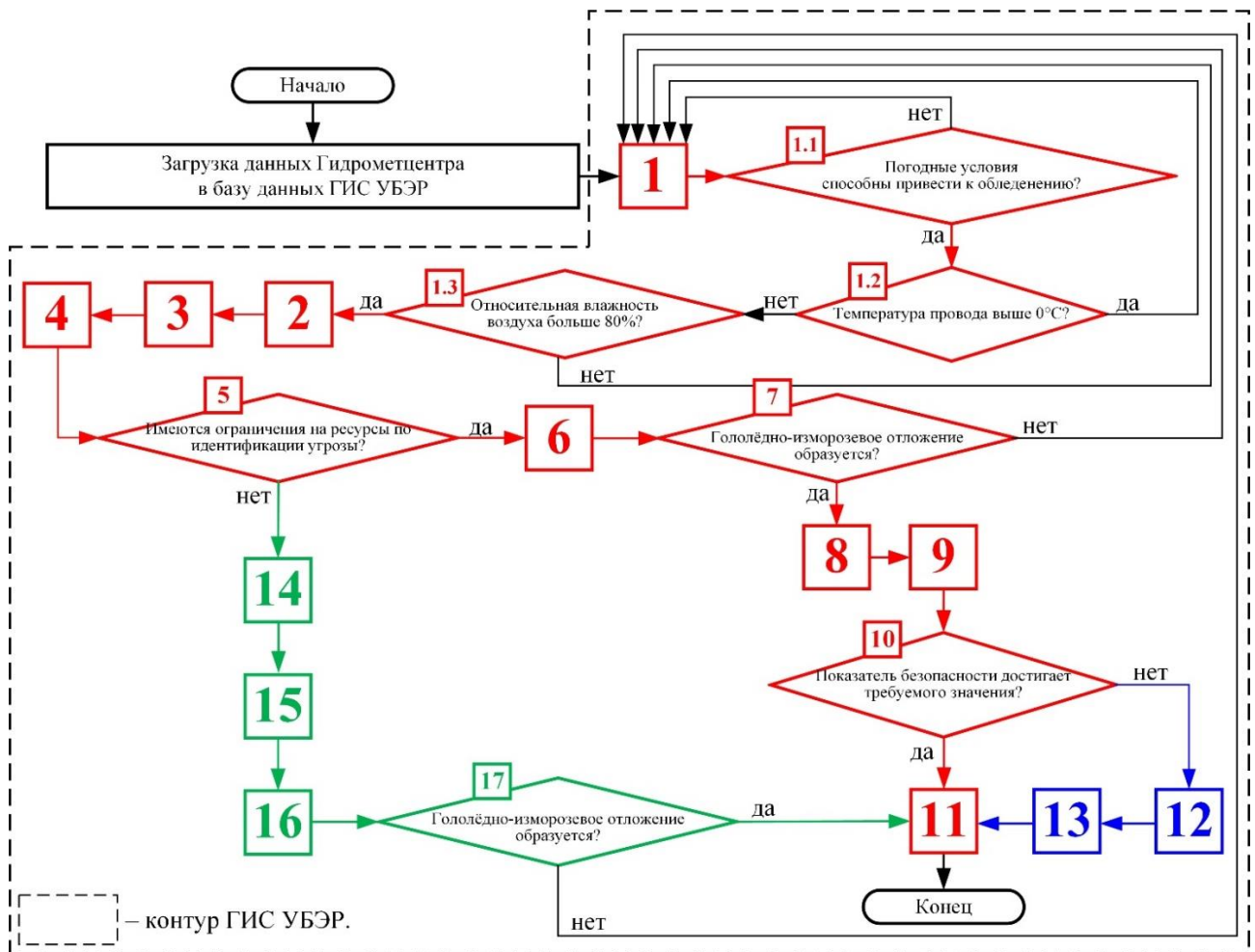


Рисунок 13 – Структурная схема алгоритма методики ГИПУ ТС ОБЭР

В п.2 представлены основные соотношения методики ГИПУ ТС ОБЭР. Переходы между состояниями процесса формирования решения характеризуются определенными переменными. На Рисунке 14 показана взаимосвязь переменных модели ГИПУ ТС ОБЭР с субъектами управления. Значение переменной  $\zeta^+$  ЛПР не в состоянии изменить, так как она зависит от характеристик самой электроэнергетической системы (задаётся требованиями к процессу передачи электрической энергии). Переменная  $\zeta^-$  характеризует срыв целевой деятельности и представляет собой приемлемый (допустимый) риск. Приемлемый (допустимый) риск – риск, при котором объект 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 в геопространстве от источника до потребителя.

В связи с тем, что ГИПУ ТС ОБЭР осуществляется на базе использования информационных ресурсов в виде ПГД и ТТД, наиболее подходящим инструментом для его реализации является ГИС УБЭР, применение которой позволяет получить переменные модели ГИПУ ТС ОБЭР. Значение переменной  $\lambda$  определяется путём обработки данных, полученных от Гидрометцентра. Значение переменной  $v_1$  определяется средним временем обработки ТТД и ПГД, полученных на базе применения ГИС УБЭР. При этом  $\lambda$  зависит от гидрометеорологических условий на рассматриваемой территории в конкретный промежуток времени и характеристик ВЛЭП, в то время как  $v_1$  задается САЦ Минэнерго России для достижения требуемого показателя безопасности электроснабжения региона. Переменная  $v_2$  задается Региональным штабом по обеспечению безопасности электроснабжения, исходя из характеристик системы оперативно-диспетчерского управления и последующей реализации разработанных мероприятий Электросетевой организацией. Переменные  $V_1^-$  и  $V_2^-$  задаются исходя из опыта и квалификации персонала, задействованного при управлении процессом передачи электроэнергии.

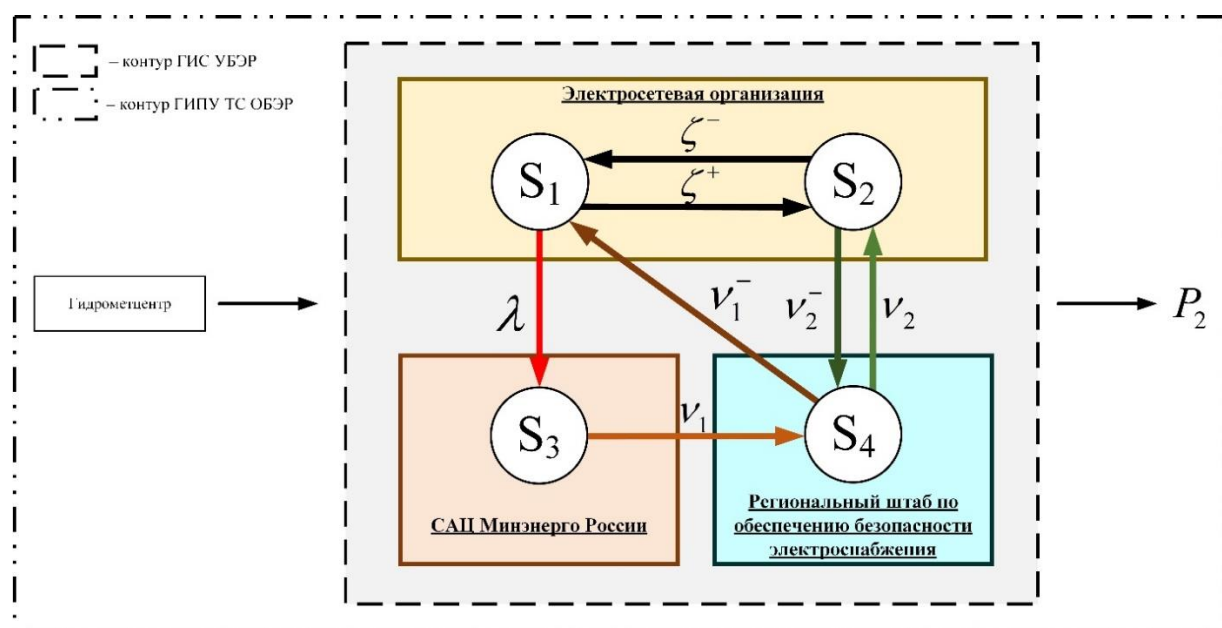
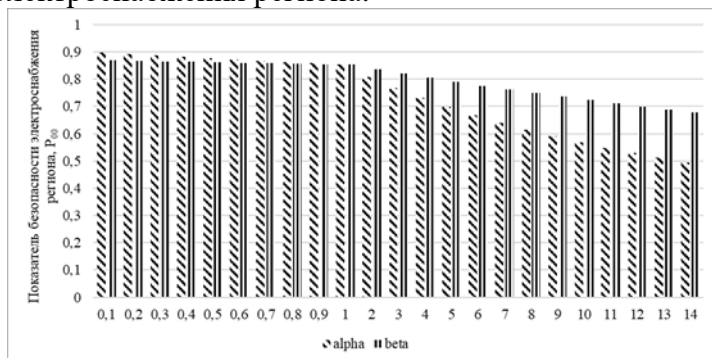


Рисунок 14 – Взаимосвязь субъектов ГИПУ ТС ОБЭР с переменными модели ГИПУ ТС ОБЭР

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 нарушения электроснабжения региона имеет 2 составляющие:  $\Delta t_{ИВ}^{ТО}$  – среднее время сокращения идентификации угрозы при помощи технических средств,  $\Delta t_{ИВ}^{ЧФ}$  – среднее время идентификации угрозы самим человеком. Аналогично для среднего времени нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона:  $\Delta t_{НВ} = \Delta t_{НВ}^{ЧФ} + \Delta t_{НВ}^{ТО}$ .

На Рисунке 15 представлена зависимость показателя безопасности от  $\alpha$  ( $\Delta t_{ИВ}^{ЧФ} / \Delta t_{ИВ}^{ТО}$ ) и  $\beta$  ( $\Delta t_{НВ}^{ЧФ} / \Delta t_{НВ}^{ТО}$ ). Отмечается, что техническое оснащение позволяет значительно повысить показатель безопасности, при этом его влияние на процессы идентификации и нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона не одинаково. Используя полученные результаты, ЛПР может выработать требования к техническому оснащению деятельности персонала электроэнергетической системы, к обучению персонала или профессиональной подготовке различных категорий сотрудников для достижения требуемого показателя безопасности электроснабжения региона.



$\alpha$	$P_{00}$	$\alpha$	$P_{00}$	$\beta$	$P_{00}$	$\beta$	$P_{00}$
0,1	0,898	4	0,731	0,1	0,869	4	0,805
0,2	0,893	5	0,698	0,2	0,867	5	0,790
0,3	0,888	6	0,668	0,3	0,865	6	0,776
0,4	0,883	7	0,640	0,4	0,864	7	0,762
0,5	0,878	8	0,614	0,5	0,862	8	0,749
0,6	0,873	9	0,591	0,6	0,860	9	0,736
0,7	0,868	10	0,569	0,7	0,858	10	0,723
0,8	0,863	11	0,549	0,8	0,857	11	0,711
0,9	0,858	12	0,530	0,9	0,855	12	0,699
1	0,853	13	0,512	1	0,853	13	0,688
2	0,808	14	0,495	2	0,837	14	0,677
3	0,768	—	—	3	0,821	—	—

Рисунок 15 – Зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от значения  $\alpha$  (отношение среднего времени идентификации угрозы самим человеком к среднему времени сокращения идентификации угрозы при помощи технических средств) и  $\beta$  (отношение среднего времени нейтрализации угрозы самим человеком к среднему времени сокращения нейтрализации угрозы при помощи технических средств)



В п.3 представлены результаты анализа возможностей методики ГИПУ ТС ОБЭР. Структурная схема ГИПУ ТС ОБЭР с указанием этапов методики ГИПУ ТС ОБЭР представлена на Рисунке 16.

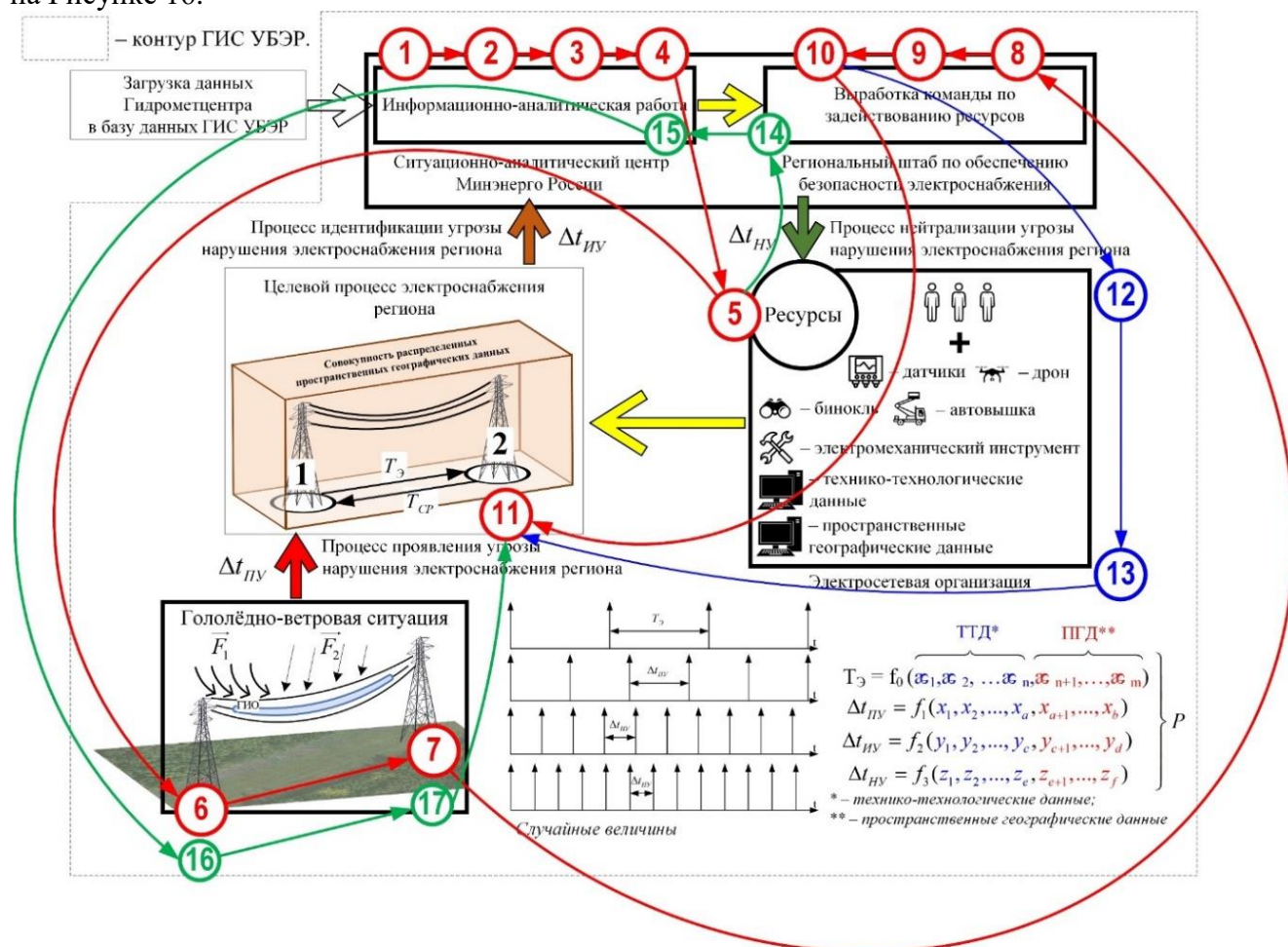


Рисунок 16 – Структурная схема ГИПУ ТС ОБЭР с указанием этапов методики ГИПУ ТС ОБЭР

Разработанная методика ГИПУ ТС ОБЭР позволяет рассматривать два варианта ГИПУ ТС ОБЭР: решение прямой задачи управления, решение обратной задачи управления. При решении прямой задачи путем подстановки переменных в соотношение  $P_2$  (6) определяется показатель безопасности электроснабжения региона. Затем проводится сравнение полученного показателя с заранее определенным требуемым показателем. Если выявляется несоответствие (показатель безопасности ниже заданного), то решается обратная задача (путем подстановки в уравнение  $P_2$  (6) определяется, какое значение должно быть у  $v_1$  и  $v_2$ ). Структурная схема алгоритма расчёта показателя безопасности электроснабжения региона представлена на Рисунке 17 (с указанием этапов реализации методики ГИПУ ТС ОБЭР).

Применение методики ГИПУ ТС ОБЭР с требуемым набором ТТД и ПГД позволяет повысить показатель безопасности на 13,7%:  $P_2 = 0,73$  (при  $\Delta t_{ИУ} = 46$  ч – среднее время срабатывания датчиков гололёдообразования) по сравнению с  $P_2 = 0,83$  (при  $\Delta t_{ИУ} = 3$  ч – среднее время получения обновлённого прогноза).

**Научная новизна** методики ГИПУ ТС ОБЭР заключается в решении обратной задачи управления безопасностью электроснабжения региона для достижения требуемого показателя безопасности путём формирования процессов с наперёд заданными свойствами.

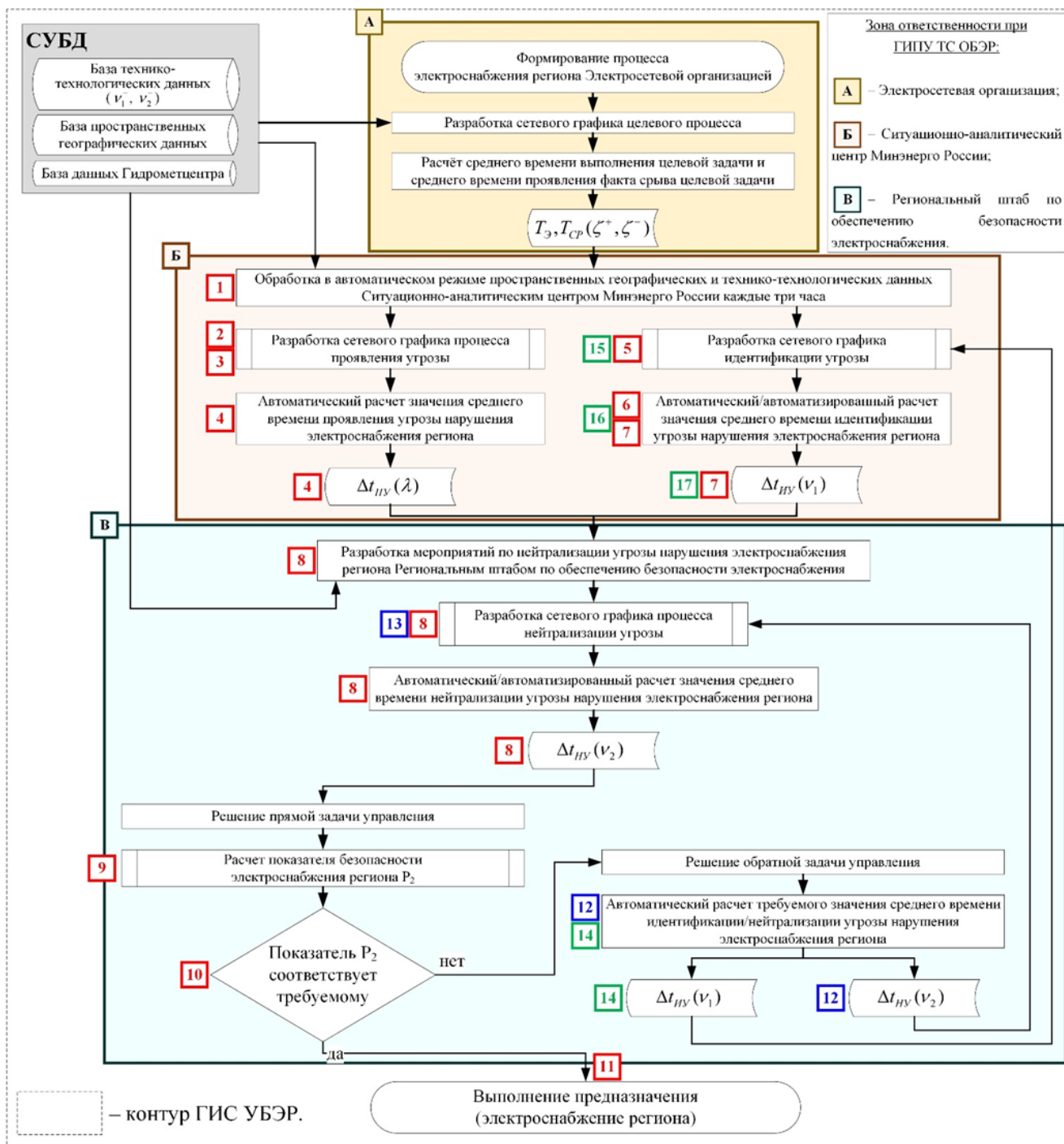


Рисунок 17 – Структурная схема алгоритма расчёта показателя безопасности электроснабжения региона

Таким образом, при решении третьей задачи было установлено, что необходимо разработать практические рекомендации по совершенствованию ГИПУ ТС ОБЭР.

В четвертой главе «Разработка практических рекомендаций по совершенствованию геоинформационной поддержки управления территориальной системой обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи» были разработаны научно обоснованные практические рекомендации, отличающиеся тем, что в отличие от известных публикаций предложено обоснование требований к информационному и кадровому обеспечению, техническому оснащению процессов обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения ВЛЭП.

В п.1 обоснованы практические рекомендации по совершенствованию информационного обеспечения ГИПУ ТС ОБЭР. ГИС УБЭР является тем необходимым инструментом, который может использоваться для определения конкретных действий со стороны ЛПР при управлении



геобъектами. При этом ЛПР должен, несомненно, являться профессионалом в конкретной предметной области. Подход, реализованный в ГИС УБЭР, представляет собой методологию построения диалоговых систем оперативно-диспетчерского управления электроэнергетической системой и позволяет: совместно описывать постановку и формировать 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 формированием решений; автоматизировать планирование процессов поиска решения задач и обмена информацией; наблюдать за логикой формирования решений и получением данных как о действиях оперативного персонала, так и о процедурах и данных, положенных в основу разработки мероприятий по предупреждению нарушения электроснабжения региона.

Структурная схема ГИС УБЭР представлена на Рисунке 18.

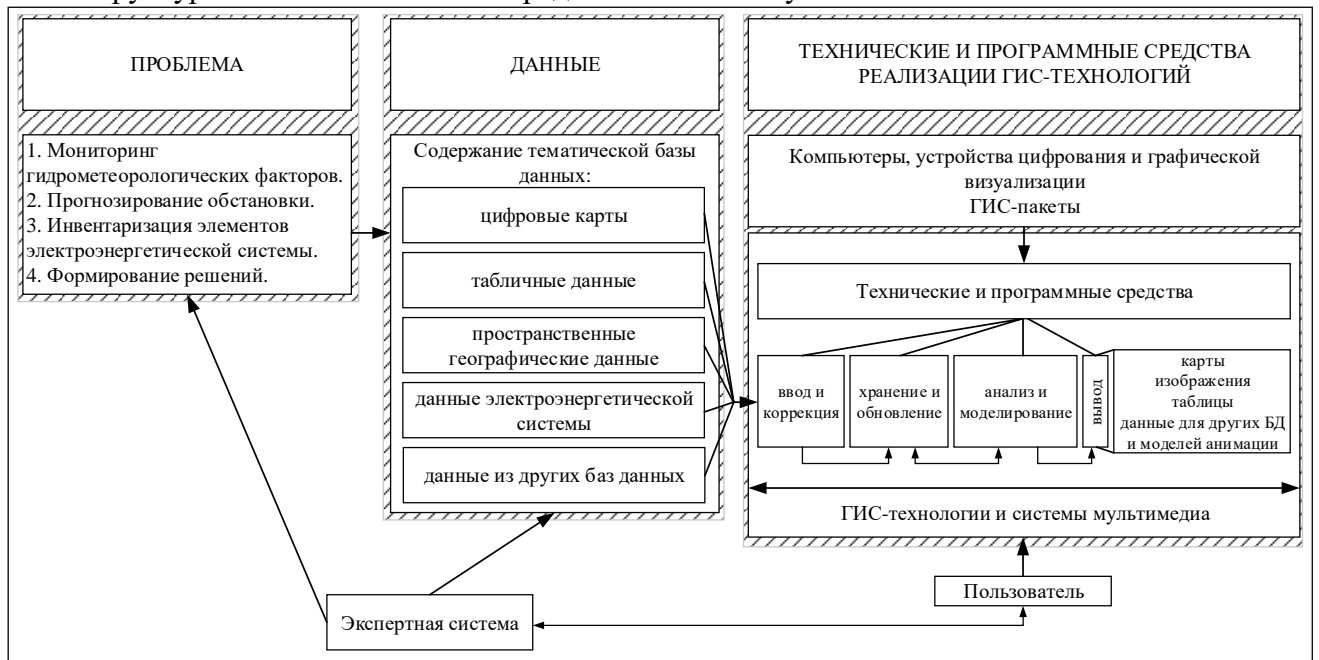


Рисунок 18 – Структурная схема ГИС УБЭР

В таблице 1 представлены базовые слои и их составляющие ГИС УБЭР.

Таблица 1 – Базовые слои и их составляющие ГИС УБЭР

№ п/п	Группа слоев	Составляющие
<b>Цифровые карты</b>		
1	Природные элементы ландшафта	рельеф
		водные объекты
		почвенный покров
		растительность
2	Техногенные элементы ландшафта	сооружения
		здания
		дорожная сеть
<b>Технико-технологические данные</b>		
1	Сооружения	подстанции
		опоры
		воздушные линии электропередачи
		категория потребителей
2	Места размещения	аварийный резерв
		мобильные бригады
		спецтехника
		мобильные модульные подстанции
		резервные источники снабжения электроэнергией
3	Характеристики воздушной линии электропередачи	сведения о проводе (материал, плотность, радиус)
		протяженность участка

№ п/п	Группа слов	Составляющие
		температура провода
		допустимая нагрузка
<b>Пространственные географические данные</b>		
1	Гидрометеорологические факторы	температура воздуха, °С
		скорость ветра, м/с
		направление ветра, °
		влажность воздуха, %
		атмосферное давление, мм. рт. ст.
		количество осадков, мм
2	Гидрометеорологические явления	гроза
		град
		дождь
		снег

На Рисунке 19 представлена структурная схема интеграции элементов ТС ОБЭР (Электросетевая организация, САЦ Минэнерго России, Региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения) и ГИС общего назначения. В целях информационного обеспечения ГИПУ ТС ОБЭР ГИС УБЭР предназначена для формирования атласа карт, топографических планов, дорожно-транспортной сети, моделей объектов электроэнергетической системы, зданий и сооружений, описывающих геопространство. 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 19 – Структурная схема интеграции ТС ОБЭР и ГИС общего назначения  
Структура требуемого информационного обеспечения ГИС УБЭР представлена на Рисунке

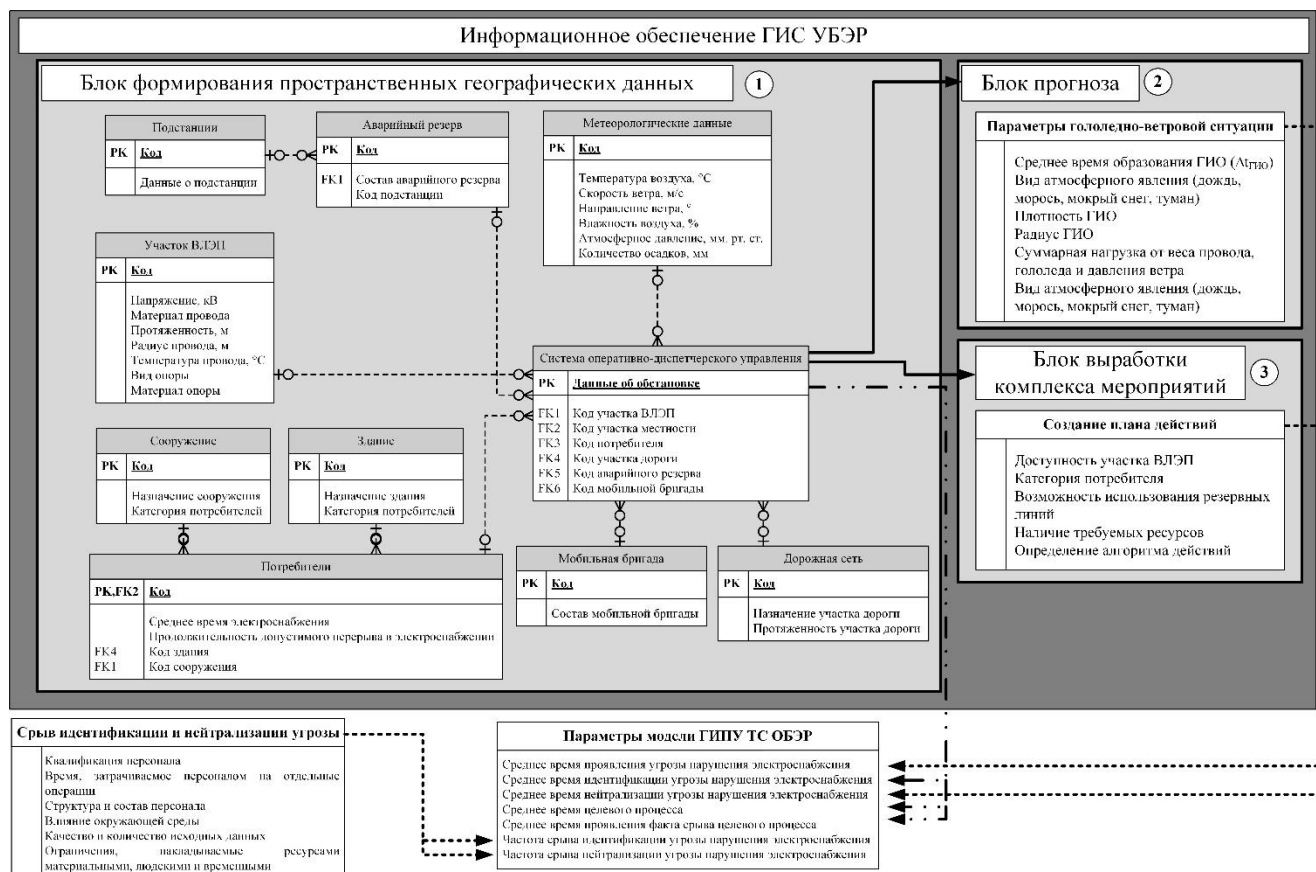


Рисунок 20 – Структура требуемого информационного обеспечения ГИС УБЭР

Предложения по совершенствованию технического оснащения (п.2) и кадрового обеспечения (п.3) ГИПУ ТС ОБЭР заключаются в том, что согласно зависимости, представленной на Рисунке 15, можно, заранее установив требуемый показатель безопасности электроснабжения региона, подобрать требуемое техническое оснащение для осмотра и контроля состояния ВЛЭП и устранения ГИО, выработать требования к обучению персонала или профессиональной подготовке различных категорий сотрудников.

**Научная новизна научно обоснованных практических рекомендаций по совершенствованию ГИПУ ТС ОБЭР заключается в разработке требований к информационному и кадровому обеспечению, техническому оснащению процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения ВЛЭП с учётом поставленных руководством страны целей по обеспечению национальной безопасности.**

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

### Заключение

В ходе исследования автором были получены следующие результаты, имеющие существенное значение для развития страны:

1. Поставлена и формализована задача обеспечения безопасности электроснабжения региона на базе применения ГИС в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды. Охарактеризована особенность процесса передачи электроэнергии посредством ВЛЭП в геопространстве. Выявлен перечень угроз нарушения электроснабжения региона, в наибольшей степени оказывающих деструктивное воздействие на объекты электроэнергетической отрасли. Определены возможности подходов для обеспечения безопасности электроснабжения на базе применения ГИС. Отмечено, что в целях обеспечения безопасности электроснабжения региона управление должно быть основано на использовании ПГД и ТТД, которые должны быть заложены в основу ГИПУ ТС ОБЭР. В

качестве методологии решения задачи выбраны результаты исследований ведущей НПШ «Системная интеграция процессов государственного управления». Отмечено, что ГИПУ ТС ОБЭР должно быть построено на системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона. Для этого необходимо иметь модель ГИПУ ТС ОБЭР, являющейся СОФ.

2. Автором полностью сформирована модель ГИПУ ТС ОБЭР на основе аналитической динамической модели обеспечения безопасности электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов геопространства. Описан общий подход к её разработке на основе системной интеграции процессов геоинформационной поддержки обеспечения безопасности электроснабжения региона и определены её основные соотношения. Представлены основные механизмы связи элементов модели ГИПУ ТС ОБЭР с показателем безопасности в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов. При анализе возможностей модели ГИПУ ТС ОБЭР установлено, что показатель безопасности электроснабжения региона достигает значения 0,8, считающегося наиболее приемлемым значением для удовлетворительного обеспечения безопасности объекта, при отношении среднего времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона к среднему времени идентификации (нейтрализации) угрозы нарушения электроснабжения региона равном 8:  $\Delta t_{\text{ПУ}}/\Delta t_{\text{ИУ}} = \Delta t_{\text{ПУ}}/\Delta t_{\text{НУ}} \geq 8$ .

3. Автором разработана методика ГИПУ ТС ОБЭР в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды на базе применения ГИС УБЭР. Представлен общий подход к её разработке и основные соотношения. При анализе возможностей установлено, что применение методики, по предварительным оценкам, позволяет увеличить показатель безопасности электроснабжения региона на 13,7% (в сопоставлении с использованием датчиков гололёдообразования).

4. Представленные научно обоснованные практические рекомендации в области информационного и кадрового обеспечения, технического оснащения ГИПУ ТС ОБЭР, сформулированные на базе вышеприведенных результатов, позволяют достигать требуемого показателя безопасности электроснабжения региона в условиях обледенения ВЛЭП.

#### **Рекомендации и перспектива дальнейшей разработки темы**

**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. ГИПУ ТС ОБЭР на базе применения ГИС УБЭР с требуемым информационным обеспечением является тем необходимым инструментом для решения задачи по предотвращению нарушения электроснабжения, который позволит достигать требуемого показателя безопасности электроснабжения региона путём формирования процессов с наперед заданными свойствами. В связи с этим, полученные результаты рекомендуются для внедрения в системы управления электроэнергетической отраслью.

**Перспектива.** Нахождение численных значений переменных модели ГИПУ ТС ОБЭР представляет собой чрезвычайно сложную и трудоёмкую задачу. Необходимо подчеркнуть, что единственным источником для определения численных значений является опыт либо натуральный 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 переменных модели ГИПУ ТС ОБЭР.

#### **Публикации по теме диссертации**

*а) Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ по специальности 1.6.20:*

1. Бурлов В.Г., *Полюхович М.А.* Совершенствование информационного обеспечения геоинформационной системы управления безопасностью электроснабжения региона в условиях

обледенения воздушных линий электропередачи // Информация и космос. – 2023. – № 1. – С. 138-147. (К2)

2. Бурлов В.Г., **Полюхович М.А.** Модель геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона в условиях обледенения воздушных линий электропередачи // Информация и космос. – 2023. – № 2. – С. 84-94. (К2)

б) Публикации с содержанием результатов, соответствующих специальности 1.6.20 Геоинформатика, картография, и опубликованных в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ по смежным научным специальностям:

1. Бурлов В.Г., Маньков В.Д., **Полюхович М.А.** Разработка модели управления процессами обеспечения безопасности эксплуатации электроустановки // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 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 // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2020. – №2 (52). – С. 40-47.

3. Бурлов В.Г., **Полюхович М.А.** Синтез системы обеспечения безопасности электроснабжения региона // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 3 (59). – С. 32-38.

4. Бурлов В.Г., **Полюхович М.А.** Разработка методики геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов // Гидрометеорология и экология. – 2023. – № 70. – С. 100-122.

5. **Полюхович М.А.**, Бурлов В.Г., Идрисова Д.И., Логвинова Ю.В. Геоинформационное управление безопасностью электроснабжения региона на основе модели допустимого риска нарушения электроснабжения / М.А. Полюхович, В.Г. Бурлов, Д.И. Идрисова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – №4 (130). – DOI: 10.23670/IRJ.2023.130.22

6. Бурлов В.Г., **Полюхович М.А.**, Идрисова Д.И. Модель геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона / В.Г. Бурлов, М.А. Полюхович, Д.И. Идрисова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – №7 (133). – DOI: 10.23670/IRJ.2023.133.16

в) Публикации в изданиях, рецензируемых в Scopus / Web of Science:

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 (Scopus)

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 (Scopus)

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 (Scopus)

4. 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 (Scopus)

5. 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 (Web of Science)

з) 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., **Полюхович 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. **Полюхович 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., **Полюхович 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., **Полюхович 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., **Полюхович 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., **Полюхович 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 молодежной научной конференции. Москва, 2021. – С. 507-508.

14. Маньков В.Д., *Полюхович М.А.* Применение геоинформационной системы для устойчивого функционирования электрических сетей // В книге: XLVII Гагаринские чтения 2021. Сборник тезисов работ XLVII Международной молодежной научной конференции. Москва, 2021. – С. 503-504.
15. *Полюхович 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., *Полюхович 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. *Полюхович 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.
18. *Полюхович М.А.* Представление информационного обеспечения геоинформационной системы управления безопасностью электроснабжения Арктики на базе модели решения человека // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2022. – № S2. – С. 51-54.
19. *Полюхович М.А.* Разработка процессно-функциональной модели геоинформационного управления безопасностью электроснабжения Арктики // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2022. – № S2. – С. 45-48.
20. *Полюхович М.А.* Разработка этапов получения требуемых географических пространственных данных из базы ГИС для обеспечения безопасности электрических сетей // В сборнике: Биотехнологии и безопасность в техносфере. Сборник материалов II Национальной научной конференции студентов и молодых ученых. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2022. – С. 196-198.
21. *Полюхович М.А.* О роли геоинформационной системы в прогнозировании обледенения воздушных линий электропередач // В сборнике: Инновационное развитие информационных систем и технологий в гидрометеорологии. сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. – С. 58-62.

д) Список программ для ЭВМ:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023619299 Российская Федерация. Программа для расчета показателя безопасности электроснабжения региона без учета целевой деятельности на базе применения ГИС / *М.А. Полюхович*, М.О. Авдеева, В.Г. Бурлов, Д.И. Идрисова; заявитель и правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». – № 2023618011; заявл. 26.04.2023; опубл. 10.05.2023. – 1 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023618808 Российская Федерация. Программа для расчета показателя безопасности электроснабжения региона с учетом целевой деятельности на основе использования пространственных и метеорологических данных / *М.А. Полюхович*, М.О. Авдеева, В.Г. Бурлов, Ю.В. Логвинова; заявитель и правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». – № 2023617990; заявл. 26.04.2023; опубл. 28.04.2023. – 1 с.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023619174 Российская Федерация. Программа для расчета показателя безопасности электроснабжения региона с учетом технического и кадрового обеспечения при прогнозировании и мониторинге угрозы нарушения электроснабжения региона на базе применения ГИС / *М.А. Полюхович*, М.О. Авдеева, А.В. Андреев, В.Г. Бурлов, И.В. Климова; заявитель и правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский

политехнический университет Петра Великого». – № 2023617997; заявл. 26.04.2023; опубл. 04.05.2023. – 1 с.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023619160 Российская Федерация. Программа для расчета показателя безопасности электроснабжения региона с учетом технического и кадрового обеспечения при предотвращении нарушения электроснабжения региона на основе использования пространственных и метеорологических данных / **М.А. Полюхович**, М.О. Авдеева, А.В. Андреев, В.Г. Бурлов, Н.В. Румянцева; заявитель и правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». – № 2023618005; заявл. 26.04.2023; опубл. 04.05.2023. – 1 с.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023619307 Российская Федерация. Программа для расчета толщины стенки гололёдно - изморозевого отложения на базе применения ГИС / **М.А. Полюхович**, М.О. Авдеева, В.Г. Бурлов, И.Г. Русскова; заявитель и правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». – № 2023618034; заявл. 26.04.2023; опубл. 10.05.2023. – 1 с.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023619161 Российская Федерация. Программа для расчета суммарной нагрузки на провод воздушной линии электропередачи при гололёдно-ветровой ситуации на базе применения ГИС / **М.А. Полюхович**, М.О. Авдеева, В.Г. Бурлов, Т.Т. Каверзнева; заявитель и правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». – № 2023619161; заявл. 26.04.2023; опубл. 04.05.2023. – 1 с.