



Министерство
образования и науки
Нижегородской области



Государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный
инженерно-экономический университет»

**Секция «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы»
НП «НТС ЕЭС» и Секции по проблемам НТП в энергетике
Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике**

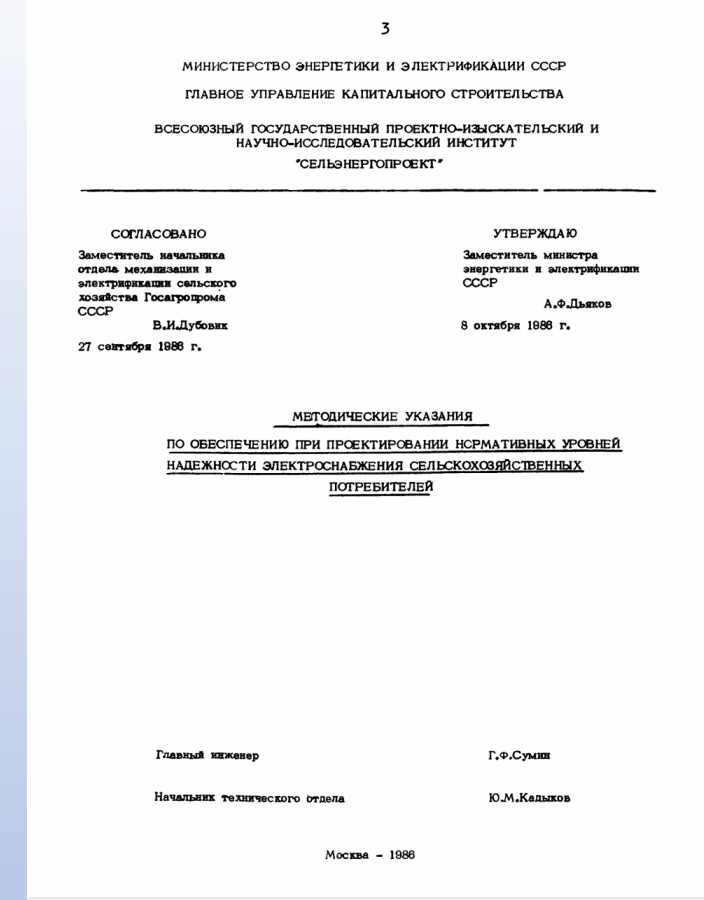
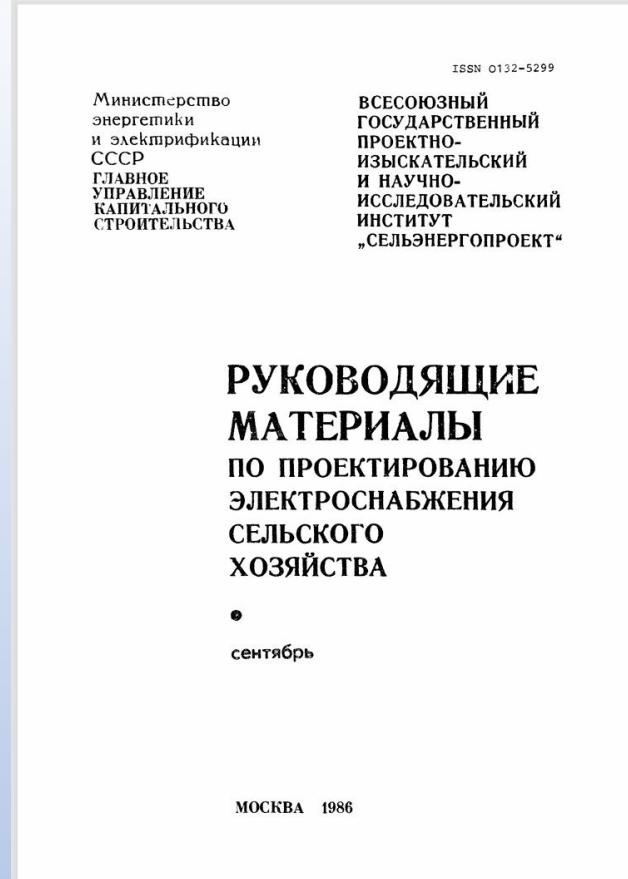
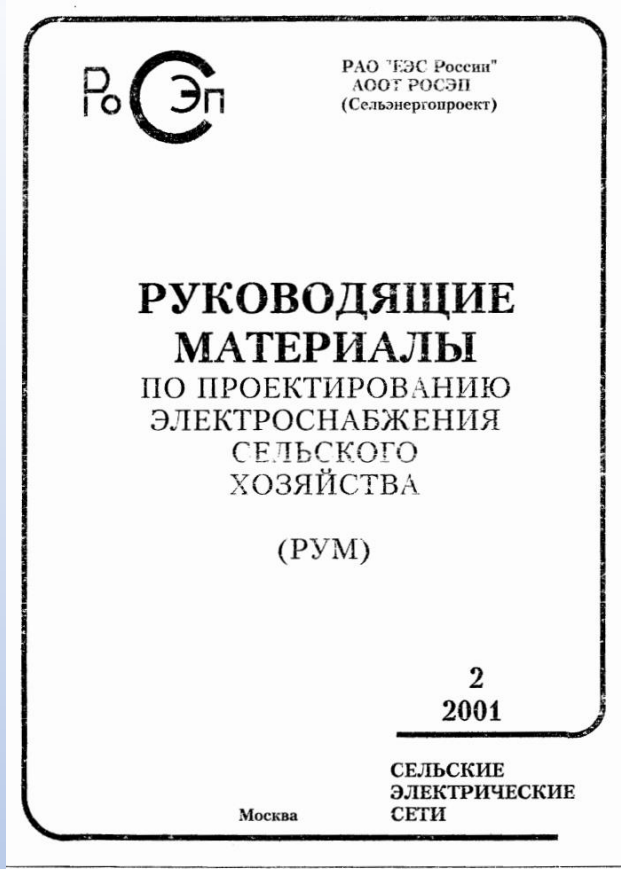
Надежность и эффективность функционирования систем электроснабжения предприятий агропромышленного комплекса

ОСОКИН Владимир Леонидович

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (ГБОУ ВО НГИЭУ)

E-mail: osokinvl@mail.ru

Москва, 29 апреля 2025 года



К электрическим сетям сельскохозяйственного назначения относятся сети напряжением 0,38-110 кВ, от которых снабжаются электроэнергией преимущественно (более 50 % по расчетной нагрузке) сельскохозяйственные потребители, включая коммунально-бытовые, объекты мелиорации и водного хозяйства, а также предприятия и организации, предназначенные для бытового и культурного обслуживания сельского населения.

Проблемы современной электроэнергетики, требующие решения с учётом технологических и экономических аспектов:

- 1) принятие решений по **развитию** ЭЭС (СЭС) с учётом фактора надёжности;
- 2) принятие решений по **управлению** ЭЭС (СЭС) при отказах их элементов в процессе эксплуатации;
- 3) исследование **возможностей** ЭЭС, СЭС и потребителей в задачах управления режимами электропотребления;
- 4) исследование **уязвимостей** и проблем кибербезопасности ЭЭС (СЭС);
- 5) оценка **критериев** экономической эффективности альтернативных вариантов управления режимами при изменении структуры, иерархии, усиления технологической и экономической независимости субъектов ЭЭС (СЭС) при возможном несовпадении интересов.

АКТУАЛЬНОСТЬ



А

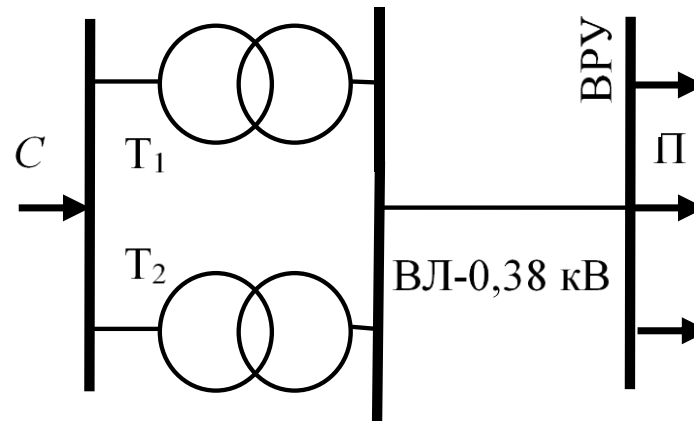
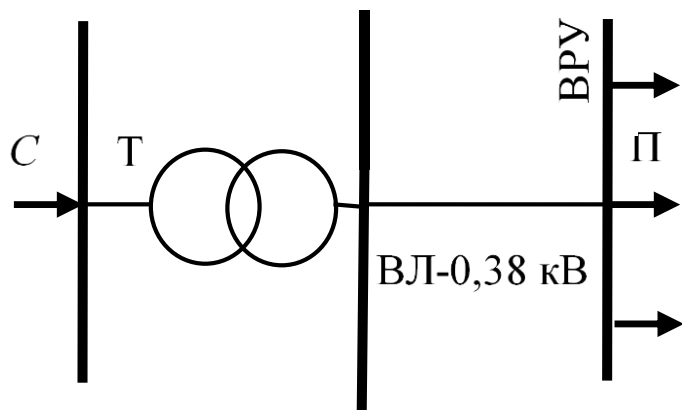


В



С

Внешний вид системы электроснабжения: **А** – зерно сушильно-очистительного комплекса, **В** – животноводческого комплекса, **С** – свободное, без нагрузки КТП



Упрощенные схемы существующих систем электроснабжения

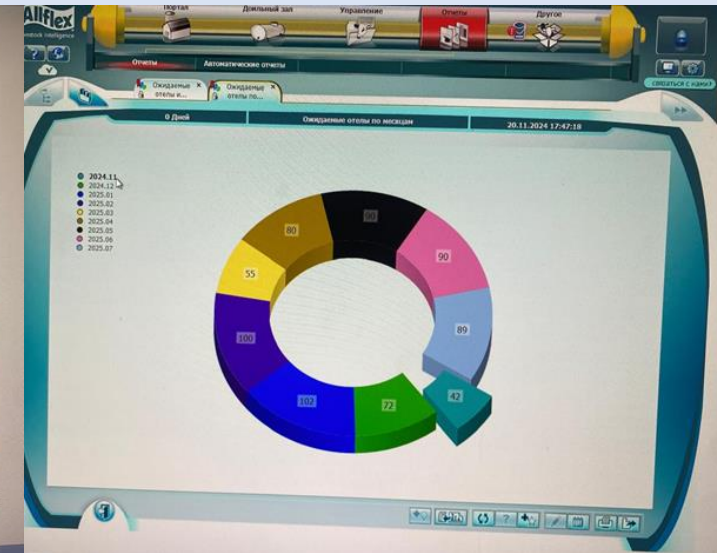
Контроль в технологическом процессе



По продуктивности



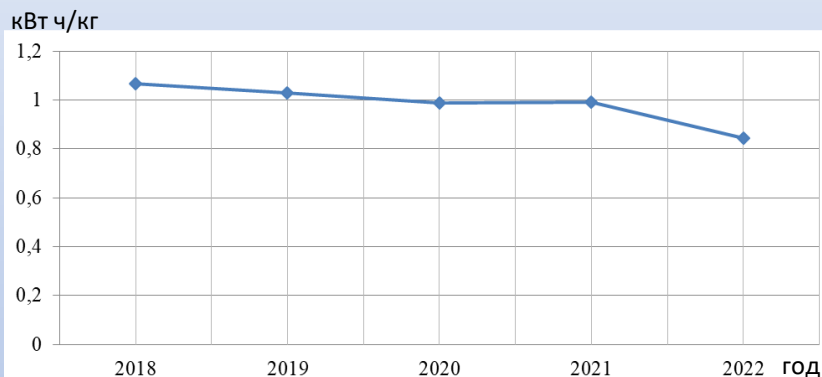
По дням лактации



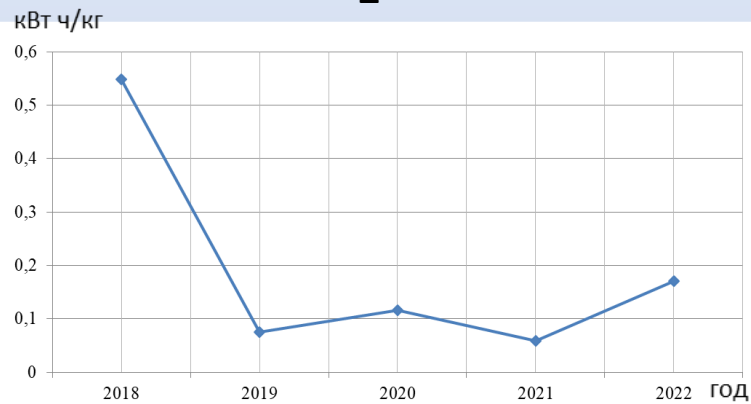
Отелы по месяцам

ЗАВИСИМОСТИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА С/Х ПРОДУКЦИИ (ЖИВОТНОВОДСТВО И РАСТЕНИЕВОДСТВО, УКЛОН В ЖИВОТНОВОДСТВО, ПЕРЕРАБОТКА)

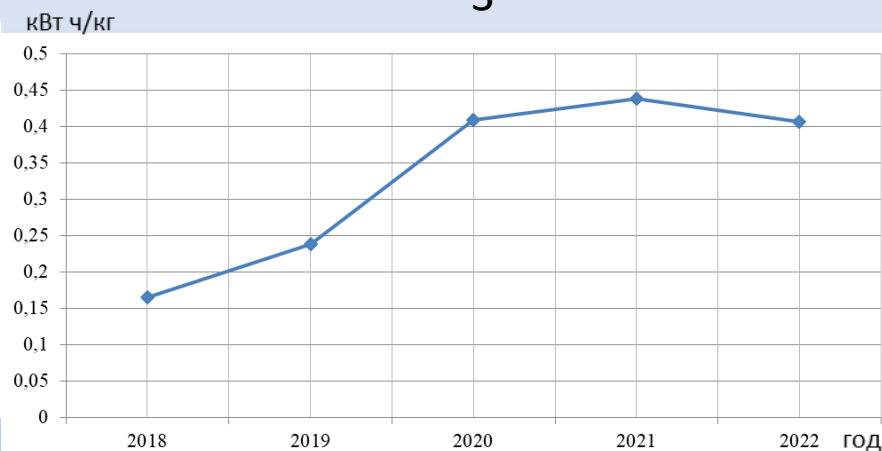
1



2



3



- 1 - Удельный годовой расход электроэнергии на предприятиях с уклоном в животноводство и растениеводство
- 2 - Удельный годовой расход электроэнергии на предприятиях с уклоном в животноводство
- 3 - Удельный годовой расход электроэнергии на предприятиях с уклоном на переработку

Степень разработанности темы исследования

Вклад в исследуемое научное направление внесли советские и российские ученые и инженеры:

Н. С. Афонин, В. А. Веников, Н. И. Воропай, Ю. Б. Гук, П. В. Илюшин, Г. Ф. Ковалёв, В. Г. Китушин, А. Л. Куликов, Н. А. Манов, В. В. Михайлов, В. А. Непомнящий, В. П. Обоскалов, В. Г. Огороков, Б. В. Папков, М. Н. Розанов, Ю. Н. Руденко, И. А. Рябинин, И. А. Ушаков, Г. Я. Федосенко, Ю. А. Фокин, М. Б. Чельцов, Е. М. Червонный, Ю. Я. Чукреев, А. И. Шалин, М. В. Шарыгин, В. И. Эдельман и др.

Важнейшая задача развития электротехнических комплексов России – реализация поэтапной интеллектуализации ЭЭС (СЭС) с учётом систем РГ, ВИЭ, СНЭЭ.

Федеральный закон "Об электроэнергетике"

Энергетическая стратегия России до 2035 г.

Дорожная карта Национальной технологической инициативы «Энерджинет»

Национальный проект «Интеллектуальная энергетическая система России»

Концепция цифровой трансформации 2030

Цель работы: Разработка новых, развитие и реализация существующих методических рекомендаций, решений и принципов обеспечения и повышения надёжности современных электротехнических комплексов в различных схемно-режимных условиях с временными ограничениями на основе рационального управления режимами электропотребления активными потребителями, новых технологий энергосбережения, перехода к интеллектуальным электрическим сетям и инновационным технологиям управления.

Задачи работы

- 1. Исследование** возможности теоретико-множественного представления сложности современных электротехнических комплексов.
- 2. Обоснование** необходимости расширения номенклатуры показателей надёжности СЭС.
- 3. Разработка** методики оценки надёжности в экстремальных ситуациях СЭС.
- 4. Разработка и обоснование** правил формализованного представления комплексов ПС, моделей анализа последствий нарушений их электроснабжения и управления режимом.
- 5. Исследование и разработка** методов управления режимами электропотребления с учётом активных потребителей, тарифного стимулирования и энергосбережения.
- 6. Оценка надёжности и эффективности** структурных схем систем РГ.
- 7. Выявление** зон и режимов электропотребления обобщённого потребителя в условиях внезапных и преднамеренных нарушений электроснабжения.

Объект исследования: электротехнические комплексы, включающие энергорайоны с промышленной, сельскохозяйственной и бытовой нагрузкой, СЭС с РГ, электрооборудование отдельных потребителей в нормальных, аварийных и послеаварийных условиях.

Предмет исследований: методы, модели, средства повышения надёжности и эффективности современных электротехнических комплексов СЭС, объектов производственных систем и управления ими на базе предлагаемых моделей, устройств противоаварийной и режимной автоматики при минимальных технико-экономических потерях и затратах.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА диссертации заключается в:

1. **Сформулированы** обобщённые представления о сложности характеристик СЭС с целью выявления основных предпосылок проблемы формализации анализа надёжности с определением нечётких мер, структурирование и учёт которых определяет объективность требований к конкретной СЭС.
2. **Доказана** необходимость совершенствования системы основных понятий в области надёжности ЭЭС (СЭС), дано её обобщение, конкретизирующее и наглядно показывающее сложность исследования, определения направления работ по оценке надёжности, соблюдая принципы системного подхода.
3. **Разработана оригинальная методика** критериев требований потребителей к ЭЭС, обеспечивающих их функционирование в экстремальных режимах электроснабжения.
4. **Разработана оригинальная методика** оценки эффективности функционирования систем РГ с перекрывающимися зонами.
5. **Предложена** система тарифного стимулирования электропотребления, позволяющая снизить тариф, увеличив приток денежных средств.
6. **Выработаны требования** к надёжности внешнего энергоснабжения с учётом длительности режима регулирования, периодичности, глубины ограничения, что является основанием согласованного изменения графика нагрузки с одновременной минимизацией последствий изменения режима электропотребления.
7. **Разработана методика** выявления зон риска и страхования надёжности позволяющая оценить риск потребителя на момент заключения договора электроснабжения.

Теоретическая и практическая значимость диссертации заключается в том, что:

- 1. Предложенная модель ПОО** даёт оценку множества самых нежелательных исходов (СНИ) внезапного, планового, полного и частичного нарушения электроснабжения электротехнического комплекса, стоимостных (ущерб) и временных ограничений.
- 2. Разработанная система представления ПН**, позволяет обеспечить развитие и уточнение оценок ПН с использованием системного подхода.
- 3. Решены задачи** оценки надёжности и безопасности электротехнических комплексов в экстремальных ситуациях, оценки эффективности внедрения современных систем РЗА, кибербезопасности.
- 4. Получены новые результаты** оценки надёжности и эффективности структурных схем систем РГ с перекрывающимися зонами действия.
- 5. Предложенные на основе совместимости целей стратегии управления** электропотреблением с учётом активных элементов потребителей позволили повысить возможности энергосбережения.
- 6. Выработаны условия** допустимости ожидаемых (возможных) вариантов отключения потребителей при минимизации вероятности разрыва производственно-технологических связей с учётом длительности введения режима регулирования, периодичности, глубины ограничения со стороны ЭЭС.
- 7. Предложена оригинальная модель** управления рисками для обеспечения надёжности и безопасности электроснабжения

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

- 1. Методика применения теоретико-множественного представления сложности** больших технических систем (БТС) к современным СЭС при решении задач оценки их надёжности и эффективности.
- 2. Предложения по развитию модели** исследования основных понятий надёжности ЭЭС (СЭС) на основе их обобщённого представления.
- 3. Оригинальная методика оценки надёжности и безопасности** электротехнических комплексов в экстремальных ситуациях.
- 4. Методика оценки надёжности и эффективности** структурных схем систем РГ с перекрывающимися зонами действия.
- 5. Методическое решение проблемы управления электропотреблением**, включающее:
 - **постановку задачи** управления электропотреблением;
 - **методический подход** к моделированию функционирования ПС в условиях нормальной работы и аварийных ситуаций;
 - **эксплуатационные решения** по управлению электропотреблением для обеспечения надёжного функционирования СЭС потребителя.
- 6. Методика оценки технико-экономических потерь** от нарушений электроснабжения структурно сложных технических систем.
- 7. Система** управления рисками при обеспечении надёжности и безопасности электротехнического комплекса.

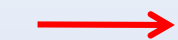
I.«Сложность современных систем электроснабжения» требует исследования

Предпосылки формализации надёжности электротехнического комплекса:

- **необходимость** учёта детерминированных и вероятностных показателей отказа элементов, полного (частичного) нарушения электроснабжения;
- **отсутствие** классификации опасных и вредных факторов (ОВФ) влияющих на СЭС;
- **отсутствие** детерминированных и вероятностных знаний об опасностях и их последствиях;
- **неполнота** описания событий «безопасность — опасность»;
- **необходимость оценки** множества самых нежелательных исходов (СНИ) путём выделения подмножества нечётких факторов, что позволяет перейти к объективным требованиям конкретного электротехнического комплекса;
- **потребитель** должен рассматриваться как потенциально опасный объект (ПОО).

Характеристики сложности СЭС :

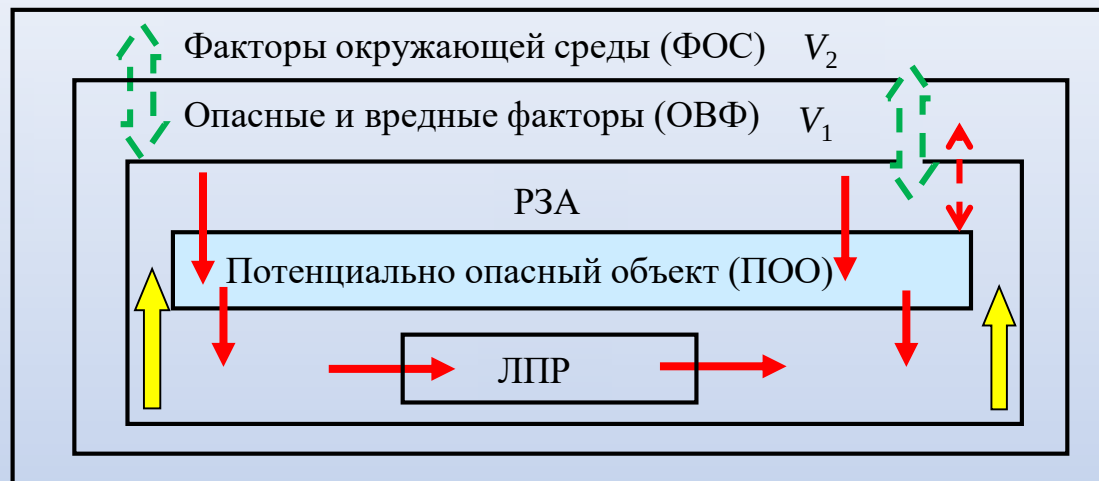
- а)* степень централизации α — мера разделения полномочий между иерархическими уровнями системы;
- б)* норма управляемости μ .



Нерегламентированные
воздействия (неселективные и
ложные срабатывания,
неправильные настройки)



Функциональные связи;



Аварийные воздействия
множества параметров V_2 ФОС
на ПОО и (или) ЛПР и ПОО и
(или) ЛПР на ФОС



Паразитные каналы ОВФ
параметров V_1

Анализом установлено:

- множество ОВФ, влияющих на ПОО и РЗА – V_1 ;
- множество аварийных воздействий факторов окружающей среды (ФОС) на ПОО и (или) ЛПР и ПОО и (или) ЛПР на ФОС – V_2 , $V = V_1 \cup V_2$;
- множество параметров и характеристик чувствительности ПОО, его защите (РЗА) и административно-управленческого персонала (ЛПР) к ФОС и ОВФ – R ;
- множество нечётких функций, паразитных каналов ОВФ – F (причём, $B = F \cap R$ и $B \neq \emptyset$).

ЗАДАЧА: определение неопределенных, расплывчатых (нечётких) границ между системами, системой и средой.

Введено понятие мощности межэлементных связей: $\omega = \omega(t, \gamma)$,

где t – элементы системы;

γ – межэлементные связи.

Граница определяется как $F(t, \gamma, \omega_0) = 0$, где ω_0 – минимальная мощность межэлементных связей, соответствующая границе балансовой принадлежности.

Внутри элементы t_1 , с межэлементными связями γ_1 мощностью $\omega(t_1, \gamma_1) > \omega_0$.

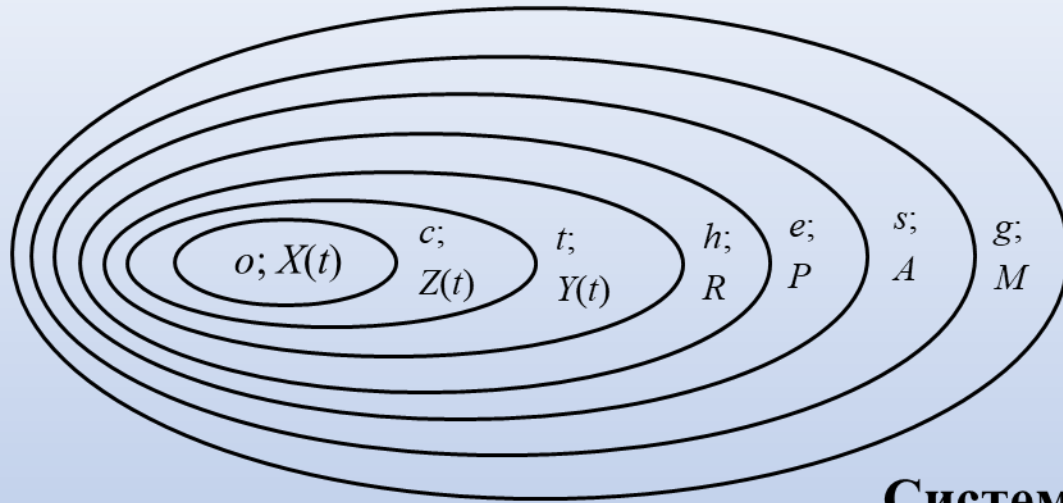
Вне – элементы t_2 со связями γ_2 мощностью $\omega(t_2, \gamma_2) < \omega_0$.

Пограничные элементы t_3 – хотя бы одна связь γ_3 мощностью $\omega(t_3, \gamma_3) > \omega_0$.

Остальные – $\omega(t_3, \gamma_3^*) < \omega_0$.

1. Комплекс ЭЭС-СЭС-потребитель – сложная динамическая система развивающаяся во времени и пространстве, со свойствами, отсутствующими у её элементов и связей.
2. Предложенные подходы к оценке надёжности СЭС заключаются в анализе структурных и функциональных схем с учётом большого количества целей, переменных показателей и контуров принятия решений.
3. Предложенная модель ПОО позволила оценить множество СНИ внезапного, планового, полного и частичного нарушения электроснабжения, стоимостных (ущерб) и временных ограничений.
4. Основные характеристики СЭС, определяются подмножеством факторов (нечётких мер), структурирование и учёт которых на этапах жизненного цикла позволяет перейти к разработке объективных требований к электротехническому комплексу.

II. «Расширение надёжных свойств интеллектуальных СЭС»



Разработанная система основных понятий в области теории надёжности СЭС позволяет:

- **конкретизировать** и наглядно показать сложность исследования и анализа;
- **определить** направления работ по оценке ПН, соблюдая принципы системного подхода и имея возможность дальнейшего изучения, развития и уточнения.

Система основных понятий в теории надёжности

o – объект; c – условия; t – временной горизонт; h – человеческий фактор; e – технологические особенности; s – основы теории надёжности; g – система управления. X – технико-экономические показатели; Z – параметры среды; Y – выходные (нормативные) параметры надёжности; R – показатели надёжности; P – задачи надёжности; A – методы решения; M – способы действия (методы и средства управления надёжностью).

$X = \{x\}$ – параметры внутренних характеристик; $Z = \{z\}$ – условия и параметры применения объекта;

$Y = \{t\}$ – параметры функционирования объекта $x \in X$ в условиях $z \in Z$, $y = f(x, z)$, $y \in Y$.

В общем случае **понятие отказа - неоднозначно**, а классический подход к оценке ПН часто **не учитывает** их условность и неопределённость.

Уточнённые рекомендации по выбору ПН объектов СЭС на основе чёткой формулировки критерия отказа

Системная оценка ПН учитывает:

- множественность,
- взаимосвязь причин и следствий,
- изменчивость,
- случайность,
- условность моделей,
- влияние человеческого фактора.

Степень соответствия возможных результатов B , требуемым для выполнения заданных функций в заданном объёме, с соблюдением нормативов R :

$$R = \{B_{\downarrow} \leq B \leq B^{\uparrow}\}$$

Вероятность соответствия результатов P , требуемым для поставленных задач:

$$P(R) = P\{B_{\downarrow} \leq B \leq B^{\uparrow}\}.$$

Оценка надёжности СЭС с представлением результатов выполнения многоцелевой ПС каждой из n целей

$$R = \left[\begin{array}{c} B_{\downarrow 1} \leq B_1 \leq B^{\uparrow 1} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ B_{\downarrow i} \leq B_i \leq B^{\uparrow i} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ B_{\downarrow n} \leq B_n \leq B^{\uparrow n} \end{array} \right]$$

$B_{\downarrow i}$ и $B^{\uparrow i}$ – нижний и верхний пределы необходимого результата функционирования СЭС при решении i -й задачи;

B_i – возможный или фактический результат функционирования СЭС для выполнения i -й задачи

ВОЗМОЖНО:

- выполнение СЭС всех n задач;
- выполнения наиболее важных задач $k < n$;
- выполнение не менее $n_0 < n$ заданных задач.

Показатели надёжности:

$$P_n; P_k; P_{n_0 \leq n}, M(P_i), D(P_i).$$

Критерий достоверности – вероятность $P_R = (R_\phi \leq R_H)$,

**Вероятность выполнения
СЭС всех функций – $P(R_n)$**

[illegible]

Усложнение структуры, различие типов и мощности РГ, ВИЭ, СНЭЭ требует чёткости ПН «маневренность», «мобильность», «гибкость».

Рекомендуемые показатели гибкости, определяющие мобильность ГУ:

Диапазоны регулирования нагрузки

- **время** работы с изменённой мощностью;
- **время** задержки реакции на изменение нагрузки;
- **энергетическая ёмкость** – запас первичного энергоносителя (кВт·ч), для маневренных ГУ.

$$\alpha = \frac{P_H - P_{min}}{P_H} 100\%,$$

$$\beta = \frac{P_{max} - P_H}{P_H} \mathbf{100\%},$$

скорость изменения $V = \Delta P / \Delta t$ (кВт/мин)

По результатам исследований:

Разработана система понятий и обобщений представления ПН, позволяющая:

- конкретизировать и показать сложность исследования и анализа СЭС потребителей АПК;
- определить направления работ по оценке их надёжности на принципах системного подхода, возможности их дальнейшего изучения, развития и уточнения.

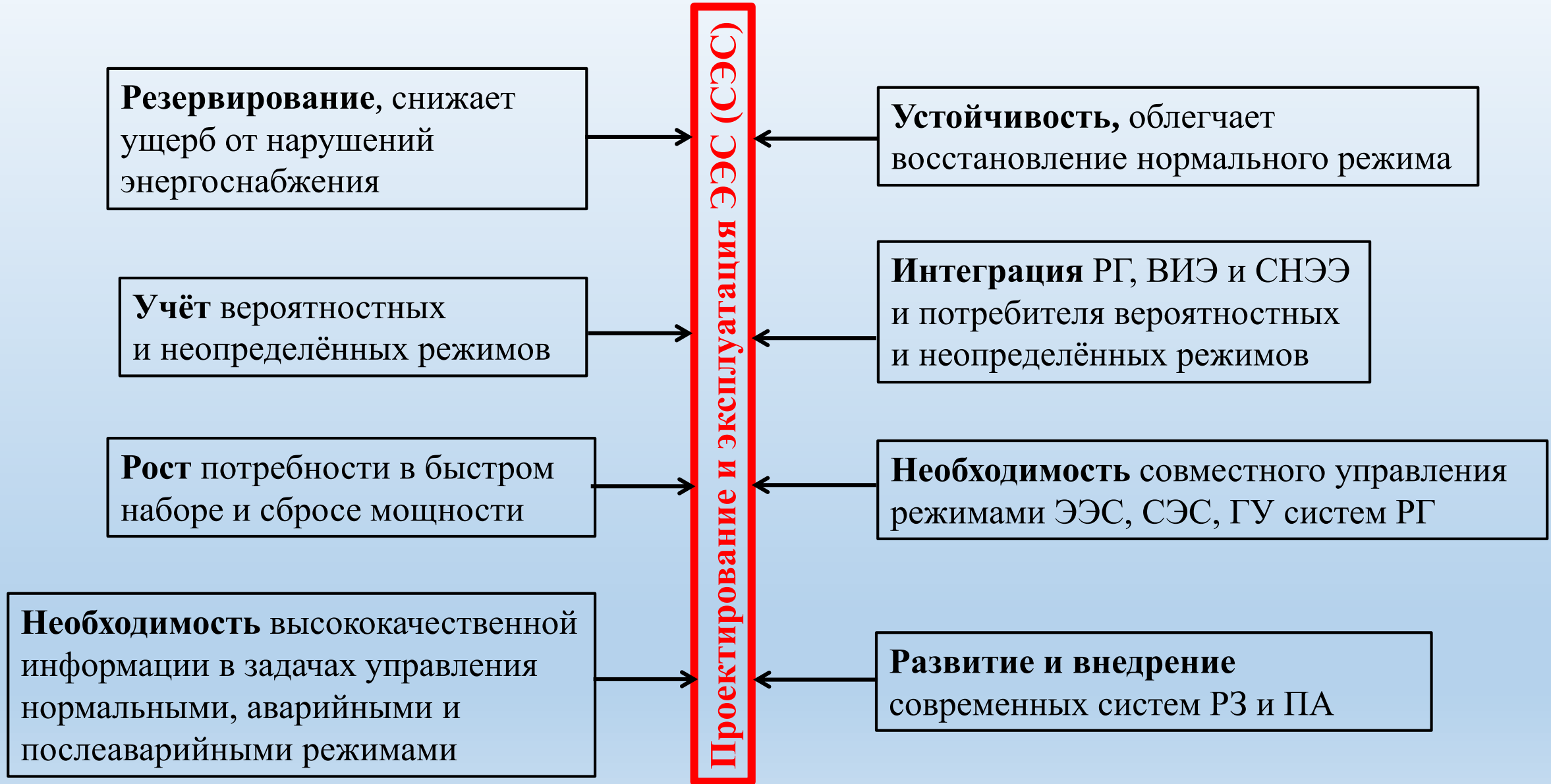
Установлено, что классические единичные ПН не позволяют объективно оценить последствия отказа в СЭС и влияние его на конечный эффект функционирования потребителя.

Доказано, что система энергетики обладает свойством гибкости, если найдены значения переменных, при которых существует вероятность удовлетворения всех ограничений в каждый момент времени её функционирования при любых возможных значениях неопределённых параметров.

Утверждается необходимость введения системных показателей эффективности функционирования ЭЭС в СЭС потребителей АПК: «маневренность», «мобильность», «гибкость».

III. «Энергетическая безопасность и управление электропотреблением»

Решение задач в современных электротехнических комплексах требует учёта следующих факторов



РЕЗУЛЬТАТЫ исследований показали:

Наброс мощности на ВЭС и СЭС	Неуправляемые изменения нагрузок электростанций	Учёт доли ВИЭ в ЭЭС	Сокращение базовой части графика мощности
перегрузка и отключение ЛЭП; рост потерь электроэнергии; усложнение управления режимами работы ЭЭС; отказы и ложные срабатывания РЗ и ПА; рост потребности в быстром наборе мощности (до 13 ГВт за 3 ч); изменение транзитных перетоков	снижение эффективности использования топлива; рост выбросов вредных веществ на единицу вырабатываемой энергии; рост себестоимости производства электроэнергии; снижение надёжности электроснабжения потребителей	При доле ВИЭ 10% увеличение среднего по ЭЭС коэффициента неравномерности загрузки ТЭС увеличится с 1,56 до 1,74 (11,5%). Необходимость сброса нагрузки на ТЭС ежесуточно 1–2 ГВт и еженедельно 3–4 ГВт	сокращение технического ресурса; рост затрат на ремонты; снижение качества производимой электроэнергии и надёжности ГУ; изменение транзитных перетоков

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОО:

Серьёзность последствий событий при вероятности «ПОЧТИ НОЛЬ».

ОСОБЕННОСТИ

Большая погрешность статистических моделей оценки малых вероятностей: недостаток, неопределённость, недостоверность ретроспективной информации.

Невозможность получения эффективных, несмещённых и состоятельных статистических оценок.

В пределах стабильных значений обобщённого показателя Π статистически приемлемые результаты $\Pi_{min} + \Delta_1 \leq \Pi \leq \Pi_{max} - \Delta_2$, обеспечивают надёжность прогнозов возможных последствий.

В диапазонах близких к экстремальным

$$\Pi_{min} \leq \Pi \leq \Pi_{min} + \Delta_1; \Pi_{max} - \Delta_2 \leq \Pi \leq \Pi_{max}$$

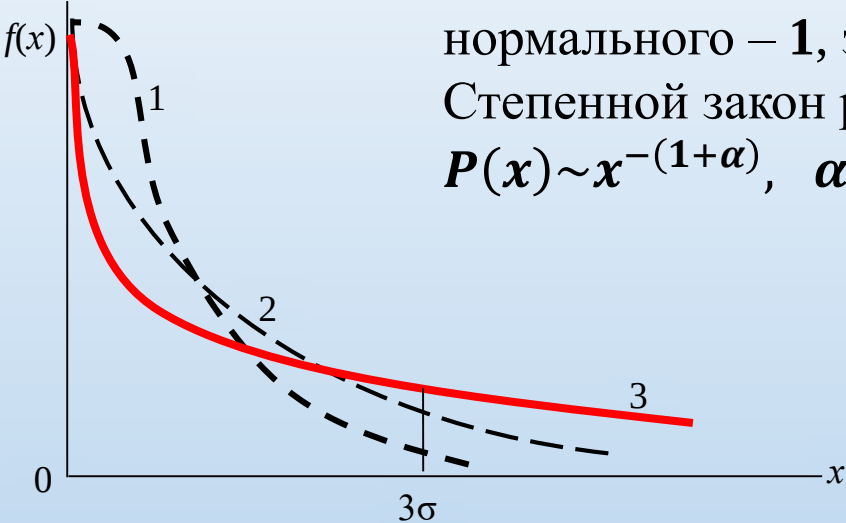
достоверность уменьшается.

СЛЕДСТВИЕ: повышение надёжности – уменьшение интервалов

$$\Pi_{min} + \Delta_1 \text{ и } \Pi_{max} - \Delta_2.$$

УТВЕРЖДЕНИЕ: Вероятности редких (непредсказуемых) событий лежат на «хвостах» распределений, в критической «размытой» области. Переход к методам Fuzzy Sets расширяет её за счёт неопределённости, обоснованной «осторожными» экспертными оценками.

Сравнительные плотности



нормального – 1, экспоненциального – 2, степенного – 3 законов распределения
Степенной закон распределения плотности вероятностей:

$P(x) \sim x^{-(1+\alpha)}$, $\alpha \sim 1$ Чем меньше $\alpha < 1$, тем опаснее процесс.

Риск **R** при нарушении нормальной работы СЭС оценивается как $R = pY$,

p – вероятность реализации опасного события (авария, отказ, инцидент и т. п.);

Y– математическое ожидание ущерба.

Расчётные вероятности аномальных событий по 10 объектам

Объект	1	2	3	4	5
Гамма-распределение	0,00005	0,00036	0,001	0,0025	0,000036
Степенное	0,015	0,0039	0,059	0,009	0,012
Объект	6	7	8	9	10
Гамма распределение	0,0011	0,0015	0,0055	0,0019	0,01
Степенное	0,098	0,006	0,026	0,0114	0,029

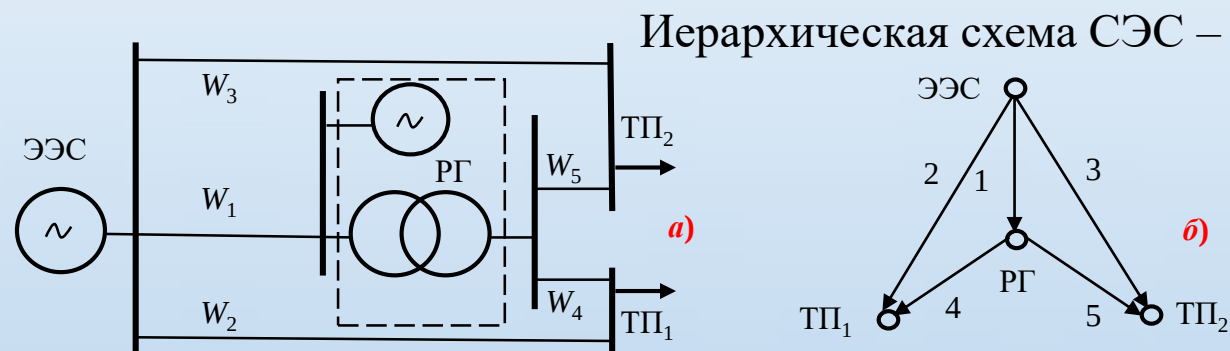
Отличие вероятностей по **степенному** и **гамма-распределению** достигают **300** раз.

Анализируемые события **не являются «почти невероятными».**

IV. «Оценка надёжности и эффективности структурных схем РГ»

Для формирования структуры и свойств электротехнического комплекса, с множеством игроков энергорынка, **РАЗРАБОТАНЫ И РЕКОМЕНДОВАНЫ:**

1. Метод прямого перебора возможных состояний иерархической схемы



Для *j*-го состояния вычисляется вероятность *r_j* того, что оно будет реализовано.

Для всей СЭС искомая вероятность: $P = \sum_j r_j \delta_j$,

δ_j – индикатор *j*-го состояния: $\delta_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j \in S_r \\ 0, & \text{если } j \in S_s \end{cases}$.

При независимости элементов СЭС вероятности состояний определяются как:

$$r_0 = \prod_{i=1}^n p_i, \quad r_i = q_i \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n p_k, \quad r_{ij} = q_i q_j \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n p_k, \dots, r_{1,2,\dots,n} = \prod_{i=1}^n q_i,$$

p_i и *q_i* – вероятности работоспособного и неработоспособного состояний.

2. Метод оценки условий работоспособности автономных СЭС

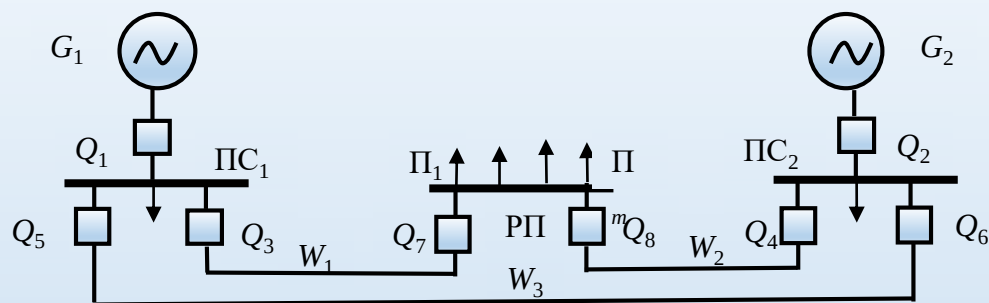
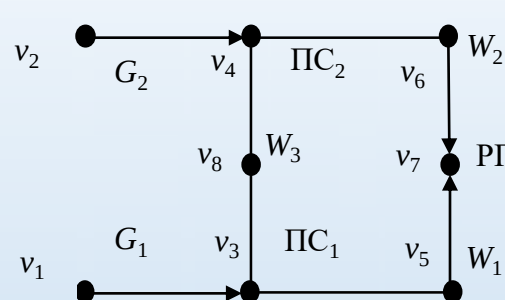


Схема и граф электротехнического комплекса (СЭС потребителя)



$$\mathbf{A}(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8) =$$

$$= \begin{bmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \\ \Pi_3 \\ \Pi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 & v_3 & v_5 & v_7 \\ v_1 & v_3 & v_8 & v_4 & v_6 & v_7 \\ v_2 & v_4 & v_6 & v_7 \\ v_2 & v_4 & v_8 & v_3 & v_5 & v_7 \end{bmatrix}.$$

$$\mathbf{B}(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8) =$$

$$\begin{matrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 & s_5 & s_6 & s_7 & s_8 & s_9 & s_{10} \end{matrix}$$

$$= \begin{bmatrix} v_7 & v_1 & v_1 & v_2 & v_3 & v_3 & v_4 & v_5 & v_1 & v_2 \\ & v_2 & v_4 & v_3 & v_4 & v_6 & v_5 & v_6 & v_6 & v_5 \\ & & & & & & & & v_8 & v_8 \end{bmatrix}.$$

Работоспособность комплекса определяется матрицами путей $\mathbf{A}$ и минимальных сечений $\mathbf{s}_i$ ($i = \overline{1, 10}$) отказов элементов $\mathbf{B}$.

Качественный анализ:

$\mathbf{РП} (v_7)$ – приоритет по всем показателям,

$\mathbf{W}_3 (v_8)$ – последнее место,

$\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_5, \mathbf{v}_6$ ($\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2, \mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2$) – одинаковый «вес»,

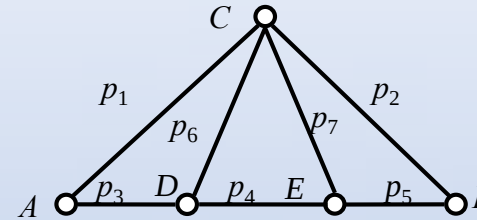
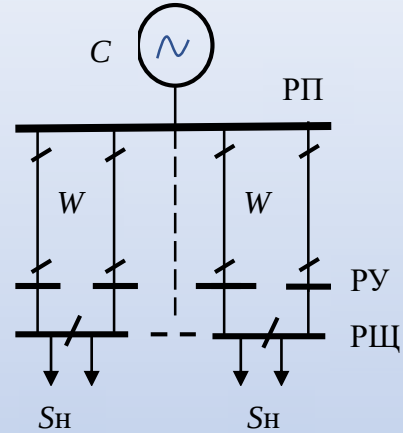
$\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2$ ($\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2$) – более значимы, чем $\mathbf{v}_5, \mathbf{v}_6$ ($\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2$) и даже $\mathbf{v}_3, \mathbf{v}_4$ ($\mathbf{ПС}_1, \mathbf{ПС}_2$).

Следовательно, максимальное приращение надёжности обеспечивается повышением надёжности элементов в последовательности:

1) $\mathbf{РП} (v_7)$, **2)** $\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2 (v_1, v_2)$, **3)** $\mathbf{ПС}_1, \mathbf{ПС}_2 (v_3, v_4)$, **4)** $\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2 (v_5, v_6)$, **5)** $\mathbf{W}_3 (v_8)$.

Замечание: при других соотношениях ВБР элементов результат может быть другим.

3. Метод оценки вероятности связности в замкнутых сетях РГ



Граф схемы условной автономной ЭЭС

Условие. Схема условной автономной ЭЭС

Узлы абсолютно надёжны.

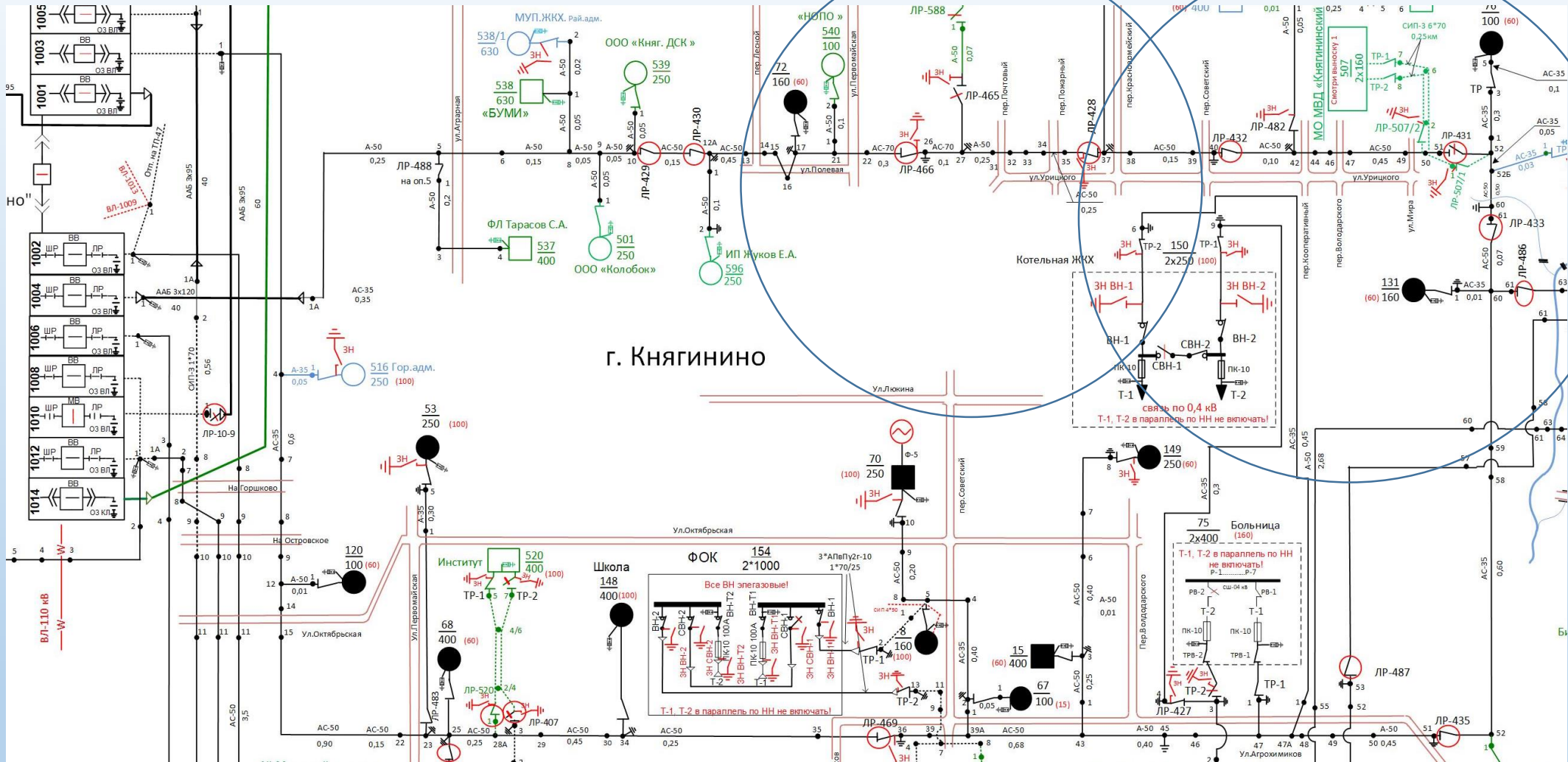
Для связи узлов **A** и **B** используются пути из трёх и менее последовательно включённых рёбер:

$$\begin{array}{l}
 \Pi_1 \\
 \Pi_2 \\
 \Pi_3 \\
 \Pi_4
 \end{array}
 \left| \begin{array}{ccc}
 AC & CB & 00 \\
 AD & DE & EB \\
 AD & DC & CB \\
 AC & CE & EB
 \end{array} \right|$$

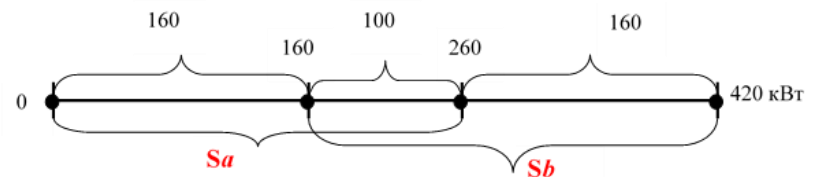
Отсутствие связи узлов **A** и **B** сводится к вычислению вероятности

$$Q_{AB} = (1 - p_1 p_2) \cdot (1 - p_3 p_4 p_5) \cdot (1 - p_3 p_6 p_2) \cdot (1 - p_1 p_7 p_5).$$

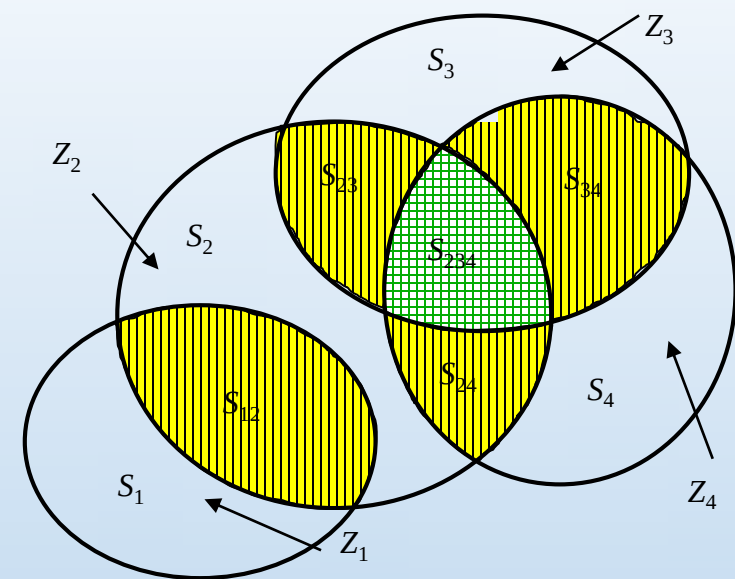
4. Методы оценки эффективности РГ с перекрывающимися зонами



Эффективность работы анализируемой системы электроснабжения равна 0,884



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ РГ С ПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ЗОНАМИ



1. Две ГУ системы РГ S_a и S_b , обеспечивают мощность $P_{\Sigma} = P_{max}$.

РЕЖИМЫ

ГУ S_a работает в режиме выдачи мощности – $0 < P_{S_a} < P_2$;

ГУ S_b работает в режиме выдачи мощности – $P_1 < P_{S_b} < P_{max}$, ($P_1 < P_2$)

Надёжность выдачи мощности ГУ: $R_a = R_b$

Вероятность надёжного электроснабжения потребителей

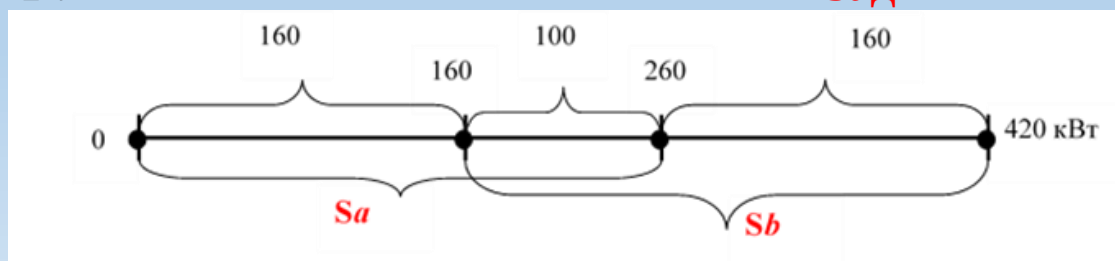
в зоне каждой ГУ – $R_1 = R_2$

Зоны работы ГУ системы РГ

Вероятность надёжного электроснабжения потребителей, находящихся

в зоне одновременного действия ГУ – $P = 1 - (1 - R_1)^2$.

Оценка эффективности РГ определяется вероятностью обеспечения в любой момент времени нагрузки в диапазоне $0 \leq P \leq P_{зад}$.



Зоны выдачи мощности ГУ

Доказано, что необходимо чёткое обоснование цели внедрения объекта РГ и режимов его работы с учётом технологических особенностей основного производства и требований по надёжности электроснабжения заказчиков как в изолированном режиме работы системы РГ, так и в режиме с электроснабжением от основной сети ЭЭС.

Рекомендуется в качестве показателей эффективности работы РГ использовать вероятности аварийной ситуации, перегрузки оборудования, восстановления в течение определённого времени, выполнения задания в условиях ограничений и т.п.

Необходим учёт условий и требований, сопряженных с обеспечения интересов всех владельцев ГУ, входящих в состав систем РГ и основной ЭЭС, включая координацию оперативно-диспетчерского управления.

Представленные результаты оценки условий работоспособности простейших структур СЭС позволяют решать комплекс задач обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения потребителей, обеспечивая устойчивую работу при нарушении работоспособности отдельных ГУ и их групп.

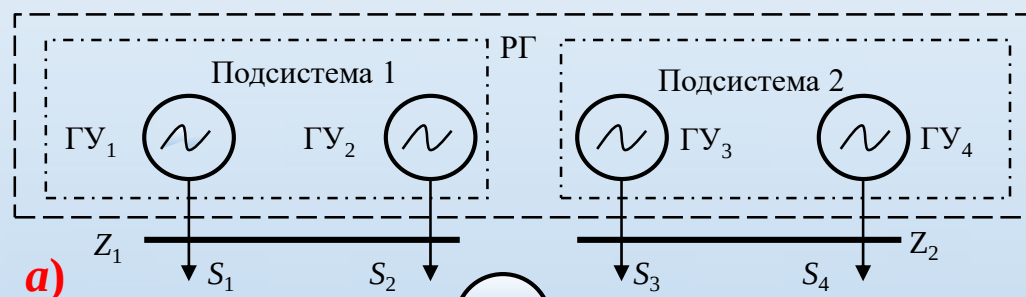
Установлено, что РГ представляется структурами с перекрывающимися зонами действия, оцениваемые эффективностью функционирования – степенью целесообразности использования РГ в различных режимах.

5. Оценка эффективности системы РГ с четырьмя ГУ

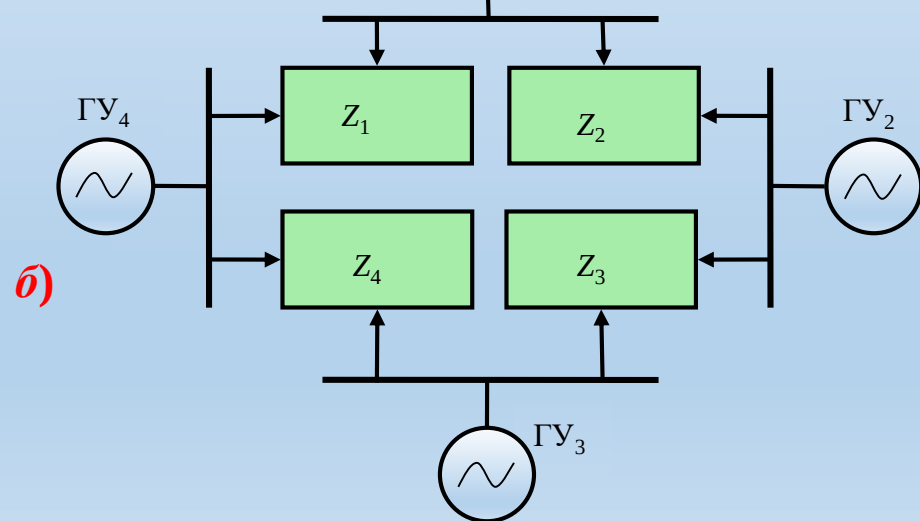
5, а) две независимых подсистемы общей системы РГ

5, б) система РГ с четырьмя ГУ и потребителями, расположенными в четырёх зонах

В соответствии с биномиальным распределением:



а)



б)

ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА:

одной из четырёх ГУ – $q_{1,4} = C_4^1 q^1 p^3$.

одновременно двух любых ГУ – $q_2 = 1 - P$.

двух ГУ одной Z_i зоны – $q_{2z_i} = 2q_2 P$.

двух ГУ в разных зонах – $q_{2z_{ij}} = 4(qp)^2$.

трёх ГУ – $q_{3,4} = C_4^3 q^3 p^1$.

ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА:

одной ГУ – $q_{1,4} = C_4^1 q^1 p^3$.

двух соседних ГУ – $q_{2\text{сос},4} = 4 \cdot q^2 p^2$; полное нарушение электроснабжения одной зоны S_i .

двух смежных ГУ – $q_{2\text{пр},4} = 2 \cdot q^2 p^2$; электроснабжение сохраняется $S_i (i = \overline{1,4})$ только от одного источника.

трёх ГУ – $q_{3,4} = C_4^3 q^3 p^1$; полное нарушение электроснабжения в двух зонах, другие питаются от одной ГУ.

V. «Исследование и разработка методов рационального управления электропотреблением»

Взаимные интересы ТСО и потребителя - эффективность СЭС.



Интересы ТСО – прибыль от повышения эффективности основного оборудования $\mathcal{E}_0$ и снижения затрат на топливо $\mathcal{E}_T$,
Интересы потребителя – эффект сокращения электропотребления:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{ТСО}} + \mathcal{E}_{\text{П}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{эсо}} = \mathcal{E}_0 + \mathcal{E}_T; \quad \mathcal{E}_{\text{П}} = \Delta N t c - Y,$$

$\mathcal{E}$ – эффективность мероприятий; $\mathcal{E}_{\text{ТСО}}$ – эффект ТСО;
 $\mathcal{E}_{\text{П}}$ – эффект потребителя; ΔN – снижение мощности потребителя за счёт управления; c – тариф;
 t – длительность изменения режима; Y – ущерб от изменения режима

Требования потребителей к уровню энергетической безопасности и надёжности

Независимо от технологических особенностей практически все потребители имеют две типовые точки.

Первая определяет минимальное сокращение электропотребления ΔW_{min} , без снижения выпуска продукции.

Вторая соответствует снижению электропотребления ΔW_{max} , с прекращением выпуска продукции.

Если $\Delta W_{min} \leq \Delta W \leq \Delta W_{max}$, то ограничение в электропотреблении соответствует переходу ПС в состояние частичной работоспособности.

Необходимо создание системы, обеспечивающей комплекс правил и процедур (программ, алгоритмов), нормативных, регламентирующих, информационно-справочных документов.

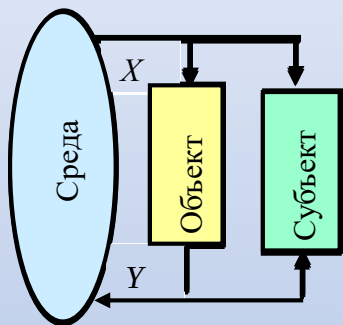
Результат её функционирования – эффективная координация действий энергослужб, обеспечивающая ответы на вопросы: «что?», «когда?», «кому?» делать.

ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Задача: формализация системы управления, электротехническим комплексом потребителя

Цель – функция меры $\mu(Z^*)$ (предпочтение, необходимость, качество, приоритет).

Схема взаимодействия субъекта со средой и объектом



Состояние – связь $Y = F^0(X)$	D_x и D_y – датчики состояния
X – воздействие среды	U – воздействие УУ
F^0 – оператор связи	УУ – управляющее устройство

Схема системы управления

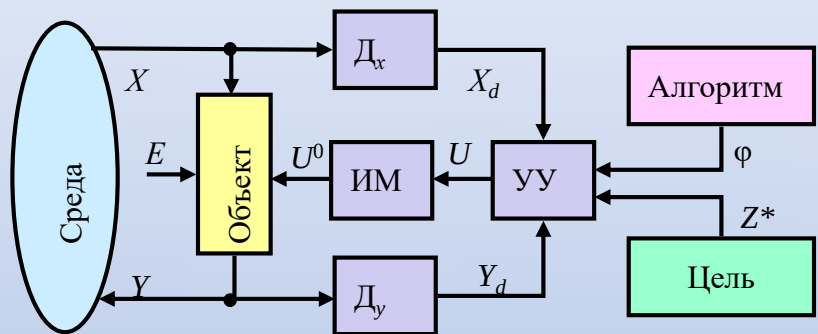
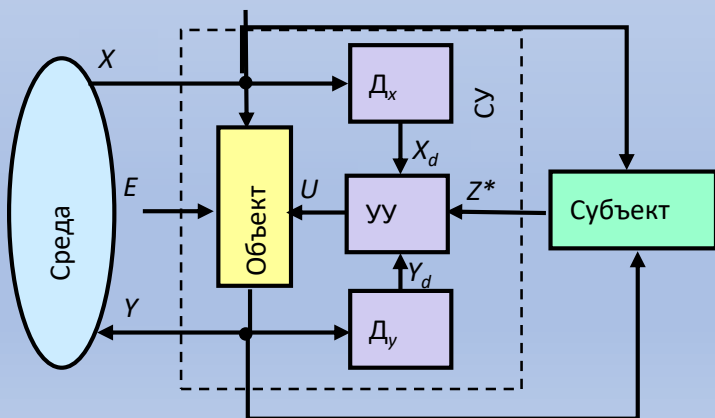
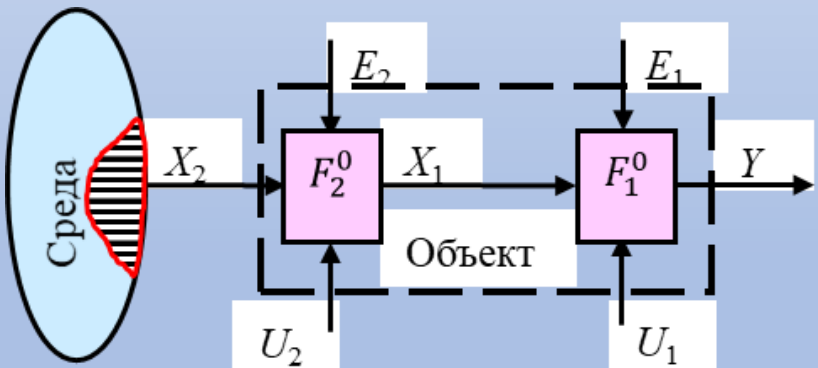


Схема связи субъекта и системы управления



Субъект – датчик целей для СУ,
Потребности субъекта – вход Y .
Задача – формулировка цели.

Схема расширения границ объекта



Управления входом X_1 , воздействующим на состояние Y
за счёт дополнительного канала управления U_2 .

МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ

Обобщённая структура классификации ПС



УСТАНОВЛЕНО:

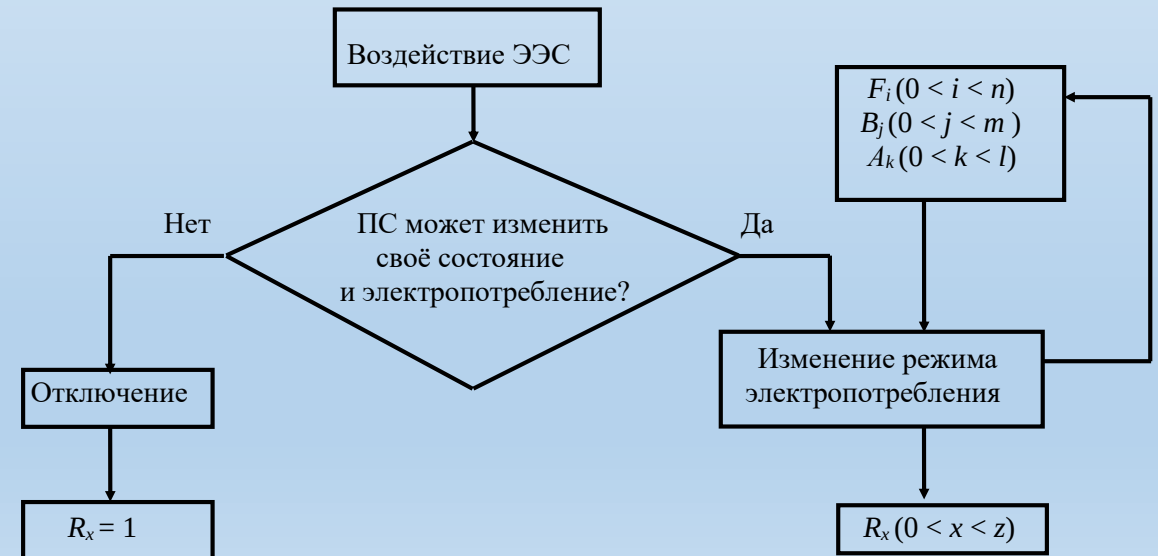
Для ПС 2-го класса появляется возможность безопасной реализации воздействий ЭЭС, параметры которых определены механизмами обработки информации.

В подклассе ПС б) появляется возможность обучения управляющей системы путем перепрограммирования на основе байесовской процедуры.

1. ПС с неизменяющимся после управляющего воздействия ЭЭС состоянием режимов и связей, – останов;

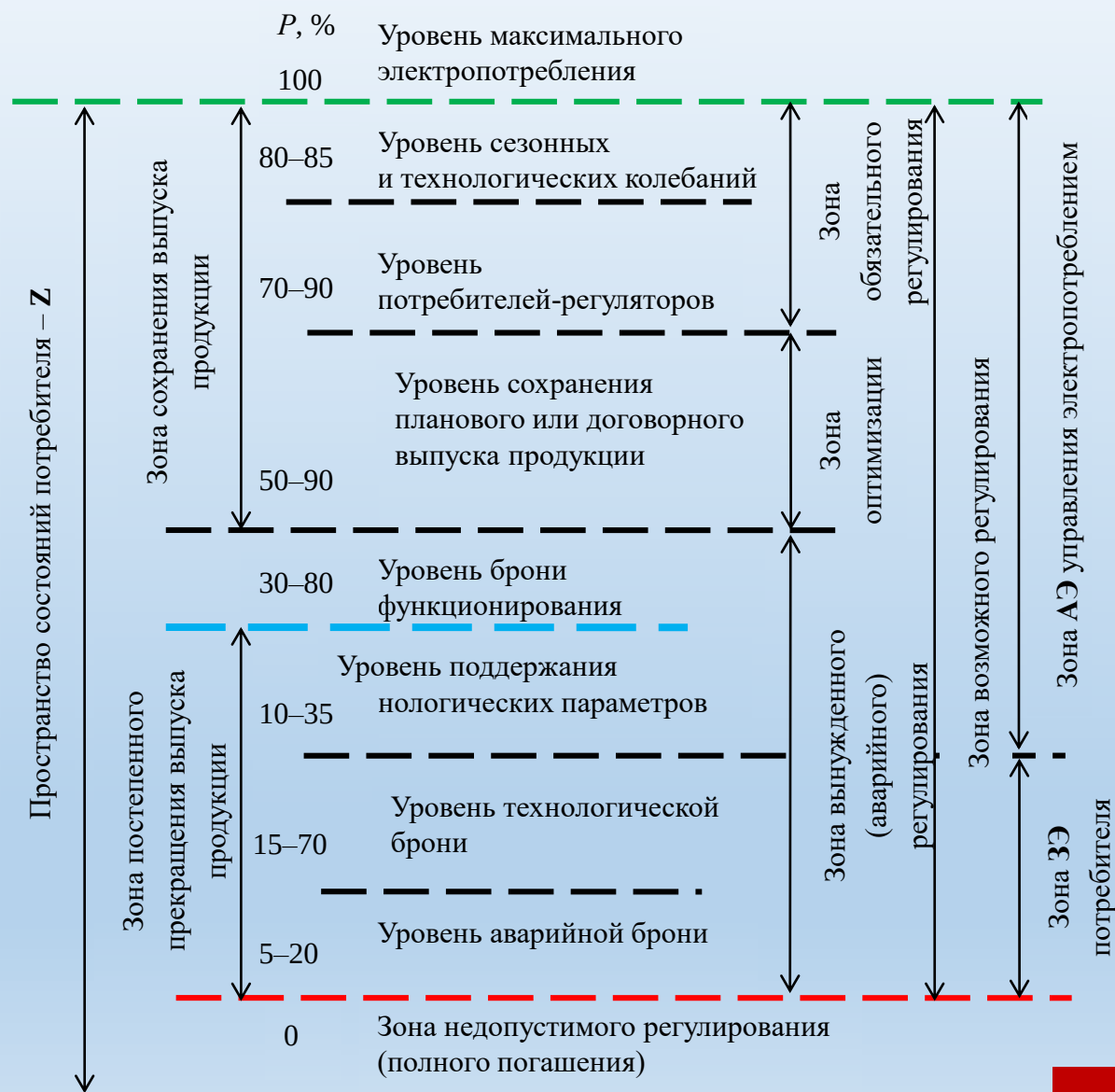
2. ПС с возможностью изменения состояния после управляющего воздействия ЭЭС, – исключение или минимизация последствий.

Обобщенный алгоритм поведения ПС

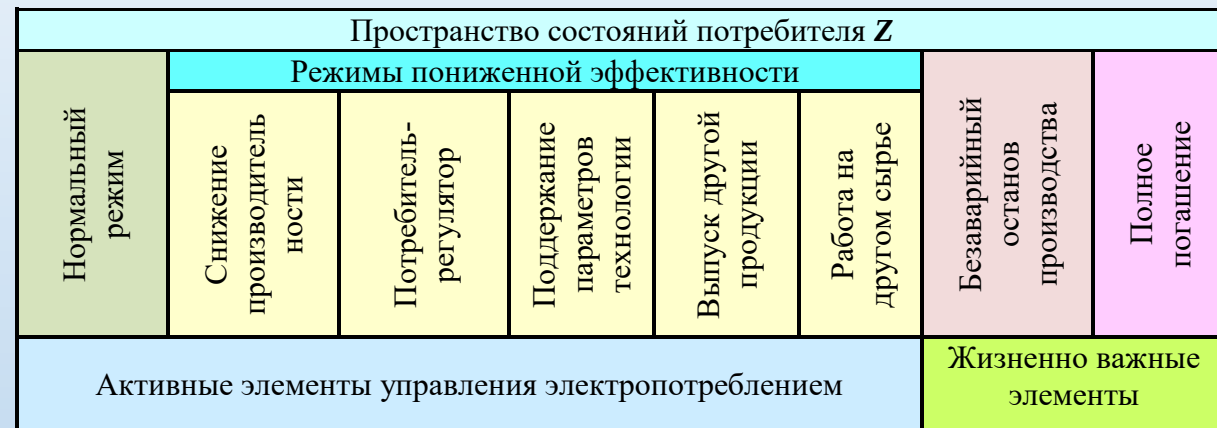


Активные элементы потребителей

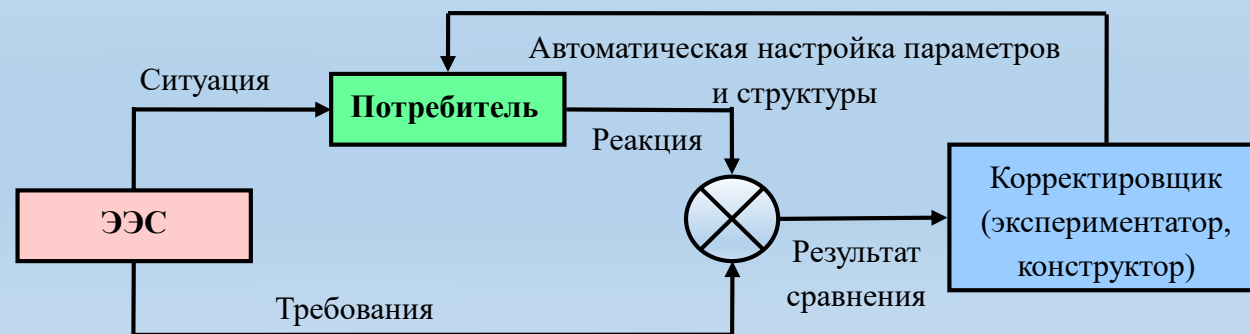
Зоны технологического регулирования электропотребления потребителя



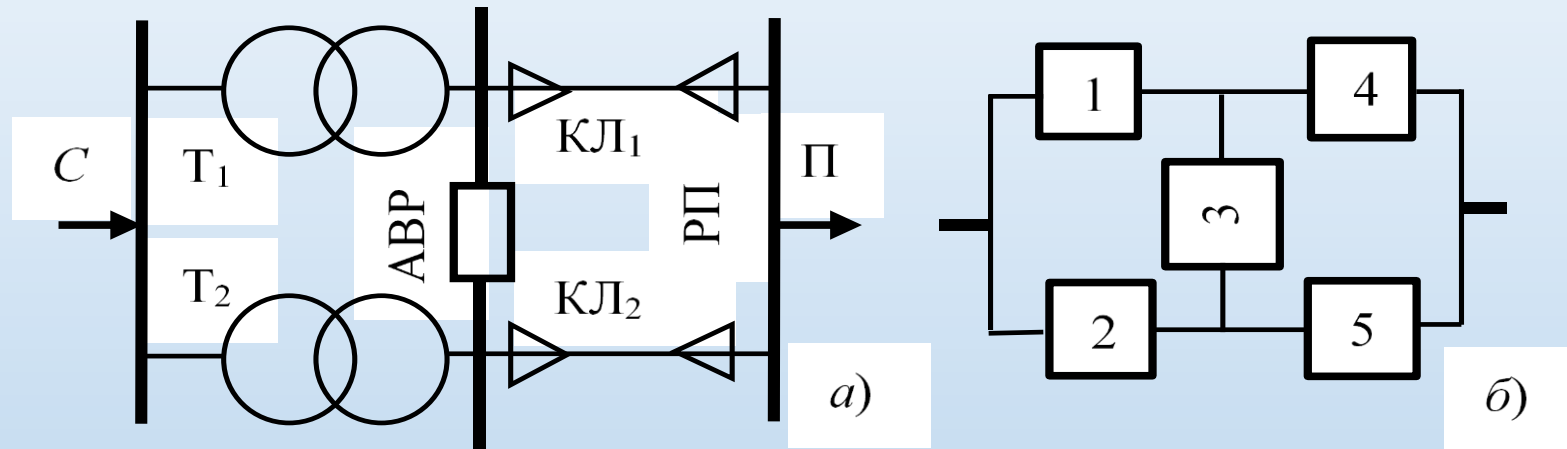
Активные элементы в пространстве состояний работоспособности



Структурная схема адаптивного управления активными элементами



Пример часто используемых в СЭ схем типа «мостик» с однотипными элементами:



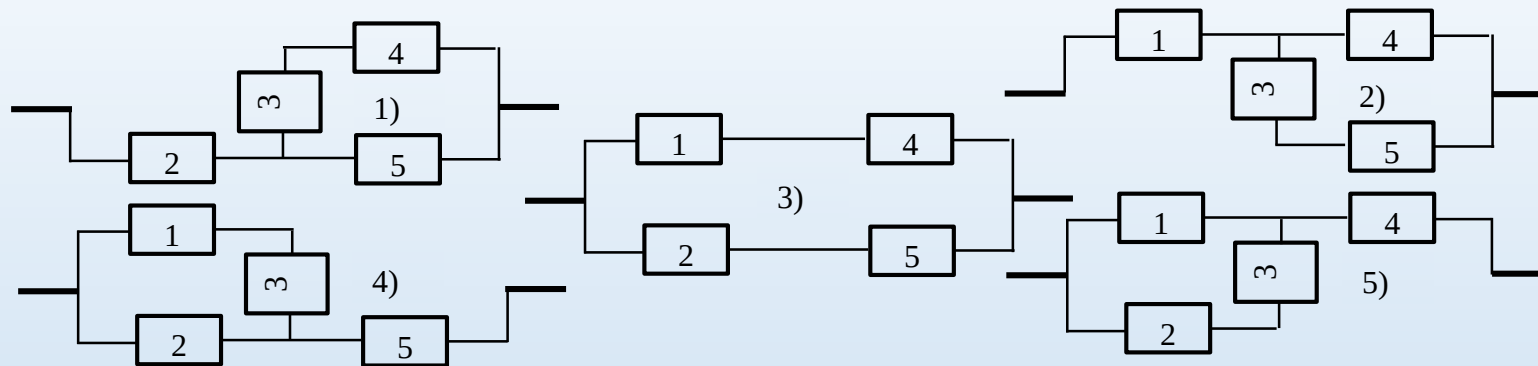
Система подвергается независимым НВ на один, два или три элемента.

Поражение элементов при НВ равновероятно.

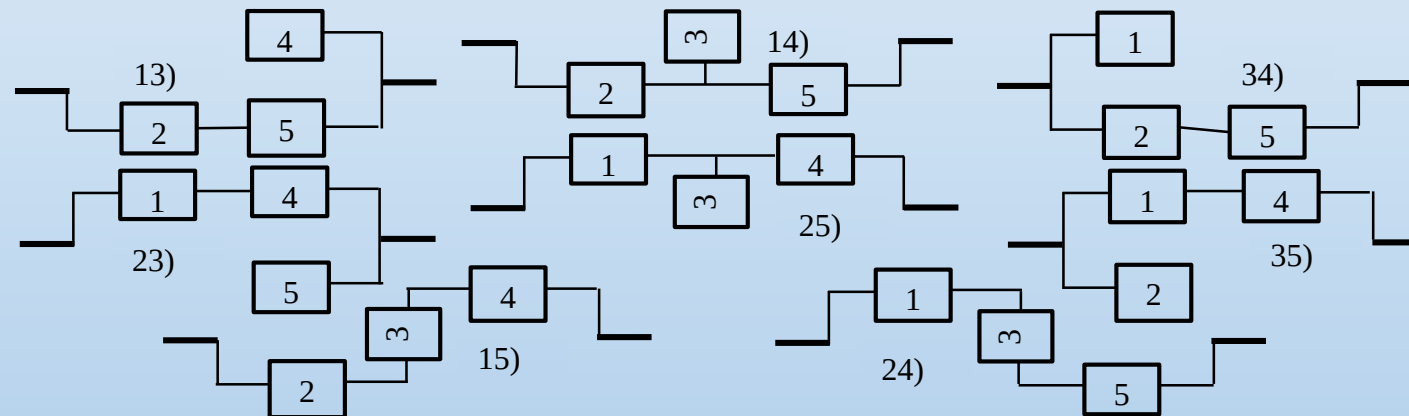
Живучесть схемы определится работоспособными структурами, получаемыми из базовой, удалением одного или нескольких элементов с учётом, что они имеют не менее одной работоспособной ветви. Живучесть схемы определится вероятностью безотказной работы (ВБР)

$$P = p^5 + 5qp^4 + 8q^2p^3 + 2q^3p^2$$

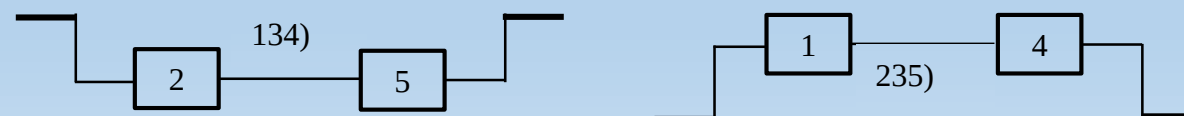
Работоспособные структуры, получаемые из базовой при НВ на ОДИН элемент



Работоспособные структуры, получаемые из базовой при НВ на ДВА элемента

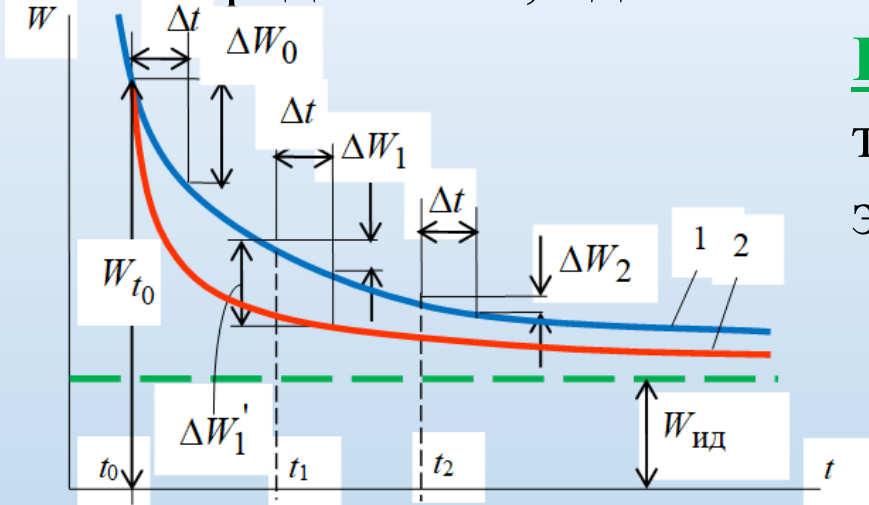


Работоспособные структуры, получаемые из базовой при НВ на ТРИ элемента



ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ

Энергопотребление W_t и затраты $З_t$ на производство продукции потребителем с течением времени t снижаются, стремясь к предельному энергопотреблению $W_{ид}$ и также предельным, идеальным затратам $З_{ид}$.



Резерв экономии энергии за счёт совершенствования технологического процесса при малой (1) и высокой (2) эффективности энергосберегающих мероприятий

Потенциал энергосбережения Π_t в момент t —

теоретически возможная величина снижения энергопотребления W_t и (или) энергозатрат $З_t$ до уровня их идеальных аналогов $W_{ид}$, $З_{ид}$.

Потенциал энергосбережения — резерв экономии энергии — разность достигнутого и теоретического энергопотребления (затрат) на производство конечной продукции или проведение работ на базовом t и перспективном $t+\Delta t$ уровнях

$$\Pi_t = W_t - W_{t+\Delta t} = \Delta W = З_t - З_{t+\Delta t} = \Delta З = \lim_{n\Delta t \rightarrow \infty} \Pi \rightarrow 0$$

Эффективность использования энергоресурсов бюджетными учреждениями Нижегородской области достигла **7050 тыс. кВт·ч/год**.

Стимулирование потребителей в задачах управления электропотреблением

ЦЕЛЬ – побудить потребителя регулировать нагрузку и электропотребление не только в своих интересах, но и в интересах ЭЭС.

Постановка задачи

Потребитель выбирает действие $y \geq 0$, т.е. способ управления нагрузкой.

Для действия y необходимы затраты $C(y)$ по управлению нагрузкой.

При нулевом действии функция затрат $C(y = 0) = 0$.

ЭЭС стимулирует потребителя $\sigma(y)$ в зависимости от результатов его деятельности.

Функция стимулирования $\sigma(*)$ однозначно определяет условия договора (контракта) между ЭЭС и потребителем.

Целевая функция ЭЭС – разность «дохода» ЭЭС и выплат потребителю (снижение тарифных ставок):

$$\Phi(y) = H(y) - \sigma(y).$$

Целевая функция потребителя – разность выплат ЭЭС (доходов от снижения тарифных ставок) и затрат на управление режимами

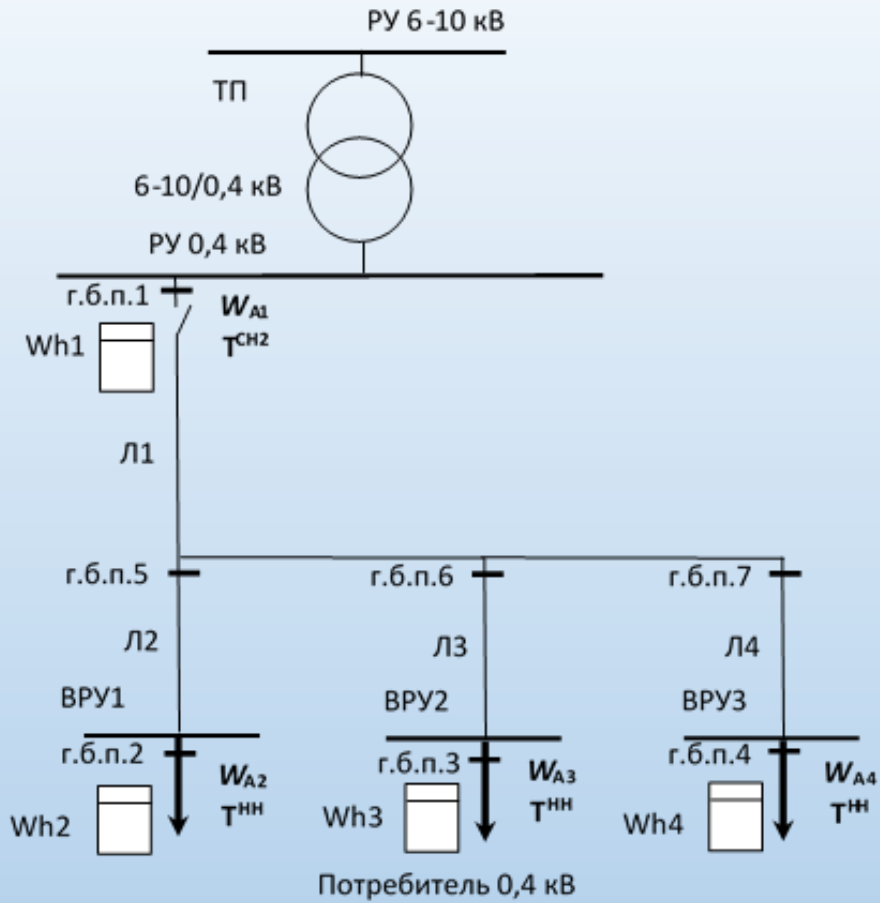
$$f(y) = \sigma(y) - C(y).$$

Тарифное стимулирование:

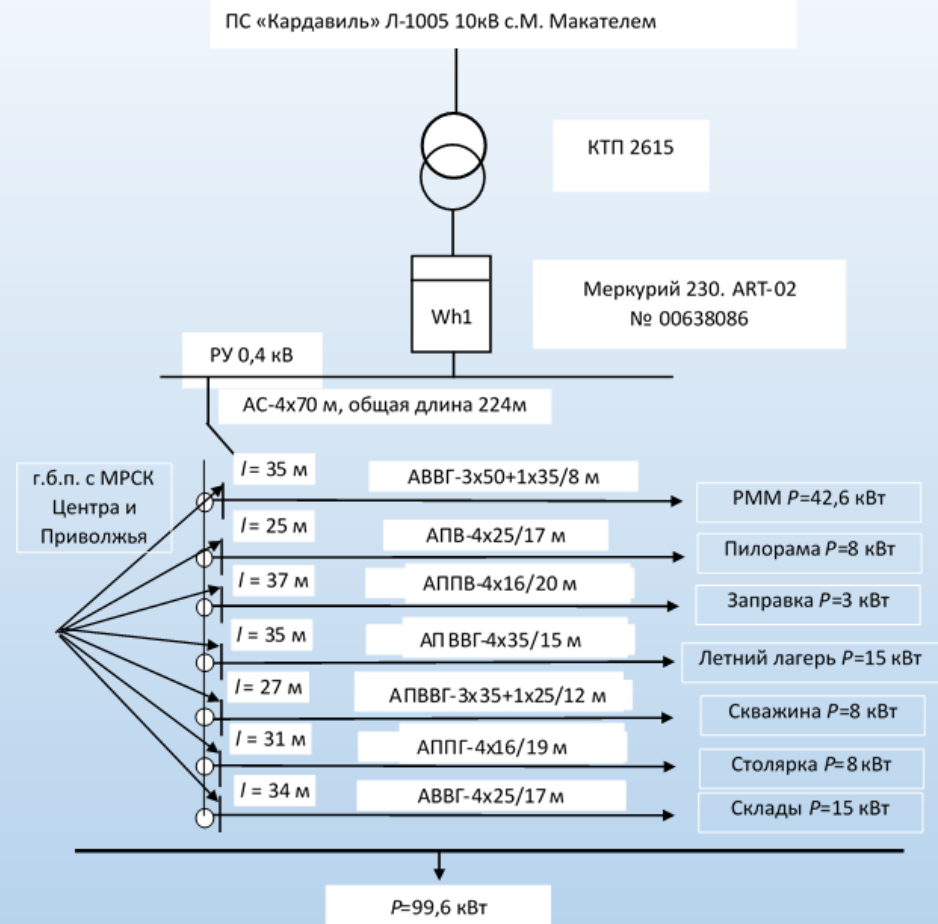
Снижение электропотребления $W_{\text{э}} = W - \Delta W_0$. Кредитный тариф – $T_{\text{к}} = f(\omega, \Delta W, t)$;

Ставка кредитного тарифа $T_{\text{к}} = T \frac{\Phi}{t_{\text{ж}} W_{\text{э}}}$; Желаемый срок возврата $t_{\text{ж}} = \frac{\Phi}{W_{\text{э}}(T - T_{\text{к}})}$.

Тарифная политика и надёжность электроснабжения



Типовая схема электроснабжения сельскохозяйственного потребителя



Типовой участок электрической сети

VI. «Технико-экономические вопросы оценки надёжности электроснабжения»

Задачи:

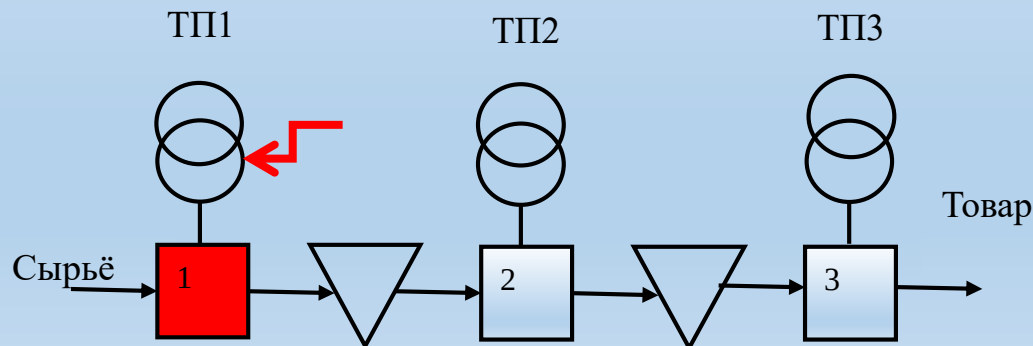
1. **оценка** безопасности ПС при аварийных ситуациях в ЭЭС;
2. **выявление** предельных условий функционирования потребителя;
3. **разработка** нормативных показателей надёжности электроснабжения;
4. **оценка** управляемости ПС;
5. **оценка** дополнительных затрат на резервирование в ЭЭС и у потребителя;
6. **оценка** ущерба.

Условие реального отказа ПС: длительность простоя отключённого участка $t_{пр} > \tau_d$.

Требования потребителей к надёжности СЭС:

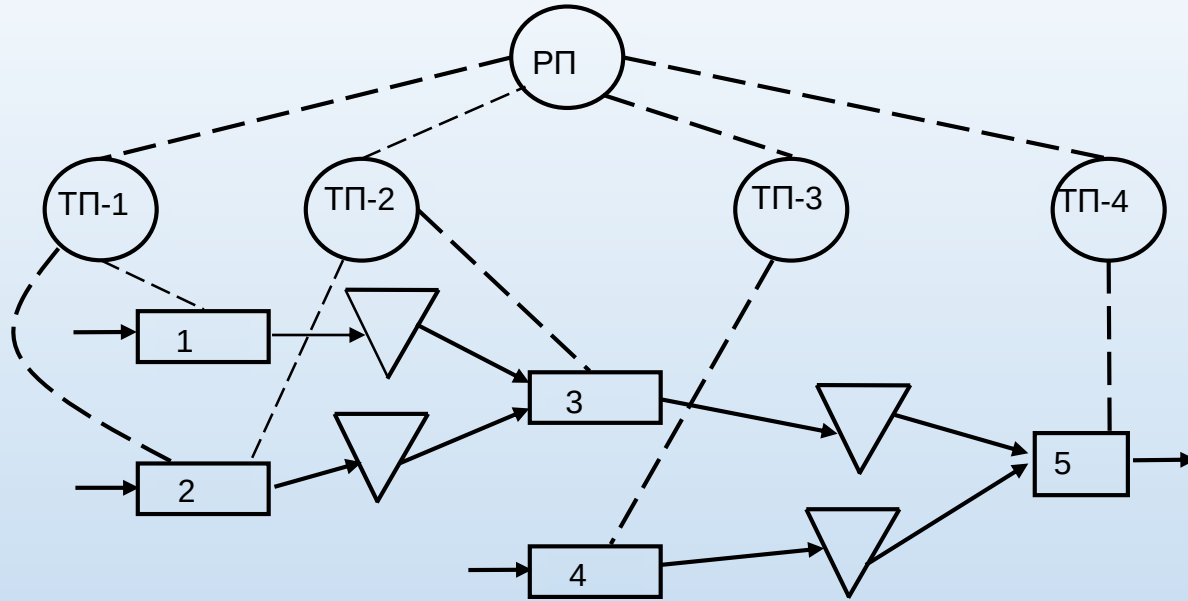
при единичных нарушениях электроснабжения $Y_{эi} = f(t_{эi})$

при единичных нарушениях функциональных связей $Y_{сви} = f(t_{сви})$.



Последовательная технологическая
схема производства

Структурная схема реального производства и связи со схемой электроснабжения



- местом отключенного объекта в технологической цепи;
- количеством однотипных объектов, работающих параллельно;
- возможностью изменения производительности;
- наличием, объемом и степенью заполнения промежуточных накопителей;
- климатическими условиями расположения объекта;
- количеством и квалификацией обслуживающего персонала;
- временам года и суток нарушения режима электроснабжения.

Для каждого элемента схемы известны:

суммарная нагрузка N_i кВт

зависимости $t_{при} = \varphi(t_{эi})$ и $t_{при} = \varphi(t_{сви})$

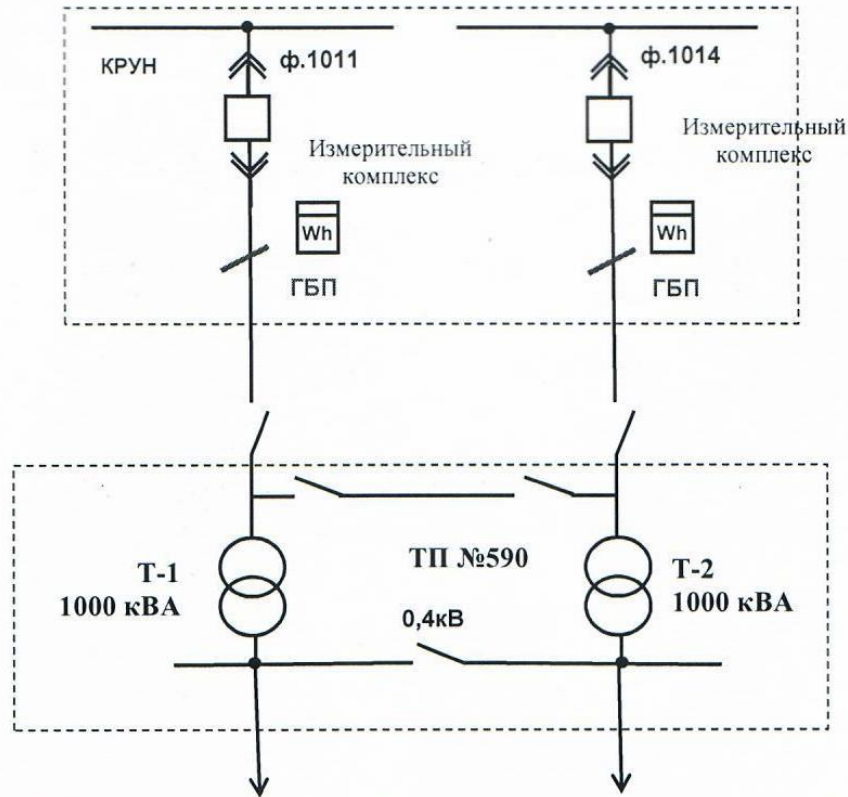
функции ущерба $Y_{эi} = \varphi(t_{эi})$, $Y_{сви} = \varphi(t_{сви})$

$Y_{эi} = \varphi(t_{при})$ $Y_{сви} = \varphi(t_{при})$

Установлено, что ущерб предприятий разных технологий определяется:

- назначением и производительностью отключенного участка;
- параметрами технологического процесса;
- видом потребляемого сырья;
- длительностью перерыва электроснабжения
- длительностью наладки технологического процесса;
- временем выхода на доаварийную производительность;
- последствиями возможных катастроф и повреждений оборудования;

ПАО "МРСК Центра и Приволжья"
ПС "Княгинино"



АО "Княгининское молоко" (производство), г.Княгинино, ул.Свободы, д.7
Максимальная мощность, согласно Акта №45н разграничения балансовой принадлежности электрических сетей от 29.04.2013г., выданные филиалом "Нижновэнерго" Пао "МРСК Центра и Приволжья" составляет - 1400 кВт

Примечание к однолинейной схеме электроснабжения:

Расчет потерь:

Примечание к однолинейной схеме электроснабжения:

Расчет потерь:

Расчет потерь в линиях электропередач (ЛЭП):

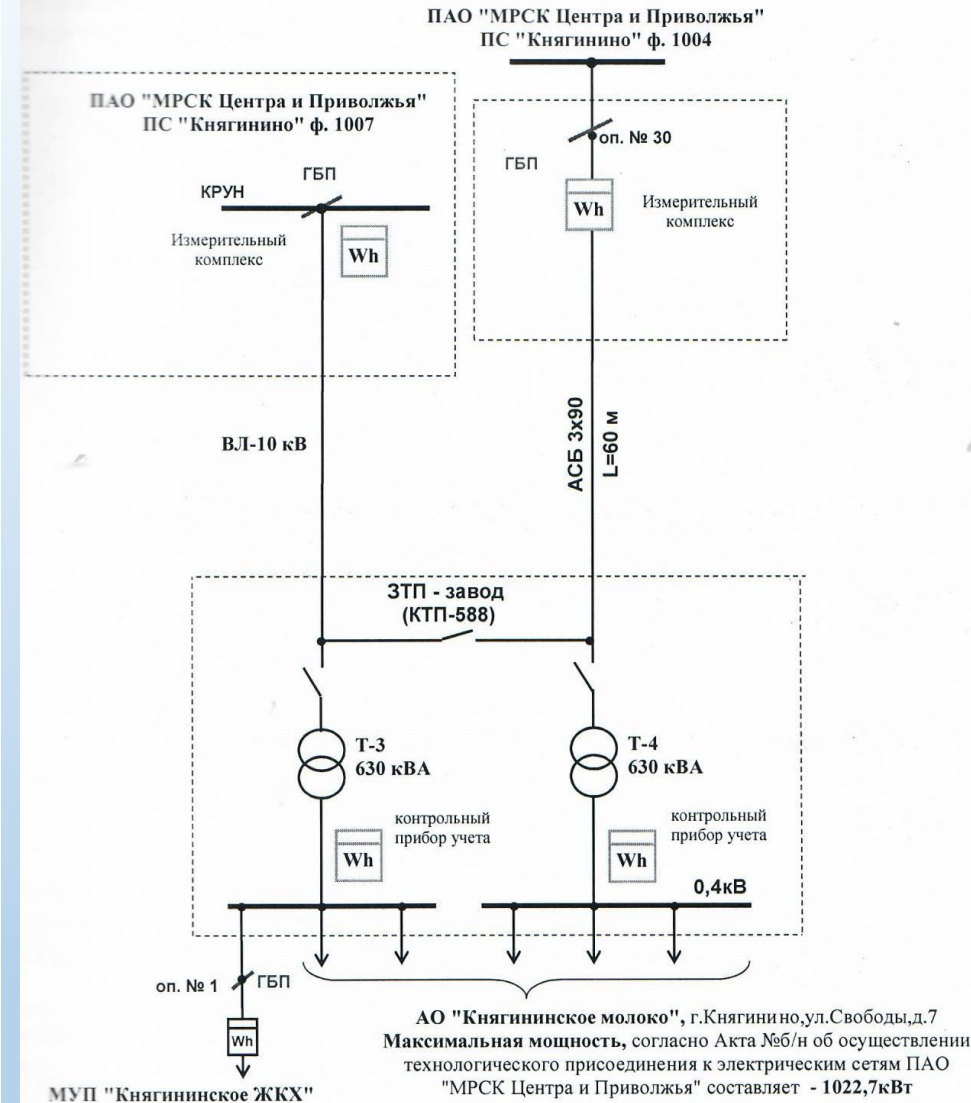
Потери в линиях электропередач 10кВ, 0,4кВ: Переменная составляющая потеря 0 %

Постоянная составляющая потеря 0 кВт*ч

Категория электроприемников Потребителя по ПУЭ в отношении обеспечения надежности электроснабжения (в соответствии с техническими условиями на электроснабжение, проектом, актом допуска электроустановки в эксплуатацию) - 3 категория-1110кВт; 2 категория - 290кВт.

Режим работы потребителя: 3 смены 7 дней в неделю.

Однолинейные схемы электроснабжения
АО "Княгининское молоко"



Примечание к однолинейной схеме электроснабжения:

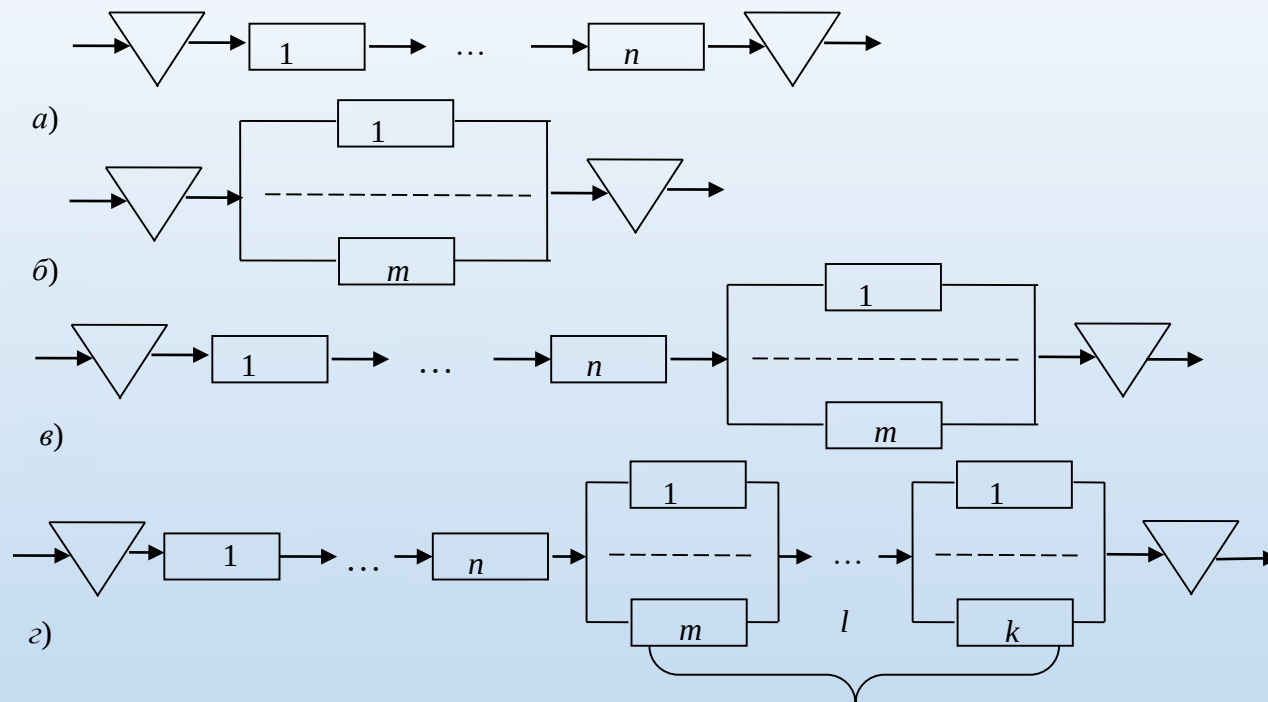
Расчет потерь:

Потери в линии 10кВ, от ГБП до измерительного комплекса составляют: 0%

Режим работы потребителя: 3 смены 7 дней в неделю.

Категория электроприемников Потребителя по ПУЭ в отношении обеспечения надежности электроснабжения (в соответствии с техническими условиями на электроснабжение, проектом, актом допуска электроустановки в эксплуатацию) - 2 категория.

Формализованное представление структурных схем ПС



Последовательная схема (рис. а) отключенная мощность равна, потребляемой объектом мощности: $N_0 = N$. Ущерб – $Y = at + b$

a – ущерб, руб./ч; b – ущерб, руб./откл.

При $N_0 < N$ имеем: $Y = at + \alpha b$; $\alpha = \frac{N_0}{N}$.

Параллельная схема (рис. б) $Y = \alpha(at + b)$.

Последовательно-параллельная схема (рис. в) N_{01} и N_{02} – множества отключаемых механизмов в последовательной и параллельной цепи

Общий случай: одновременные отключения.

$$\text{Ущерб : } Y = \alpha a + \gamma b; \quad \gamma = \frac{\sum_n N_{0n} + \sum_l N_{0l}}{N}$$

Коэффициенты α, β, γ , зависят от соотношения N_0 и N .

Решение о повышении надёжности $R_2 > R_1$.

Тариф возрастает $T_2 > T_1$, но снижается:

отключаемая мощность $\Delta P_{\text{откл}2} < \Delta P_{\text{откл}1}$,

количество нарушений нормального режима $n_2 < n_1$,

длительность вынужденного режима $t_{\text{э вын}2} < t_{\text{э вын}1}$,

ущерб $Y_2 < Y_1$.

Мониторинг управления надёжностью

Оценка требуемой величины ПН:

мощность потребителя P кВт,

годовое электропотребление W кВт·ч,

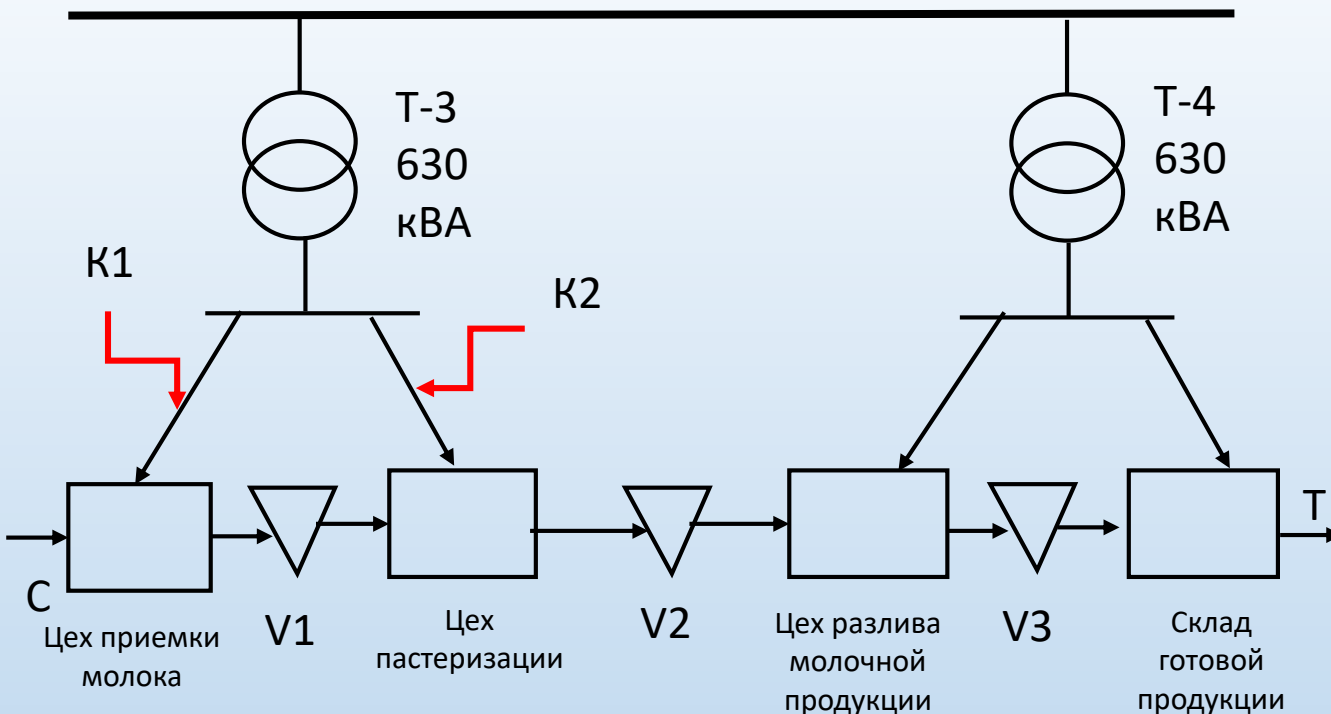
число нарушений электроснабжения – n год⁻¹,

длительность нарушения электроснабжения – t_3 ,

тариф – T руб/кВт·ч, Имеем: рост затрат $\Delta \mathcal{E}_W = (T_2 - T_1)W$; прибыль – уменьшение ущерба $\Delta \Pi_y = (Y_1 - Y_2)t_2 n_2 W$

ущерб – Y руб/кВт·ч. Сравнение $\Delta \mathcal{E}_W$ и $\Delta \Pi_y$ – принятие решения по требуемому уровню надёжности электроснабжения.

КТП-588 АО «Княгининское молоко»



K1 – останов №1 $P = 100$ кВт

1) $t_{рем} = 0,5$ ч; $t_{пр} = 1$ ч; $t_v = 2$ ч. $t_{пр} < t_v$. Срыва процесса нет

2) $t_{рем} = 1,5$ ч; $t_{тхн} = 1,5$ ч; $t_{пр} = 3$ ч; $t_v = 2$ ч. $t_{пр} > t_v$.

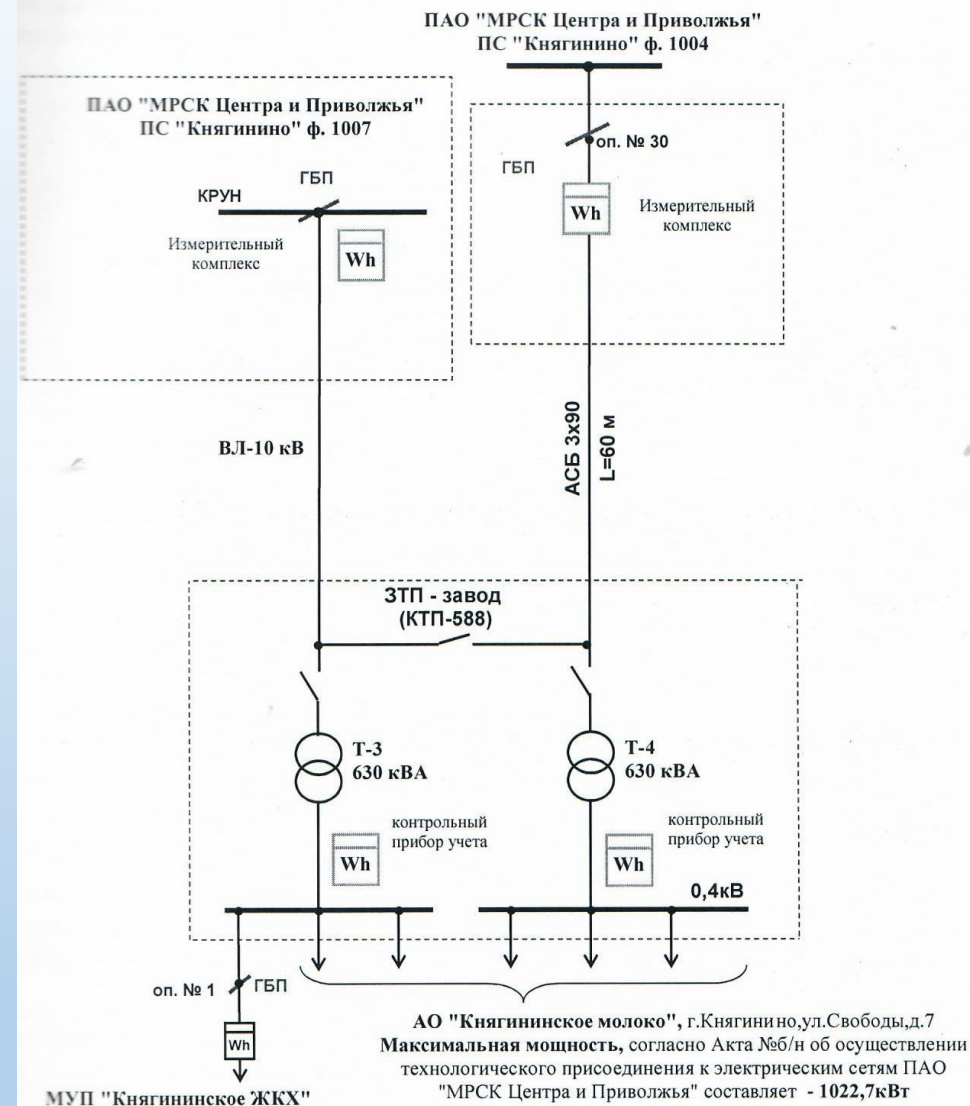
Ущерб: 60 т. Испорченного молока (≥ 600 тыс. руб.) и перерасход электроэнергии за $t_{тхн} = 1,5$ ч - $W = 150$ кВт.ч ($\approx 1,1$ тыс. руб)

Урем – 1 тыс. Ущерб от недоиспользования оборудования ≈ 70 тыс.

K2 – останов №2

$P = 200$ кВт; $t_{рем} = 2$ ч; $t_{пр} = 4$ ч; $t_v = 3$ ч. $t_{пр} > t_v$. Срыв технологии всего процесса

Однолинейные схемы электроснабжения АО "Княгининское молоко"



Примечание к однолинейной схеме электроснабжения:

Расчет потерь:

Потери в линии 10кВ, от ГБП до измерительного комплекса составляют: 0%

Режим работы потребителя: 3 смены 7 дней в неделю.

Категория электроприемников Потребителя по ПУЭ в отношении обеспечения надежности электроснабжения (в соответствии с техническими условиями на электроснабжение, проектом, актом допуска электроустановки в эксплуатацию) - 2 категория.

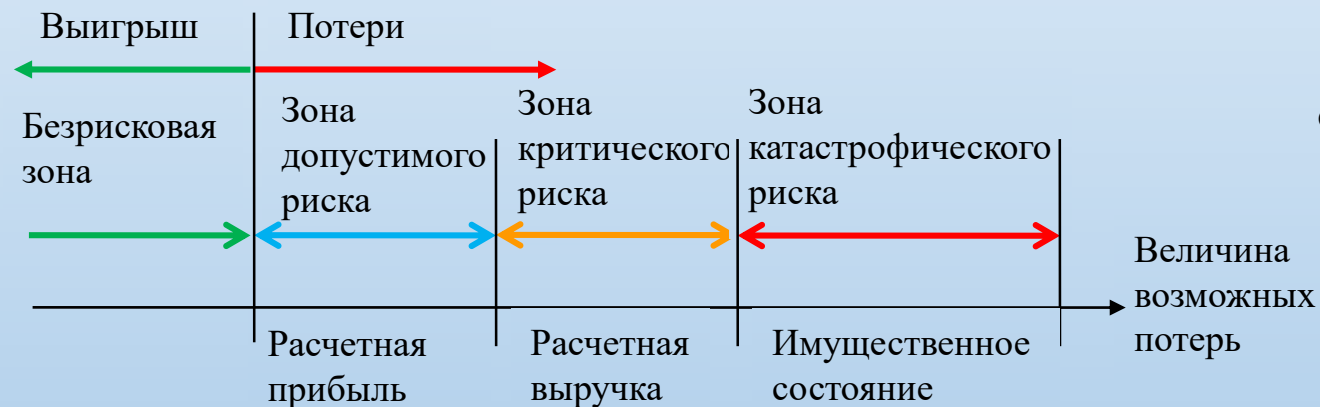
VII. «Технологические риски и управление ими в системах электроснабжения»

Предельные риски:

преувеличение (перестраховка) – $R \rightarrow 0$;

авантюризм – недопустимость $R \rightarrow \infty$

Оптимальный риск – $C_{min} < C_{opt} < C_{max}$
Зоны риска



Интегральный риск потребителя R :

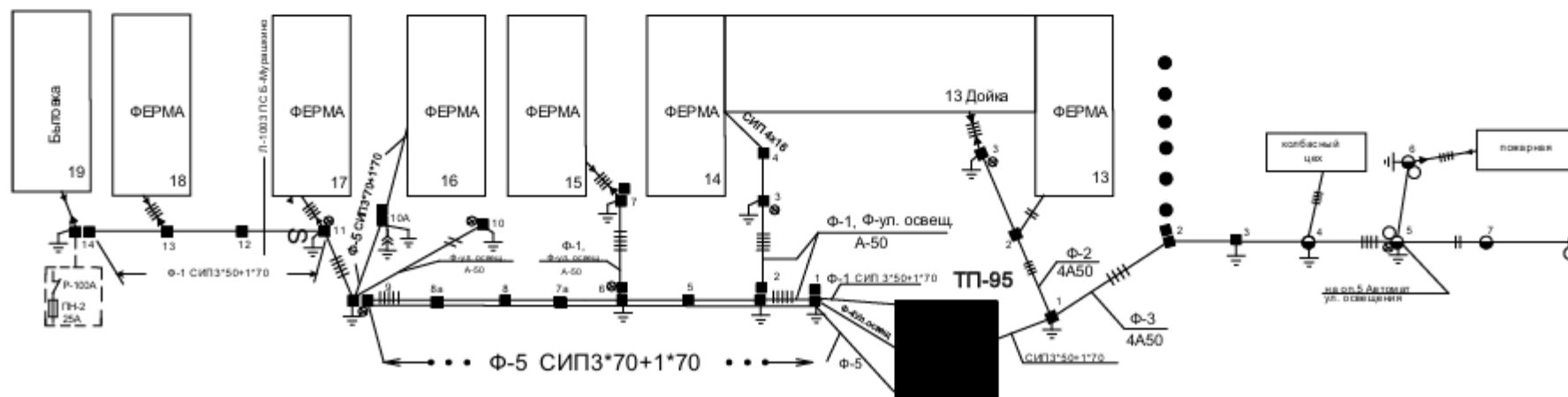
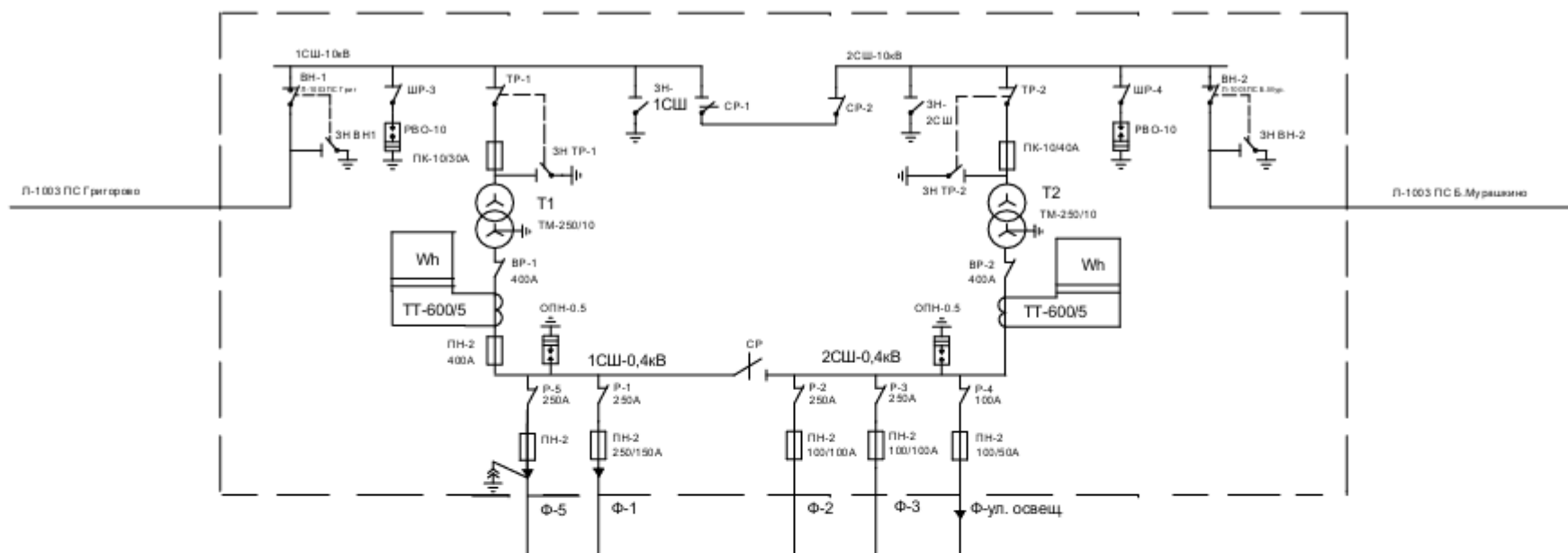
- множество нечётких мер реализации опасности исхода c_i из множества C самых нежелательных исходов (СНИ);
- множество ущербов $Y[C, V(V_1, V_2)]$ с учётом:
 - опасных и вредных факторов (ОВФ) – V_1 ,
 - параметров аварийных воздействий факторов окружающей среды (ФОС) – V_2 ,
 - множества стоимостных S , временных t и режимных (P, W) ограничений.

Оценка интегрального риска

1. Классификация ОВФ, влияющих на потребителя и СЭС.
2. Полнота описания свойства «**безопасность – опасность**».
3. Оценка вероятностей неблагоприятных событий в СЭС потребителя.
4. Получение, по возможности, информации о технико-экономических последствиях нарушений нормального режима электроснабжения.



Поопорная схема ВЛ-0,38 от ЗТП-95



Методика ориентировочной оценки ущерба от нарушений электроснабжения

Исходные данные

P , кВт – средняя потребляемая мощность анализируемого производства – 200 кВт

$Зэ$, руб. средние годовые затраты на электроэнергию – 5 476 912 руб.

$tэ$, час – длительность возможного нарушения электроснабжения – 6 часов

V , т – годовой выпуск продукции (молоко + мясо + вес телят) – 7994,7 т

T , час – годовое число часов работы предприятия $T = 5110$ часов

C , руб. – средняя цена годового выпуска продукции – 453 267 000 руб.

$з$, руб. – средняя зарплата технологического персонала (животноводство) в час,

1 чел. – 75 185 руб./мес., 456 руб/час (Всего 41 мест – 18 696 тыс.руб/час)

n – среднегодовое ожидаемое (по ретроспективной статистике) количество отключений предприятия 5-30 раз
(5-6 откл. по 4-8 часа, до 30 откл. в пределах 25 мин.)

Основные ограничения

Не учитывается ущерб от повреждения технологического оборудования при внезапном нарушении электроснабжения.

Не учитывается ущерб от недоиспользования основных фондов за $t_{пр}$

Не учитывается ущерб от недополученной прибыли (разница между ценой и себестоимостью выпускаемой продукции).

Полная методика приведена в монографии и диссертации.

Оценка ущерба

Длительность простоя производства при нарушении электроснабжения

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{э}} + t_{\text{ТХН}}, \text{ час},$$
$$t_{\text{пр}} = 6 + 0,5 = 6,5 \text{ час}$$

где $t_{\text{ТХН}}$, час – длительность восстановления технологического процесса после восстановления электроснабжения.

Недовыпуск продукции за время простоя

$$\Delta B = \frac{B}{T} t_{\text{пр}} = \frac{7994,7}{5110} \cdot 6,5 = 10,17 \text{ т.}$$

Средняя цена единицы продукции

$$c = \frac{C}{B} = \frac{454\,000\,000}{7994,7} = 56\,750 \text{ руб./т}$$

Ущерб от непроизводительного расхода энергоносителей за время $t_{\text{ТХН}}$

$$y_{\text{ТХН}} = \frac{z_{\text{э}}}{T} t_{\text{ТХН}} = \frac{5\,476\,912}{5110} \cdot 0,5 = 535,9 \text{ руб.}$$

Ущерб от недовыпуска продукции

$$y_{\text{нп}} = \Delta B \cdot c = 10,17 \cdot 56\,750 = 577\,148 \text{ руб.}$$

Ущерб от простоя технологического персонала с учётом коэффициента снижения зарплаты при простое $k=0,5$

$$y_{\text{пер}} = 0,5(z \cdot t_{\text{пр}})m = 0,5 \cdot 456 \cdot 6,5 \cdot 41 = 60\,762 \text{ руб.}$$

m – количество персонала, z – зарплата в час, руб/час

Средний суммарный ущерб на одно отключение

$$Y_{\Sigma} = y_{\text{нп}} + y_{\text{тхн}} + y_{\text{пер}} = 577\,148 + 535,9 + 60\,762 = 638\,446 \text{ руб.}$$

Ожидаемый среднегодовой ущерб

$$Y_{\Sigma \text{сг}} = Y_{\Sigma} \cdot n = 638\,446 \cdot 6 = 3\,830\,675 \text{ руб.}$$

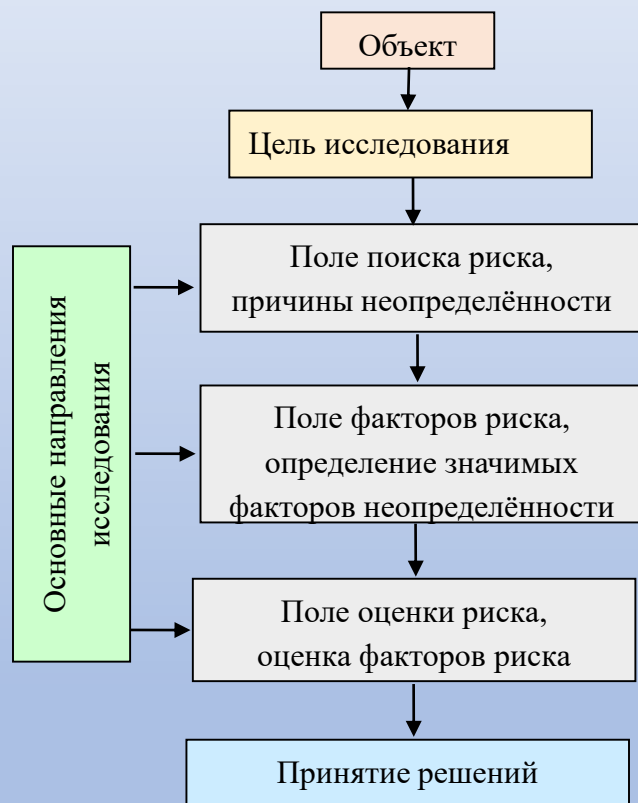
Удельный ущерб на кВт отключённой мощности

$$y_{oP} = \frac{Y_{\Sigma}}{P} = \frac{638\,446}{200} = 3\,192 \text{ руб/кВт}$$

Удельный ущерб на кВт · ч недополученной электроэнергии:

$$y_{oW} = \frac{Y_{\Sigma}}{P \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{638\,446}{200 \cdot 6,5} = \mathbf{491 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч}}$$

Схема исследования полей категории риск

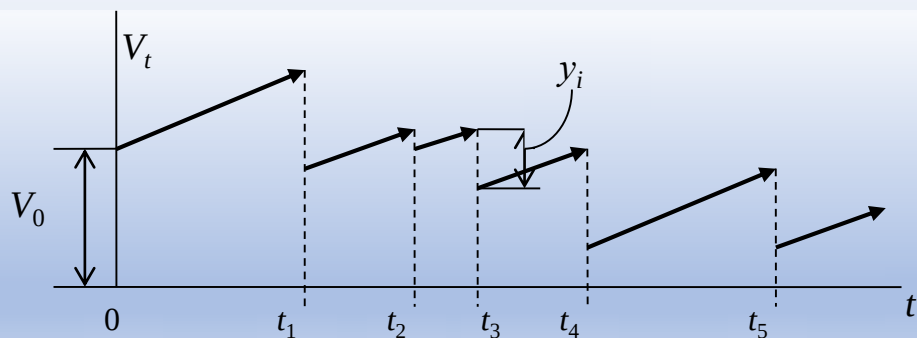


Управление рисками при обеспечении надёжности и безопасности электроснабжения

Основные задачи:

- минимизация вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций;
 - стремление предотвратить или уменьшить их последствия;
- объединение в понятии «риск» вероятности и последствий;
- определение областей управления риском :
«чёткая возможность» и **«чёткая необходимость»** реализации мероприятий, минимизирующих последствия рискованных ситуаций.

СИСТЕМА СТРАХОВАНИЯ РИСКОВ



Случайный процесс использования фонда страховщика

Коллективная оценка риска n экспертами

P_{ij} — оценка весомости

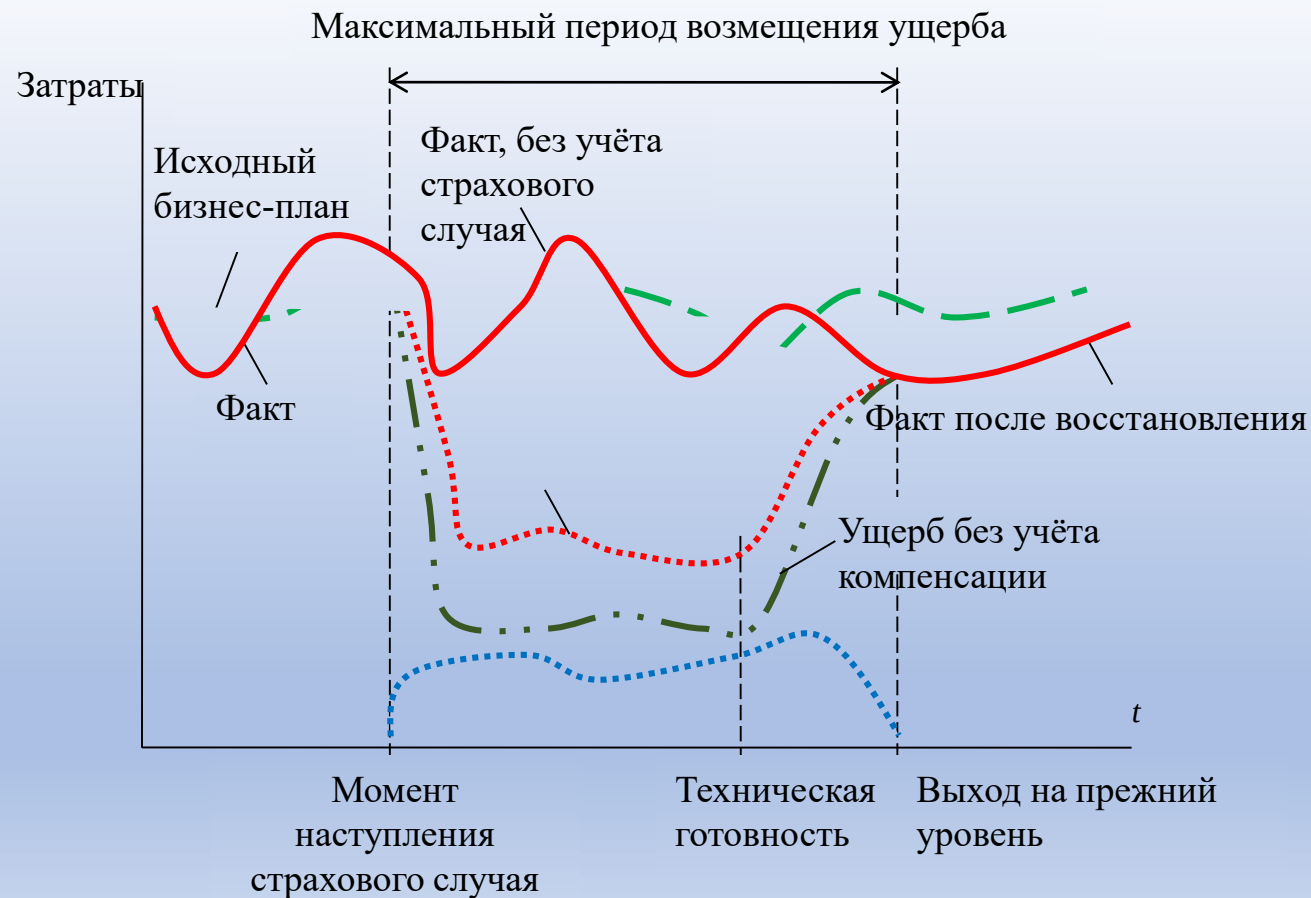
j -го фактора i -м экспертом

C_j — оценка риска; P_j — фактор риска

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij}}, \quad P_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^m P_{ij}},$$

Риск потерь (ущерба) связан с рыночными силами внешней среды, воздействующими на СЭС.

Страхование надёжности позволяет сформировать соответствующие услуги и определяет риск, который должен учитывать потребитель на момент заключения договора.



Страхование рисков перерыва в производстве продукции

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. КРАТКИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Показано, что построение интеллектуальной энергетики, действующей на принципах Smart Grid, возможно лишь с вовлечением в этот процесс электротехнического комплекса конечного потребителя.

Анализ возможностей потребителя при решении задач управления электропотреблением показал, что при внезапных и преднамеренных воздействиях ЭЭС на режим электроснабжения наименьшие потери возможны при реализации алгоритмов оптимального поведения в соответствующей ситуации.

Общие принципы построения разработанной системы обеспечения надёжности должны быть положены в основу стандарта по обеспечению требуемых и нормативных показателей надёжности СЭС потребителей, координации их действий, мероприятий по анализу и контролю ПН, снижения затрат.

Показано, что возможности эффективного управления определяются:

- соотношением количества и (или) мощности АЭ и ЗЭ потребителей;
- количеством элементов, ответственных за сбор и обработку исходной информации;
- связями между элементами ПС и элементами систем контроля и управления.

Разработаны методические рекомендации по применению эвристических методов получения информации для решения задач оценки последствий нарушений электроснабжения и управления электропотреблением в условиях недостатка и неопределённости первичной информации.

Доказано, что активные потребители обладают структурной, нагрузочной, временной и информационной избыточностью, за счёт чего уменьшается (ликвидируется) ущерб от нарушения их работы и не допускается разрыв внешних связей с поставщиками и потребителями продукции предприятий, участвующих в управлении нагрузкой.

Предложенная методика прогнозирования технического состояния ПС позволяет обеспечить гарантированную надёжность выполнения плановых и договорных показателей их функционирования, а рациональный выбор режима работы их технологических установок даёт рациональное решение задач управления электропотреблением и энергосбережения.