

Тема работы:
**«Анализ отключений в электрических сетях,
повлекших обесточивание потребителей
(поиск инсайтов, составление рекомендаций стейкхолдерам)»**

Москва, 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	3
1.1. Описание бизнес-задачи, ее актуальность.....	3
1.2. Определение круга стейкхолдеров по задаче, бизнес-требований.....	4
1.3. Исследование аналогичных решений, результаты их применения и ссылки на материалы.	4
2. ОПИСАНИЕ, ПОДГОТОВКА, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ОЧИСТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	5
2.1. Описание исходных данных.....	5
2.2. Преобразование и очистка данных.....	6
2.3. Описание похода к проведению анализа.	8
3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗ ДАННЫХ.	9
3.1. Показатели надежности Saidi и Saifi (вариант А - индикативные).....	9
3.2. Показатели надежности Saidi и Saifi (вариант Б - отраслевые).	10
3.3. Выявление объектов, имеющих наибольшее влияние на показатели надежности. ..	11
3.4. Анализ влияния причин аварий на показатели надежности.	12
3.5. Анализ случаев обесточивания потребителей различных категорий надежности электроснабжения.	13
3.6. Анализ обесточивания потребителей по месяцам.	15
3.7. Анализ распределения длительности отключений.	16
3.8. Оценка корректности учета отключений в расчете показателей надежности в зависимости от организационных причин аварий.....	17
3.9. Оценка недоотпуска электроэнергии в результате отключений.....	18
4. КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ОТКЛЮЧЕНИЙ, ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РЕГРЕССИИ.	18
5. ФОРМУЛИРОВАНИЕ И ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ.....	20
6. ПОСТРОЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ДЭШБОРДА.....	22
7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ИТОГАМ ПРОВЕДЕННОГО АНАЛИЗА.....	22

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.

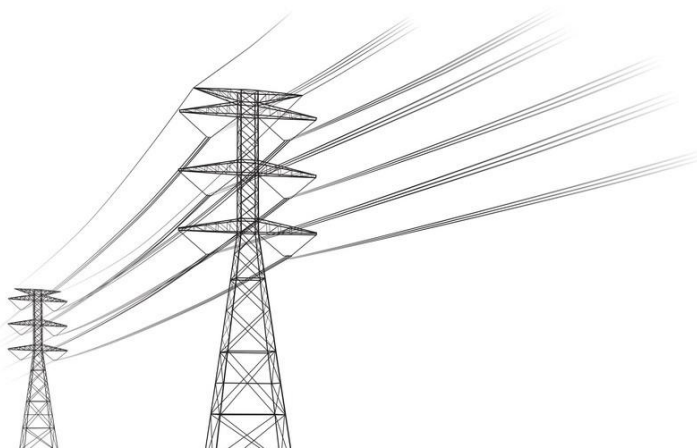
1.1. Описание бизнес-задачи, ее актуальность.

При осуществлении территориальными электросетевыми компаниями (далее – ТСО) деятельности по передаче и распределению электрической энергии по электрическим сетям, в Единой энергосистеме Российской Федерации ежегодно фиксируются сотни тысяч случаев обесточивания потребителей электроэнергии в результате плановых, внеплановых и аварийных отключений объектов электросетевого хозяйства.

Всеми ТСО, в соответствии с приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 29.11.2016 № 1256, ведется Журнал учета данных первичной информации по всем прекращением передачи электрической энергии, произошедшим на объектах сетевой организации (далее - Журнал), куда заносятся данные по всем без исключения отключениям в электрических сетях, повлекшим за собой обесточивание потребителей.

В настоящей работе проведен анализ данных Журналов по 5 ТСО (входят в состав одного Холдинга), направленный на решение следующих задач:

- анализ показателей надежности ТСО
- анализ корректности учета отключений в показателях надежности
- сравнение ТСО по частоте / продолжительности отключений
- выявление очагов внеплановых отключений
- выявление основных причин отключений
- анализ обесточивания потребителей в разрезе категорий надежности
- анализ обесточивания потребителей в разрезе месяцев
- анализ недоотпуска электроэнергии в результате отключений
- оценка влияния износа электрических сетей на показатели надежности
- принятие обоснованных решений о приоритетах при формировании производственных программ ТСО в целях снижения аварийности и повышения эффективности расходования тарифных источников



1.2. Определение круга стейкхолдеров по задаче, бизнес-требований.

Основными **стейкхолдерами** являются:

- производственные подразделения ТСО (в части принятия мер по снижению количества и последствий отключений в электросетях);
- финансово-экономические подразделения ТСО (в части повышения адресности и эффективности направления тарифных средств, выделяемых на поддержание работоспособности электрических сетей, и избегания штрафных санкций за превышение ТСО предельных показателей надежности, заданных тарифными органами);
- региональные органы исполнительной власти (в части обеспечения максимально возможной энергобезопасности соответствующих регионов).

Бизнес-требования к задаче:

- сопоставление показателей надежности рассматриваемых ТСО;
- оценка единообразия подходов к расчету показателей надежности ТСО;
- выявление «очагов аварийности» в рассматриваемых ТСО по факторам:
 - географического расположения электрических сетей;
 - причин отключений потребителей электроэнергии;
 - видов и классов напряжения электроустановок;
 - календарного времени отключений;
 - объема недоотпуска электроэнергии потребителям;
 - иных факторов.
- оценка надежности функционирования электрических сетей в зависимости от уровня износа производственных активов;
- формирование рекомендаций по снижению частоты и последствий обесточивания потребителей;
- формирование рекомендаций по повышению адресности и эффективности направления тарифных средств, выделяемых на поддержание работоспособности электрических сетей.

1.3. Исследование аналогичных решений, результаты их применения и ссылки на материалы.

Анализ показателей надежности и аварийности электрических сетей проводится ТСО самостоятельно и не имеет публичного характера.

Информация об аналогичных исследованиях, включающих в себя примененные в настоящей работе методы и подходы, отсутствует.

2. ОПИСАНИЕ, ПОДГОТОВКА, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ОЧИСТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.

2.1. Описание исходных данных.

Для работы использованы 4 набора данных:

- журнал отключений за 2018-2022 гг. («01_outages_input.xlsx»);
- данные о количестве точек поставки и предельных значениях показателей надежности («02_points_input.xlsx»);
- справочник организационных причин аварий («03_reason_org_input.xlsx»);
- данные об износе электрических сетей («04_deterioration.xlsx»)

Описание полей источников данных:

Поле	Описание
<i>Журнал отключений за 2018-2022 гг.:</i>	
01_id	Номер прекращения передачи электрической энергии
02_TSO	Наименование ТСО
03_object_type	Вид энергообъекта (КЛ / ВЛ / ПС / ТП / РП / КВЛ)
04_object_name	Наименование энергообъекта
05_U_nom	Высший класс напряжения отключенного оборудования, кВ
06_time_start	Время начала прекращения передачи электроэнергии (ДД:ММ:ГГГГ ЧЧ:ММ)
07_time_end	Время восстановления передачи электроэнергии (ДД:ММ:ГГГГ ЧЧ:ММ)
08_outage_type	Вид прекращения передачи электроэнергии (П / А / В)
09_duration	Продолжительность прекращения передачи электрической энергии (ч)
10_causing_objects	Перечень объектов, отключение которых привело к прекращению передачи электрической энергии потребителям услуг
11_hi_cat_cons_full	Перечень потребителей 1 и 2 категорий надежности, в отношении которых произошло полное ограничение режима потребления электроэнергии
12_hi_cat_cons_part	Перечень потребителей 1 и 2 категорий надежности, в отношении которых произошло частичное ограничение режима потребления электроэнергии
13_points_overall	Количество точек поставки потребителей, в отношении которых произошел перерыв электроснабжения, шт.
14_points_1cat	Количество точек поставки потребителей 1 категории надежности, в отношении которых произошел перерыв электроснабжения, шт.
15_points_2cat	Количество точек поставки потребителей 2 категории надежности, в отношении которых произошел перерыв электроснабжения, шт.
16_points_3cat	Количество точек поставки потребителей 3 категории надежности, в отношении которых произошел перерыв электроснабжения, шт.
17_points_VN	Количество точек поставки потребителей высокого напряжения (ВН), в отношении которых произошел перерыв электроснабжения, шт.
18_points_SN1	Количество точек поставки потребителей среднего напряжения 1 (СН1), в отношении которых произошел перерыв электроснабжения, шт.
19_points_SN2	Количество точек поставки потребителей среднего напряжения 2 (СН2), в отношении которых произошел перерыв электроснабжения, шт.
20_points_NN	Количество точек поставки потребителей низкого напряжения (НН), в отношении которых произошел перерыв электроснабжения, шт.
21_other_companies	Смежные сетевые организации и производители электрической энергии
22_outage_power	Суммарный объем фактической нагрузки на присоединениях потребителей, по которым произошло прекращение передачи электроэнергии, кВт
23_other_TSO	Перечень смежных сетевых организаций, затронутых прекращением передачи электрической энергии
24_act_data	Номер и дата акта расследования причин аварии
25_org_code	Код организационной причины аварии
26_tech_code	Код технической причины повреждения оборудования
27_flag	Учет отключения в показателях надежности (0 / 1)
28_division	Подразделение (СП, РЭС) территориальной сетевой организации

<i>Данные о количестве точек поставки и предельных значениях показателей надежности:</i>	
02_TSO	Наименование ТСО
year	Год
max_points	Максимальное количество точек поставки электроэнергии за отчетный год, шт.
limit_saidi	Предельное значение показателя надежности saidi, установленное тарифным органом
limit_saifi	Предельное значение показателя надежности saifi, установленное тарифным органом
<i>Справочник организационных причин аварий:</i>	
org_code	Код организационной причины аварии
org_reason	Расшифровка организационной причины аварии
<i>Данные об износе электрических сетей:</i>	
TSO	Наименование ТСО
year	Год
%over40	Доля электрических сетей, находящихся в эксплуатации более 40 лет, %

2.2. Преобразование и очистка данных.

Преобразование и очистка данных проведены в разделе «Часть 1. EDA и подготовка данных» ноутбука (файл «01_Notebook_DA-55I_Diploma_Kalinin.ipynb» прилагается, ссылка на блокнот на сервисе [Google Colab](#)).

Проведенные действия по набору данных «01_outages_input.xlsx»:

- удалены записи-дубликаты;
- обеспечено единообразное заполнение атрибутов «03_object_type», «05_U_nom», «08_outage_type»;
- приведены к типу данных «datetime» атрибуты «06_time_start» и «07_time_end»;
- проверено и скорректировано заполнение 8 атрибутов – с «13_points_overall» до «20_points_NN»;
- выделены основные организационные и технические причины аварий в атрибутах «25_org_code» и «26_tech_code»;
- добавлен атрибут «reason class», отражающий отнесение отключения к 1 из 3 групп организационных причин аварий;
- добавлены атрибуты «scale_full», «scale_1cat», «scale_2cat» и «scale_3cat», отражающие масштабы обесточения потребителей (суммарные и отдельно по каждой из категорий надежности);
- добавлены атрибуты «year» и «month» (год и месяц отключений);
- удалены записи, не относящиеся к рассматриваемому периоду (январь 2018 г. – сентябрь 2022 г.).

Проведенные действия по набору данных «02_points_input.xlsx»:

- создан мульти-индекс строк для удобства объединения таблиц.

Преобразования наборов данных «03_reason_org_input.xlsx» и «04_deterioration.xlsx» не производились (не требовались).

Выявленные на данном этапе **недостатки и аномалии** данных:

- не обеспечено единообразное занесение данных по атрибутам «03_object_type», «05_U_nom», «08_outage_type»;
- не полностью корректен формат заносимых данных по атрибутам «06_time_start» и «07_time_end» (часы и минуты разделены знаком «,»);
- выявлены массовые случаи некорректного заполнения данных по атрибутам «13_points_overall» - «20_points_NN» (контрольные суммы атрибутов 14-16 и 17-20 должны соответствовать данным в графе 13, что не выполняется в ~8.5% записей);
- по атрибутам «25_org» и «26_tech» зачастую заносится несколько причин аварий (необходимо заносить 1 основную причину);
- систематически не заполняются данные по атрибуту «28_division»;
- отмечен чрезвычайно высокий разброс значений по атрибутам «09_duration», «13_points_overall», «22_outage_power», что имеет естественный характер (часть электросетевых объектов питает отдельный дом, другая часть – целые города и даже регионы);
- при исключении экстремальных записей (например, записей с длительностью обесточивания потребителей более 24 часов) распределение значений не принимает нормальный вид:

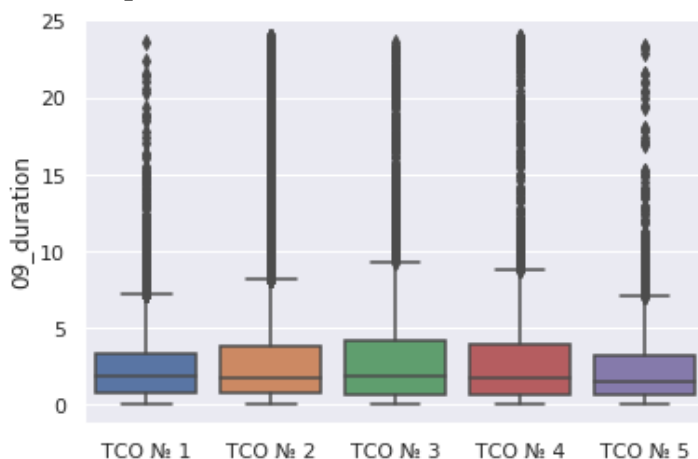


Рис. 1. Разброс данных по атрибуту «09_duration» (длительность обесточивания) при исключении отключений с обесточиванием потребителей более чем на 24 часа

- данные направляются в представленном виде в органы власти, в связи с чем удаление выбросов для целей анализа производится не будет;
- при этом удаление выбросов будет проведено для целей статистической проверки гипотез на итоговом этапе работы.

Выводы:

Качество ведения отчетной информации в «Журнале отключений» оценивается как удовлетворительное.

Рекомендации:

Провести методологическую работу с ответственными за занесение отчетности в «Журнал отключений» сотрудниками ТСО в части исключения указанных выше недостатков.

2.3. Описание похода к проведению анализа.

Анализ данных произведен с детализацией до ТСО по направлениям:

1) Расчет показателей надежности **saidi** (длительность обесточивания потребителей на 1 точку поставки, час.), **saifi** (частота обесточивания потребителей на 1 точку поставки, шт.).

Анализ произведен в 2 вариантах:

- по всем видам отключений;
- только по отключениям, учитываемым при расчете показателей надежности тарифными органами.

2) Выявление объектов, имеющих наибольшее влияние на показатели надежности.

Анализ произведен в 2 вариантах:

- по всем видам отключений;
- только по отключениям, учитываемым в показателях надежности.

3) Анализ влияния различных причин (групп причин) аварий на показатели надежности в каждом из ТСО.

Рассмотрены следующие основные группы причин аварий – «Природные воздействия», «Сторонние воздействия», «Недостатки эксплуатации», для выявленных аномалий рассмотрены причины аварий по более глубокому уровню детализации.

4) Анализ случаев обесточивания потребителей различных категорий надежности электроснабжения.

Проведен анализ соблюдения нормативов предельного времени обесточивания потребителей 1, 2, 3 категорий надежности (отдельно).

5) Анализ обесточивания потребителей по месяцам года.

Выполнен анализ распределения масштабов обесточивания по месяцам, дана трактовка итоговым результатам.

6) Оценка распределения длительности обесточивания потребителей.

Все отключения разбиты на 4 равные по размеру группы по длительности, проведена оценка равномерности распределения отключений по группам в различных ТСО, сделаны выводы об эффективности организации противоаварийной работы.

7) Оценка корректности учета отключений в расчете показателей надежности в зависимости от организационных причин аварий.

Дана оценка корректности и единообразия принятия ТСО решения об учете / неучете отключений при расчете показателей надежности для тарифных органов в разрезе групп причин аварий, связанных с виной ТСО, при которых вина ТСО отсутствует и по которым определение вины ТСО проводится при расследовании причин аварий.

8) Оценка недоотпуска электроэнергии в результате отключений.

Проведен сравнительный анализ объема недоотпущенной электроэнергии в результате отключений, дана оценка распределения объемов недоотпуска по основным группам причин.

9) Кластеризация отключений по длительности и последствиям.

Отключения распределены по кластерам в зависимости от длительности и масштабов обесточения потребителей. Дана оценка доли отключений в каждом из кластеров по каждому из ТСО.

10) Оценка корреляции и построение модели регрессии.

Определен уровень корреляции и построена модель линейной регрессии для зависимости показателей надежности saidi и saifi от износа электрических сетей.

11) Формулирование и статистическая проверка гипотез.

Сформулированы с учетом результатов предварительного анализа данных гипотезы, проверена их статистическая обоснованность.

3. АНАЛИЗ ДАННЫХ.

Анализ данных проведен в разделе «Часть II. Анализ данных» ноутбука.

3.1. Показатели надежности Saidi и Saifi (вариант А - суммарные).

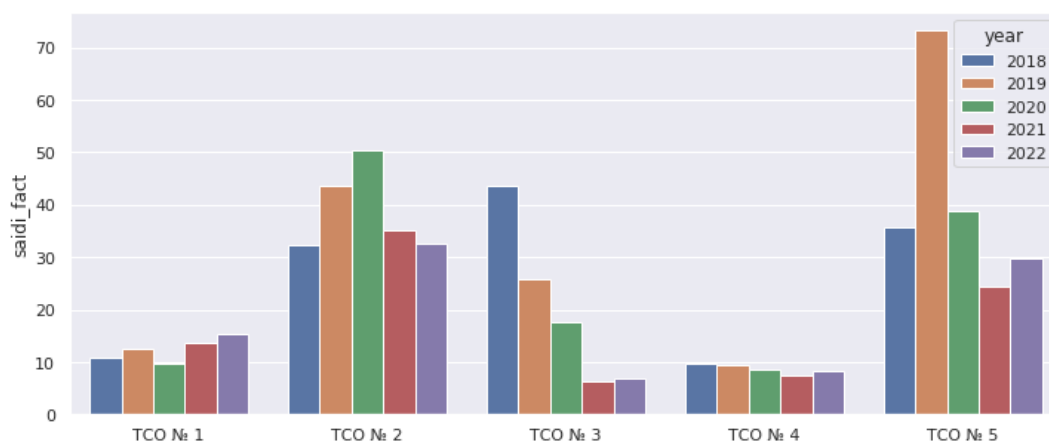


Рис. 2. Показатель надежности Saidi (суммарный - для всех отключений)

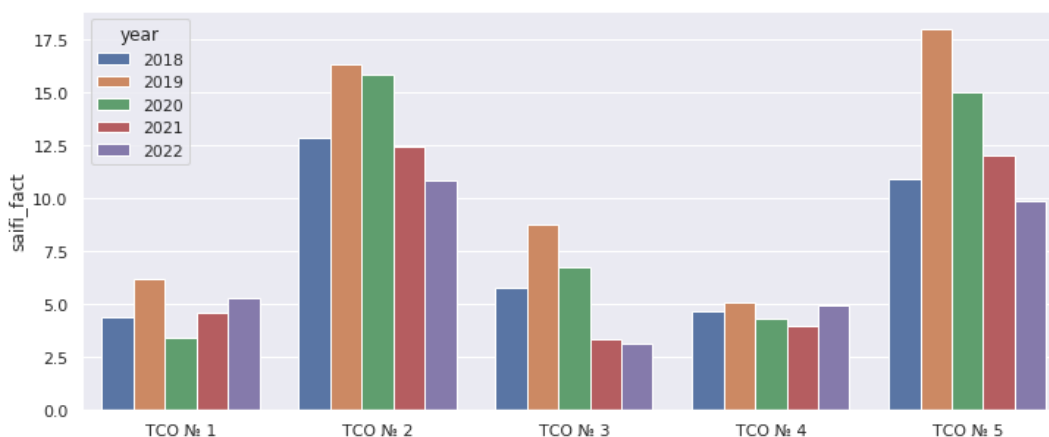


Рис. 3. Показатель надежности Saifi (суммарный - для всех отключений)

Выводы:

- 1) Наиболее проблемными ТСО в части полных (индикативных) показателей надежности являются **ТСО № 2** и **ТСО № 5**.
- 2) Отсутствует устойчивая динамика улучшения полных (индикативных) показателей надежности в **ТСО № 1**, **ТСО № 4** и **ТСО № 5**.
- 3) По **ТСО № 1** и **ТСО № 4** по итогам 9 мес. 2022 г. уже превышены уровни 2020-2021 гг., по ТСО № 2, ТСО № 3 и ТСО № 5 – эти уровни почти достигнуты.

3.2. Показатели надежности Saidi и Saifi (вариант Б - отраслевые).

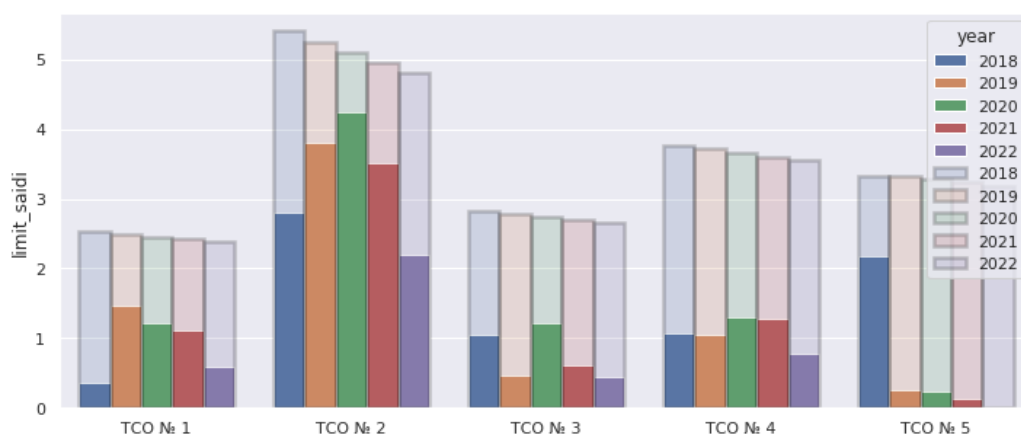


Рис. 4. Показатель надежности Saidi (отраслевые)

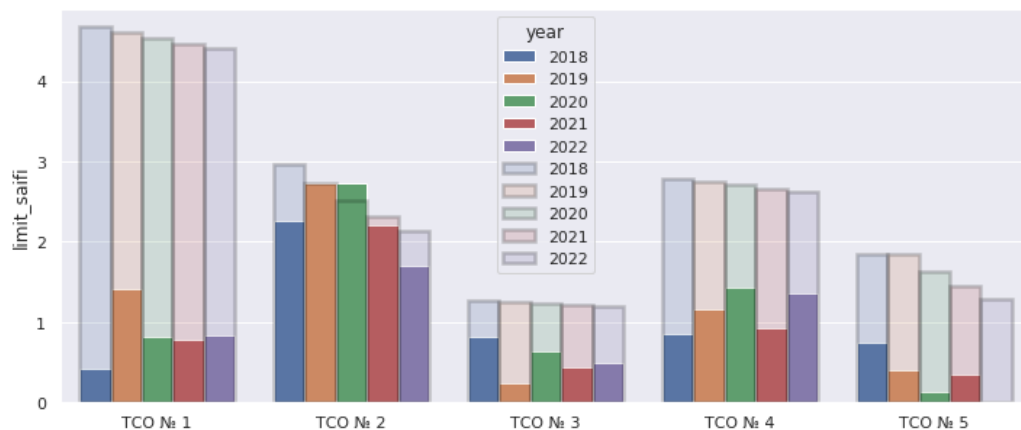


Рис. 5. Показатель надежности Saifi (отраслевые)

Выводы:

- 1) Единственный зафиксированный случай превышения предельных (отраслевых) показателей надежности, установленных тарифными органами, был зафиксирован в **ТСО № 2** (2020 г. – показатель saifi).
- 2) Еще в 2 случаях имелся риск превышения предельный показателей надежности – также в **ТСО № 2** (2019 и 2021 г. – показатель saifi).

3) В 2022 г. риски превышения предельных значений показателей надежности прогнозируются также по **ТСО № 2** (показатель saifi - за 9 мес. 2022 г. «выбрано» 79.5% предельного значения, установленного тарифным органом).

Рекомендации:

В целях снижения рисков превышения предельного значения показателя saifi (количество отключений с обесточиванием потребителей) в ТСО № 2, **в производственную программу в приоритетном порядке включать объекты, по которым фиксируются многократные (повторяющиеся) случаи отключений, а также объекты, питающие наибольшее количество точек поставки.**

3.3. Объекты, имеющие наибольшее влияние на показатели надежности.

Сформирован перечень из 25 (по 5 на каждое ТСО) объектов, имеющих наибольшее влияние на отраслевые показатели надежности, установленные тарифными органами.:

ТСО	Объект	Класс напряжения, кВ	Масштабы обесточивания за 2018-2022 гг., час*т.пост.
ТСО № 1	ПС 220 кВ Магдагачи\Ф-6\3\Ф-2	0,4	17,456.500
ТСО № 1	Прогресс 4	6-20	16,908.733
ТСО № 1	Костюковка - Сычевка	35	16,016.550
ТСО № 1	Ромны 1	6-20	15,440.567
ТСО № 1	ПС 35 кВ Сычевка\Ф-4\15-16\ф-1	0,4	15,181.000
ТСО № 2	Ф-11 РП 80201 яч17 (80201-82017), ПС 110/35/10 Промысловка	6-20	80,465.800
ТСО № 2	Ф-6, ПС 35/6 Соловей ключ	6-20	48,862.985
ТСО № 2	Ф-16, ПС 110/6 Береговая-1	6-20	34,198.042
ТСО № 2	Ф-12, ПС 35/6 Сергеевка	6-20	30,697.221
ТСО № 2	Ф-2, ПС 35/10 Сокольчи	6-20	26,161.650
ТСО № 3	ВЛ 35 кВ Березовая - Бриакан	35	12,415.440
ТСО № 3	ВЛ 110 кВ Хехцир-Сита	110	9,851.022
ТСО № 3	ПС 110 кВ Маго	6-20	9,570.707
ТСО № 3	ГВФ	6-20	8,922.233
ТСО № 3	ВЛ 110 кВ Иннокентьевка – Троицкая	110	8,615.367
ТСО № 4	ВЛ 35 кВ Волочаевка - Новокуровка	35	12,412.400
ТСО № 4	ПС 35 кВ ДСК\Ф-234	6-20	5,386.170
ТСО № 4	ПС 35 кВ ЧТФ В-6 1Т	6-20	4,786.600
ТСО № 4	ПС 35 кВ ЖБИ\Ф-68	6-20	4,769.380
ТСО № 4	ПС 35 кВ ДМ\Ф-33	6-20	4,705.160
ТСО № 5	ПС 110кВ "Алдан"	6-20	16,960.977
ТСО № 5	ПС 35 кВ "Ленинский"	6-20	4,011.400
ТСО № 5	"Левобережная"	35	2,563.650
ТСО № 5	ПС 35 кВ "Укулан" КРУН-10-2	6-20	2,009.583
ТСО № 5	ПС 220 кВ "Нижний Куранах"	6-20	1,162.333

Рекомендации:

В целях снижения отраслевых показателей надежности saidi и saifi, **в производственные программы ТСО в приоритетном порядке включать объекты из приведенного перечня (имеющие наибольшее влияние на показатели надежности).**

3.4. Анализ влияния причин аварий на показатели надежности.

Доля вклада каждой из групп причин аварий в общие масштабы обесточивания:

ТСО	Группа причин аварий	Вклад группы причин, %
ТСО № 1	Недостатки эксплуатации	15,1
ТСО № 1	Природные воздействия	49,7
ТСО № 1	Сторонние воздействия	35,3
ТСО № 2	Недостатки эксплуатации	41,2
ТСО № 2	Природные воздействия	48,0
ТСО № 2	Сторонние воздействия	10,9
ТСО № 3	Недостатки эксплуатации	9,1
ТСО № 3	Природные воздействия	69,0
ТСО № 3	Сторонние воздействия	21,9
ТСО № 4	Недостатки эксплуатации	1,9
ТСО № 4	Природные воздействия	61,8
ТСО № 4	Сторонние воздействия	36,3
ТСО № 5	Недостатки эксплуатации	10,2
ТСО № 5	Природные воздействия	13,8
ТСО № 5	Сторонние воздействия	76,0

Выводы:

- 1) По **ТСО № 1**: распределение представляется корректным, отсутствуют отдельные причины аварий, вносящие аномальный вклад в показатели надежности.
- 2) По **ТСО № 2**:
 - отмечается высокая доля аварий из-за **ветровых нагрузок (25%)** и прочих **неблагоприятных природных явлений (10%)**, что коррелирует с приокеанским расположением ТСО (фиксируются тайфуны и тропические штормы);
 - 21% общего масштаба аварий вызвано **несвоевременным выявлением/устранением дефектов**, 17% - с **физическим износом оборудования**.
- 3) По **ТСО № 3**:
 - отмечается высокая доля **ветровых нагрузок (27%)**, прочих **воздействий неблагоприятных природных явлений (17%)** и **превышения параметров воздействия стихийных явлений относительно условий проекта (11%)**, что коррелирует с приокеанским расположением ТСО;
 - более 10% общих масштабов аварий связывается с **повреждениями оборудования потребителей электрической энергии**.
- 4) По **ТСО № 4**:
 - отмечается высокая доля **превышения параметров воздействия стихийных явлений относительно условий проекта (33%)** и **ветровых нагрузок (19%)**;
 - 13% масштабов связывается с **недостатками конструкции оборудования**.
- 5) По **ТСО № 5**:
 - отмечена аномально высокая доля аварий из-за **повреждения оборудования потребителей электроэнергии (42%)**
 - более 9% масштабов обесточивания связывается с **проездом крупногабаритной техники**, еще 14% - с **прочими воздействиями сторонних лиц**.

Рекомендации:

- 1) **ТСО № 2** – требуется оценка качества планирования технического обслуживания и ремонтов, достаточности выделяемых средств и ресурсов.

2) **ТСО № 3** – требуется аудит корректности расследования аварий, причинами которых признаны повреждения оборудования потребителей электроэнергии.

3) **ТСО № 4** – требуется аудит корректности расследования аварий, причинами которых признаны:

- превышение параметров воздействия стихийных явлений относительно условий проекта (ТСО расположено в регионе с относительно мягким климатом);

- недостатки конструкции оборудования (применяется оборудование тех же производителей и типов, что и в прочих ТСО, но доля аварий в ТСО № 4 выше).

4) **ТСО № 5:**

- требуется аудит корректности расследования аварий, причинами которых признано повреждение оборудования потребителей электроэнергии (возможно сокрытие истинных причин аварийности);

- требуется усиление работы с подрядными организациями и строительными организациями региона, осуществляющими несогласованные действия в охранных зонах ВЛ, приводящие к внеплановым отключениям;

- необходимо усилить работу по обустройству путей проезда под линиями электропередачи с установкой соответствующих указателей, соблюдением минимально допустимых габаритных расстояний от проводов ВЛ до земли.

3.5. Анализ случаев обесточивания потребителей различных категорий надежности электроснабжения.

Распределение масштабов обесточивания потребителей по категориям:

ТСО	1-2 категория, %	3 категория, %
ТСО № 1	0,094	99,906
ТСО № 2	0,102	99,898
ТСО № 3	1,320	98,680
ТСО № 4	0,108	99,892
ТСО № 5	0,525	99,475

Выводы:

1) Масштабы обесточивания потребителей 1-2 категорий - от 0,1% до 1,3%.

2) Недопустимо высокие показатели – в **ТСО № 3** и **ТСО № 5**.

1 категория надежности – перерывы электроснабжения не допускаются

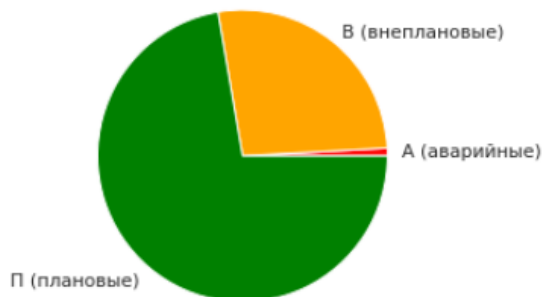


Рис. 6. Распределение причин обесточивания потребителей 1 категории

2 категория надежности – допускаются перерывы до 2 часов

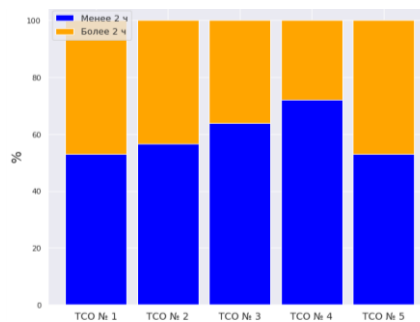


Рис. 7. Распределение случаев обесточивания потребителей 2 категории по длительности

Выводы:

Основную часть случаев обесточивания составляют **плановые отключения**. Однако отключения потребителей 1-ой категории планироваться не могут, т.к. это противоречит требованиям нормативных документов!

Рекомендации:

- 1) Принять меры по повышению надежности работы объектов, питающих потребителей 1 категории.
- 2) Провести работу с собственниками электроустановок 1 категории в части повторного их оповещения о необходимости организации питания от 2 независимых источников питания (в т.ч. обеспечения работоспособности собственных дизель-генераторных установок потребителей (ДГУ)).

Выводы:

- 1) Более 40% случаев обесточивания потребителей 2-ой категории длится более 2 часов, что противоречит требованиям нормативных документов!
- 2) На систематической основе такие случаи отмечаются **во всех ТСО**.

Рекомендации:

- 1) Принять меры по повышению надежности работы объектов, питающих потребителей 2 категории, в т.ч. готовности к устранению повреждений.
- 2) Провести работу с собственниками электроустановок 2 категории в части повторного их оповещения о необходимости организации питания от 2 независимых источников питания (в т.ч. обеспечения работоспособности собственных ДГУ потребителей).

3 категория надежности – допускаются перерывы электроснабжения до 24 часов:

ТСО	Всего отключений, шт.	Из них более 24 ч., шт.	% отключений более 24 ч.
ТСО № 1	21 859	11	0,050
ТСО № 2	64 652	67	0,104
ТСО № 3	8 989	143	1,591
ТСО № 4	5 458	2	0,037
ТСО № 5	5 544	38	0,685

Выводы:

- 1) Зафиксировано 261 отключение потребителей 3 категории более чем на 24 часа одновременно, что противоречит требованиям нормативных документов!
- 2) На систематической основе нарушения фиксируются в **ТСО № 3** и **ТСО № 5**.
- 3) Большая часть таких отключений – **плановые**, однако планировать отключения с обесточиванием более чем на 24 часа недопустимо!

Рекомендации:

ТСО № 3 и ТСО № 5:

- 1) Предпринять меры по повышению качества планирования отключений в части соблюдения предельной длительности обесточивания потребителей.
- 2) Обеспечить электроснабжение потребителей 3-ей категории в соответствии с требованиями нормативных документов, в т.ч. усилить готовность сил и средств к оперативному проведению аварийно-восстановительных работ.

3.6. Анализ обесточивания потребителей по месяцам.

Проведен анализ масштабов обесточивания потребителей по месяцам.

Примечание: данные за октябрь-декабрь приведены без учета 2022 года.

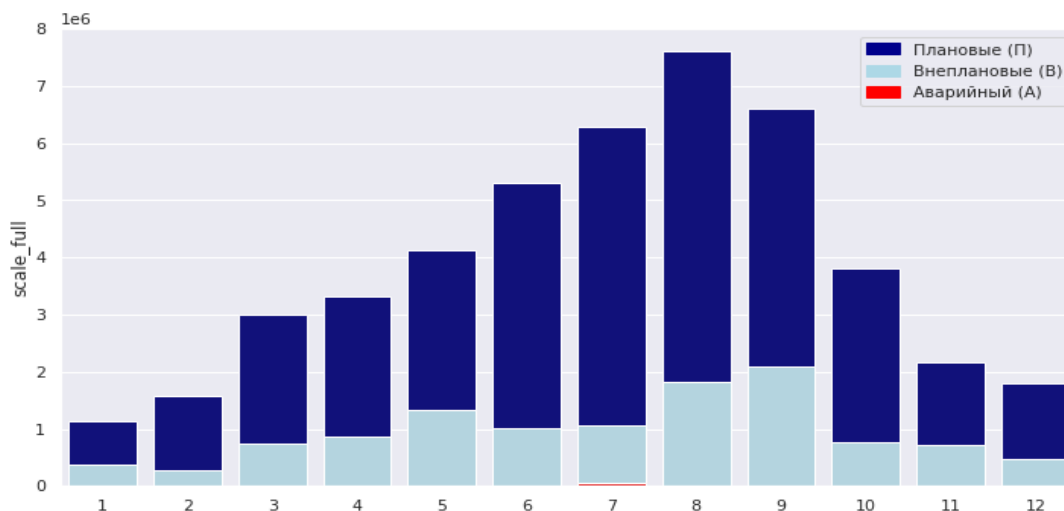


Рис. 8. Распределение масштабов обесточивания по месяцам и типам отключений

Выводы:

- 1) Распределение масштабов обесточивания по месяцам имеет вид, близкий к нормальному распределению, с ярко выраженным пиком в июле-сентябре.
- 2) Такой характер распределения связан с тем, что плановые отключения (для проведения ремонтов и иных плановых работ) производятся, в основном, вне пределов отопительного сезона (как периода с наибольшей нагрузкой сетей).
- 3) Рост масштабов обесточивания из-за внеплановых отключений в летние месяцы также связан с массовыми плановыми работами, что вызывает ослабление схем сетей и снижение уровня резервирования объектов при внеплановых отключениях.
- 4) Аварийные отключения («А», отключения из-за аварий в сетях иных организаций) имеют пренебрежительно малый вклад в масштабы обесточивания.
- 5) В ТСО № 5 практически отсутствуют отключения, кроме плановых.
- 6) В ТСО № 2 пиковые обесточивания приходятся на сентябрь (регулярно отмечаются тайфуны и тропические штормы в регионе).

Рекомендации:

Проанализировать корректность классификации подавляющего большинства отключений в ТСО № 5 как плановых («П»).

Проведен анализ динамики отраслевых показателей надежности по месяцам. Выборочные графики в разрезе отдельных ТСО, отражающие **зоны риска**:

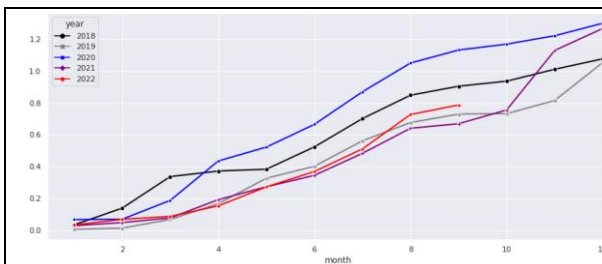


Рис. 9. Отраслевой показатель saidi (TCO № 4)

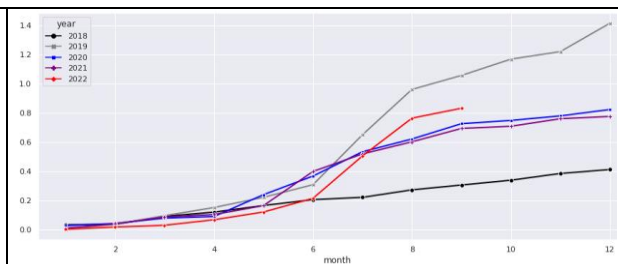


Рис. 10. Отраслевой показатель saifi (TCO № 1)

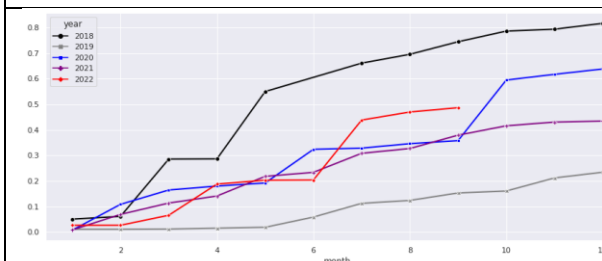


Рис. 11. Отраслевой показатель saifi (TCO № 3)

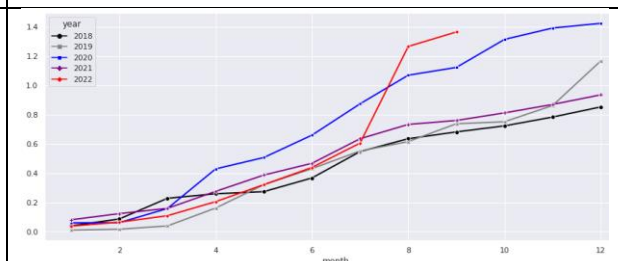


Рис. 12. Отраслевой показатель saifi (TCO № 4)

Выводы:

- 1) По **TCO № 1** по итогам 9 мес. 2022 г. уже превышено значение отраслевого показателя saifi за 2021 и 2020 гг.
- 2) По **TCO № 3** по итогам 9 мес. 2022 г. уже превышено значение отраслевого показателя saifi за 2021 г.
- 3) По **TCO № 4** по итогам 9 мес. 2022 г.:
 - отмечено превышение показателя saidi в сравнении с 9 мес. 2021 г.;
 - по итогам 9 мес. 2022 г. уже превышено значение отраслевого показателя saifi за все предыдущие годы, кроме 2020 г.

Рекомендации:

- 1) Провести анализ очагов обесточения потребителей в ТСО № 1, ТСО № 4 и ТСО № 5 в разрезе районов электрических сетей (РЭС).
- 2) При формировании производственных программ ТСО № 1, ТСО № 3 и ТСО № 4 обеспечить приоритетное планирование работ на объектах, вносящих наибольший вклад в показатели надежности.

3.7. Анализ распределения длительности отключений.

Все отключения разделены на 4 равные по количеству записей группы по атрибуту «09_duration» (длительность обесточивания потребителей) для оценки скорости восстановления электроснабжения.

Диапазоны групп:

- до 0.783 ч. («оперативное» восстановление)
- 0.783 – 1.783 ч. («лучше среднего»)
- 1.783 – 3.7 ч. («хуже среднего»)
- более 3.7 ч. («длительное»)

Распределение доли отключений по группам приведено в таблице:

ТСО	«Оперативное»	«Лучше среднего»	«Хуже среднего»	«Длительное»
ТСО № 1	26,5%	23,0%	29,0%	21,6%
ТСО № 2	23,6%	26,6%	24,2%	25,5%
ТСО № 3	26,6%	20,4%	23,1%	29,9%
ТСО № 4	29,4%	20,8%	23,3%	26,6%
ТСО № 5	29,7%	26,7%	20,8%	22,8%

Выводы:

1) Наибольшая доля случаев обесточивания по 4 группе («длительное» восстановление) зафиксировано в **ТСО № 3** (~30%).

2) Наилучшая эффективность восстановления электроснабжения отмечена в ТСО № 5 (3-4 группы составляют лишь 43% отключений).

Рекомендации:

ТСО № 3 провести анализ оптимальности размещения производственных баз и аварийно-восстановительных бригад, достаточности аварийного запаса оборудования для повышения оперативности восстановления электроснабжения.

3.8. Оценка корректности учета отключений в расчете показателей надежности в зависимости от организационных причин аварий.

Учету в расчете показателей надежности подлежат все внеплановые отключения, связанные с **виной электросетевой организации**.

Все организационные причины аварий разделены на 3 группы – «Вина ТСО», «Нет вины ТСО», «Определяется при расследовании».

Проведен отдельный анализ единообразия учета разными ТСО при расчете показателей надежности отключений по группе «Определяется при расследовании»:

Орг. код	ТСО № 1		ТСО № 2		ТСО № 3		ТСО № 4		ТСО № 5	
	не учит.	учит.	не учит.	учит.	не учит.	учит.	не учит.	учит.	не учит.	учит.
3.4.10	368	3	328	3	41	0	162	2	8	0
3.4.12	0	44	0	0	3	0	0	0	0	0
3.4.12.1	0	5	21	0	48	2	3	0	0	17
3.4.12.2	1	189	2238	0	331	44	68	53	11	0
3.4.12.3	0	403	273	0	118	7	48	33	68	3
3.4.12.4	0	6	15	0	2	0	7	2	0	0
3.4.12.5	0	312	2263	0	189	1	7	23	3	0
3.4.13.1	0	2	0	0	0	7	0	0	0	0
3.4.13.2	0	7	0	9	0	19	1	109	0	1
3.4.13.3	0	75	33	33	0	5	0	49	0	1
3.4.13.4	0	20	27	17	9	13	0	98	1	22
Итого	369	1066	5198	62	741	98	296	369	91	44

Выводы:

1) Выявлены **принципиальные различия** порядка учета в различных ТСО в показателях надежности отключений по причинам, относящимся к кодам 3.4.12.1-3.4.12.5 «Воздействие повторяющихся стихийных явлений», а именно:

- ТСО № 2 и преимущественно ТСО № 5 отключения **не учитываются**;
- ТСО № 4 – **учитываются частично**;

- ТСО № 1 и преимущественно ТСО № 3 – **учитываются**.
- 2) Данный факт приводит к **некорректности сопоставления** отраслевых показателей надежности различных ТСО.

Рекомендации:

Разработать и внедрить Единый для всех ТСО регламент принятия решений об учете (неучете) отключений по причинам, входящим в блок 3.4.12, при расчете отраслевых показателей надежности.

3.9. Оценка недоотпуска электроэнергии в результате отключений.

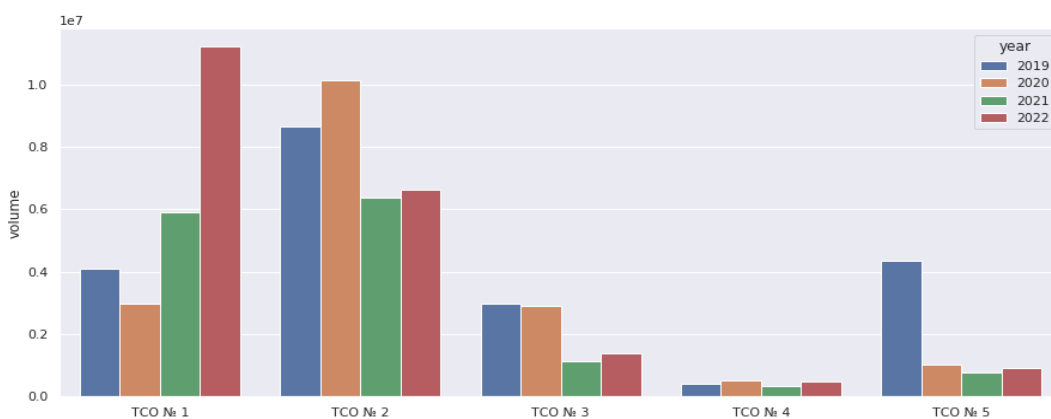


Рис. 13. Распределение объемов недоотпуска электроэнергии потребителям

Выводы:

- 1) По итогам 9 месяцев 2022 года по **всем ТСО** объем недоотпуска электроэнергии (кВт*ч) уже превысил значения 12 месяцев 2019-2021 гг.
- 2) Особенно значительное превышения отмечается в **ТСО № 1**.

Рекомендации:

Разработать программу мероприятий по повышению надежности электроснабжения крупных потребителей электроэнергии, вносящих наибольший вклад в показатели недоотпуска электроэнергии.

4. КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ОТКЛЮЧЕНИЙ, ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РЕГРЕССИИ.

Кластеризация отключений и построение модели регрессии проведены в разделах «Часть III. Кластеризация отключений по длительности восстановления электроснабжения и масштабам обесточивания потребителей» и «Часть IV. Оценка зависимости показателей надежности от износа электрических сетей» ноутбука.

Проведена кластеризация внеплановых отключений в зависимости от длительности отключения и масштабов обесточивания потребителей:

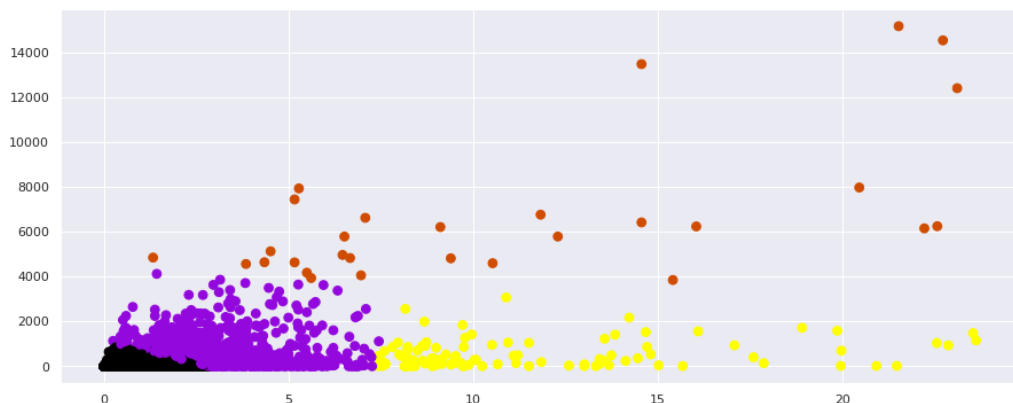


Рис. 14. Распределение отключений по кластерам (X – часы, Y - масштабы)

Выполнен анализ распределения отключений в ТСО по кластерам:

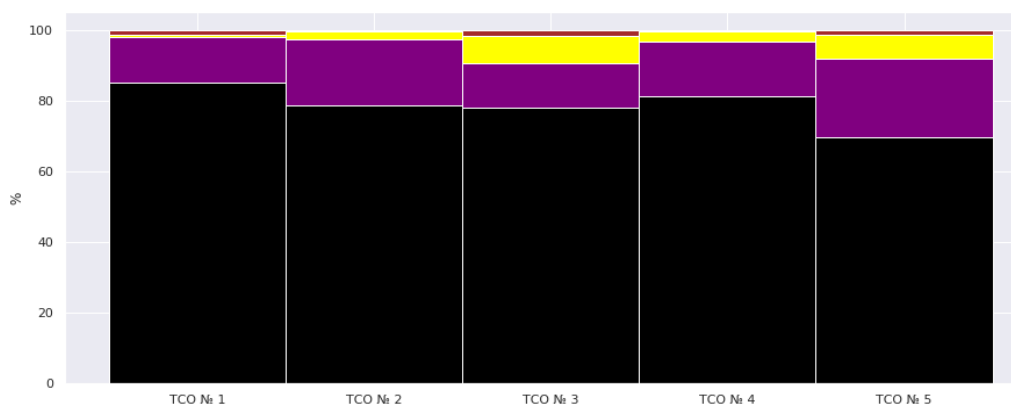


Рис. 15. Распределение отключений по кластерам в разрезе ТСО

Выводы:

- 1) Наилучшее распределение отключений по кластерам – в ТСО № 4 и ТСО № 1.
- 2) Наихудшее распределение отключений по кластерам – в ТСО № 5 и ТСО № 3.

Рекомендации:

ТСО № 5 и ТСО № 3 разработать комплекс мероприятий по повышению готовности к выполнению аварийно-восстановительных работ с учетом положительного опыта ТСО № 1 и ТСО № 4, оценить укомплектованность парка авто- и спецтехники, оснащенность аварийным запасом, оптимальность размещения производственных баз.

Проведена оценка уровня корреляции отраслевых показателей надежности и износа электрических сетей (доли сетей, эксплуатируемых более 40 лет).

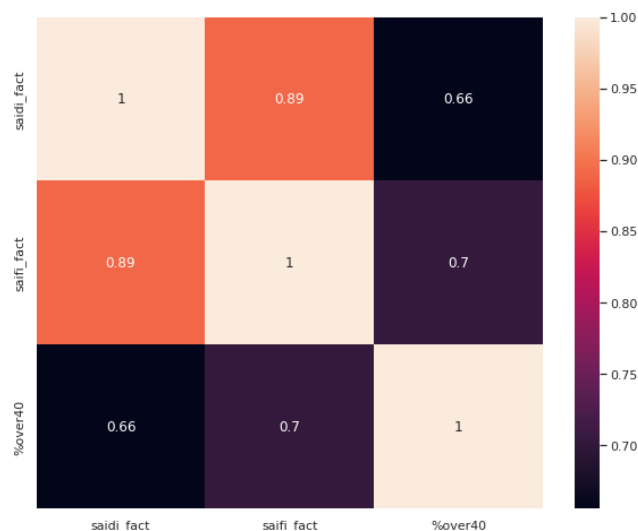


Рис. 16. Матрица корреляций показателей надежности и износа сетей.

Выводы:

- 1) Корреляция между показателями saidi и saifi является естественной.
- 2) Выявлена сильная прямая взаимосвязь показателей надежности и износа сетей.
- 3) Вероятно, зависимыми величинами являются показатели надежности, а независимой – уровень износа сетей (чем сильнее износ, тем хуже показатели надежности).

Построены модели линейной регрессии показателей надежности и износа:

- 1) по показателю надежности saidi: $y = 98.1493 * x - 14.2014$

Оценка точности модели (усреднение с бутстреппингом): 56,8%.

- 2) по показателю надежности saifi: $y = 25.7658 * x - 1.6760$

Оценка точности модели (усреднение с бутстреппингом): 72,0%.

Рекомендации:

Рекомендуется поддерживать износ электрических сетей не выше предельного уровня, своевременно планировать мероприятия по техническому перевооружению и реконструкции отработавших нормативных срок службы электросетевых объектов.

5. ФОРМУЛИРОВАНИЕ И ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ.

По итогам проведенного анализа сформулированы следующие гипотезы и проведена их статистическая проверка (уровень значимости – 0.05):

№	Гипотеза	Результат
1	<p>Н0: Длительность обесточивания потребителей при авариях из-за природных воздействий не отличается от аварий по другим причинам.</p> <p>Н1: Длительность обесточивания потребителей при авариях из-за природных воздействий отличается от аварий по другим причинам.</p>	Н0 отвергнута

2	Н0: Длительность обесточивания потребителей при плановых отключениях и при внеплановых/аварийных отключениях не отличается. Н1: Длительность обесточивания потребителей при плановых отключениях и при внеплановых/аварийных отключениях отличается.	Н0 отвергнута
3	Н0: Длительность единичного обесточивания потребителей в разных ТСО не отличается. Н1: Длительность единичного обесточивания потребителей в разных ТСО отличается.	Н0 отвергнута
4	Н0: Масштаб единичного обесточивания потребителей в разных ТСО не отличается. Н1: Масштаб единичного обесточивания потребителей в разных ТСО отличается.	Н0 отвергнута
5	Н0: Масштаб обесточивания потребителей при отключении по вине ТСО не отличается от масштаба по причинам, не связанным с виной ТСО. Н1: Масштаб обесточивания потребителей при отключении по вине ТСО отличается от масштаба по причинам, не связанным с виной ТСО.	Н0 отвергнута
6	Н0: Масштаб обесточивания потребителей из-за внеплановых и аварийных отключений в мае-сентябре не отличается от остальных месяцев. Н1: Масштаб обесточивания потребителей из-за внеплановых и аварийных отключений в мае-сентябре отличается от остальных месяцев.	Н0 отвергнута
7	Н0: Доля масштабов обесточивания потребителей из-за природных воздействий в ТСО, расположенных в приморских регионах, не отличается от других ТСО. Н1: Доля масштабов обесточивания потребителей из-за природных воздействий в ТСО, расположенных в приморских регионах, отличается от других ТСО.	Н0 отвергнута
8	Н0: Доля масштабов обесточивания потребителей из-за недостатков эксплуатации в ТСО № 2 не отличается от других ТСО. Н1: Доля масштабов обесточивания потребителей из-за недостатков эксплуатации в ТСО № 2 отличается от других ТСО.	Н0 отвергнута
9	Н0: Фактические показатели надежности saidi в ТСО, расположенных в приморских регионах, не отличаются от других ТСО. Н1: Фактические показатели надежности saidi в ТСО, расположенных в приморских регионах, не отличаются от других ТСО.	Н0 не отвергнута
10	Н0: Фактические показатели надежности saifi в ТСО, расположенных в приморских регионах, не отличаются от других ТСО. Н1: Фактические показатели надежности saifi в ТСО, расположенных в приморских регионах, не отличаются от других ТСО.	Н0 не отвергнута
11	Н0: Доля объемов недоотпуска электроэнергии из-за недостатков эксплуатации во всех ТСО одинакова. Н1: Доля объемов недоотпуска электроэнергии из-за недостатков эксплуатации в разных ТСО различается.	Н0 отвергнута
12	Н0: Отсутствуют отличия порядка учета в показателях надежности отключений по причинам, входящим в блок «Воздействие повторяющихся стихийных явлений», в ТСО № 1 и ТСО № 4 в сравнении с другими ТСО. Н1: Существуют отличия порядка учета в показателях надежности отключений по причинам, входящим в блок «Воздействие повторяющихся стихийных явлений», в ТСО № 1 и ТСО № 4 в сравнении с другими ТСО.	Н0 отвергнута

Процесс проверки гипотез отражен в разделе «Часть III» ноутбука.

Для целей анализа были исключены записи с выбросами по показателям длительности обесточивания потребителей и масштабов обесточивания.

Распределения используемых при статистической проверке гипотез показателей имеют не нормальный характер, в связи с чем использовались параметрические методы проверки гипотез:

- тест Манна-Уитни;

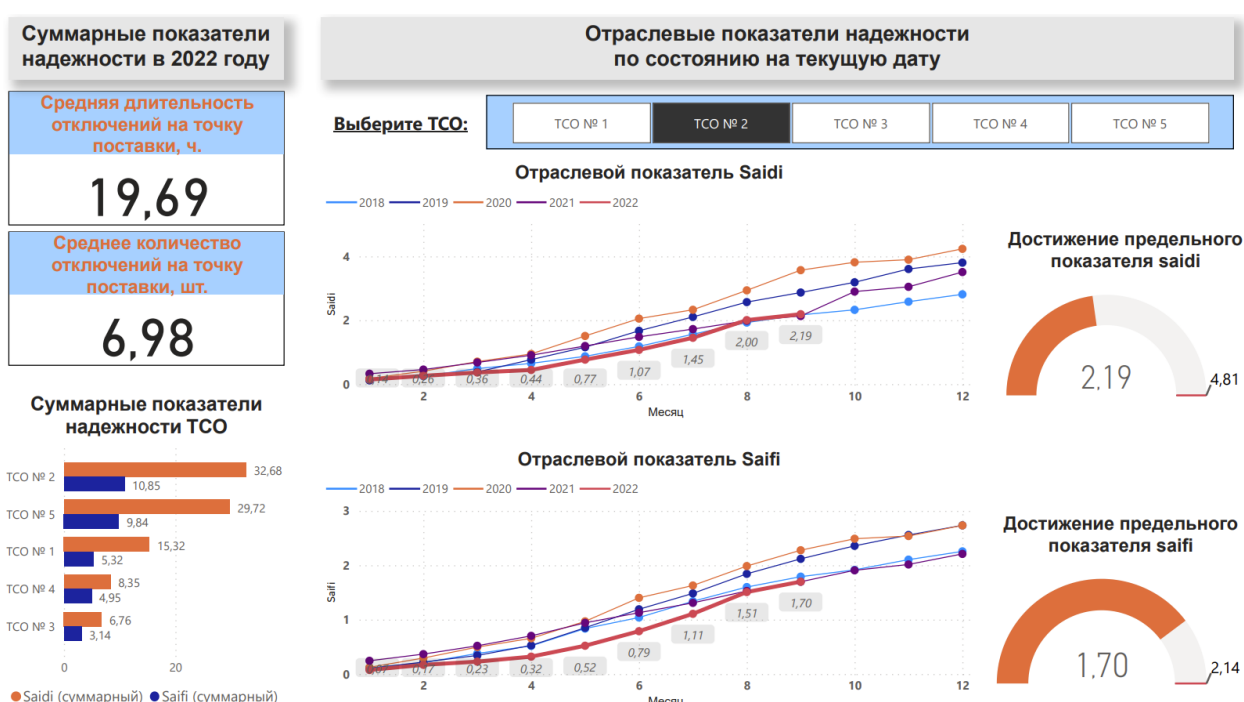
- тест Крускала-Уоллиса;
- тест Данна.

Для проверки гипотезы № 12 также применялся точный критерий Фишера.

6. ПОСТРОЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ДАШБОРДА.

Для целей аналитики верхнего уровня и информирования стейкхолдеров о достигаемых показателях надежности работы электрических сетей ТСО, сформирован в программном комплексе Microsoft PowerBI интерактивный дашборд.

Дашборд в формате .pdf прилагается к дипломной работе («Dashboard.pdf»).



Публикация дашборда в интерактивной форме невозможна в связи с ограничениями на регистрацию новых учетных записей пользователей PowerBI из Российской Федерации.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ИТОГАМ ПРОВЕДЕННОГО АНАЛИЗА.

Непревышение предельных показателей надежности, устанавливаемых тарифными органами, является важнейшей задачей работы ТСО. При превышении предельных показателей тарифный орган имеет возможность применять понижающие коэффициенты при определении тарифов на передачу электроэнергии по электрическим сетям, что повлечет ухудшение финансового положения ТСО и

снижение диапазона возможностей влияния на техническое состояние электрических сетей.

По результатам проведенного анализа в деятельности 5 рассмотренных ТСО **выявлен ряд рисков** по следующим показателям и направлениям:

- 1) превышение предельных отраслевых показателей надежности;
- 2) ухудшение динамики показателей надежности;
- 3) нарушение нормативов максимально допустимой длительности перерывов электроснабжения по потребителям 1, 2 и 3 категорий надежности;
- 4) рост масштабов недоотпуска электроэнергии потребителям;
- 5) недостаточный уровень готовности к проведению аварийно-восстановительных работ для скорейшего восстановления электроснабжения;
- 6) высокий уровень износа электрических сетей;
- 7) недостаточное качество ведения отчетной информации;
- 8) отсутствие приоритезации включения в производственные программы объектов, вносящих наибольший вклад в показатели надежности;
- 9) возможная некорректность классификации причин аварий;
- 10) возможная некорректность определения типов отключений;
- 11) отсутствие единых методологических подходов к учету в показателях надежности аварий, связанных с воздействием повторяющихся стихийных явлений;
- 12) недостаточная работа с подрядными и строительными организациями, осуществляющими несогласованные действия в охранных зонах ВЛ.

Из рассмотренных ТСО **наиболее высокий интегральный риск** отмечается, по оценке автора исследования, в **ТСО № 2**, что связано со следующими причинами:

- отмечались случаи превышения предельных отраслевых показателей надежности в предыдущие годы;
- имеется риск превышения предельного отраслевого показателя надежности saifi в 2022 году;
- наихудшие суммарные показатели надежности среди всех ТСО;
- высокая доля масштабов обесточивания связана с недостатками эксплуатации;
- высокая доля аварий из-за несвоевременного выявления / устранения дефектов;
- ТСО расположено в регионе с высокой интенсивностью стихийных воздействий;
- при расчете показателей надежности не учитываются аварии, связанные с повторяющимися природными воздействиями *(в случае принятия единого регламента учета аварий, предусматривающего частичный или полный учет таких аварий, имеется риск ухудшения показателей надежности)*.

В ходе анализа **сформировано 24 рекомендации**, направленных на достижение следующих целей:

- повышение корректности расчета показателей надежности;
- повышение качества расследования причин аварий;
- повышение качества планирования технических воздействий;
- обеспечение готовности к ликвидации аварийных ситуаций;
- минимизация факторов, влияющих на аварийность энергообъектов;
- обеспечение корректного ведения отчетной информации.

Холдингу **рекомендуется**, в случае признания рекомендаций валидными, в течение 2 календарных месяцев организовать разработку **комплекса организационно-технических мероприятий по устранению выявленных несоответствий и снижению рисков**.

Комплекс мероприятий должен содержать (по каждому мероприятию):

- сроки выполнения;
- перечень ответственных структурных подразделений и должностных лиц;
- описание ожидаемых результатов выполнения, установление требований к документации по итогам выполнения;
- прогнозную оценку эффектов от выполнения мероприятия в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

По итогам реализации Комплекса мероприятий **рекомендуется проведение повторного углубленного анализа** отключений в электрических сетях в целях оценки полученных эффектов и сохранения / изменения трендов.