



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА НАДЕЖНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СМЗУ

Выполнил: студент гр. О-5КМ31 Кирякин Артём Андреевич

Руководитель: к.т.н., доцент, Васильев Алексей Сергеевич

Октябрь 2025

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

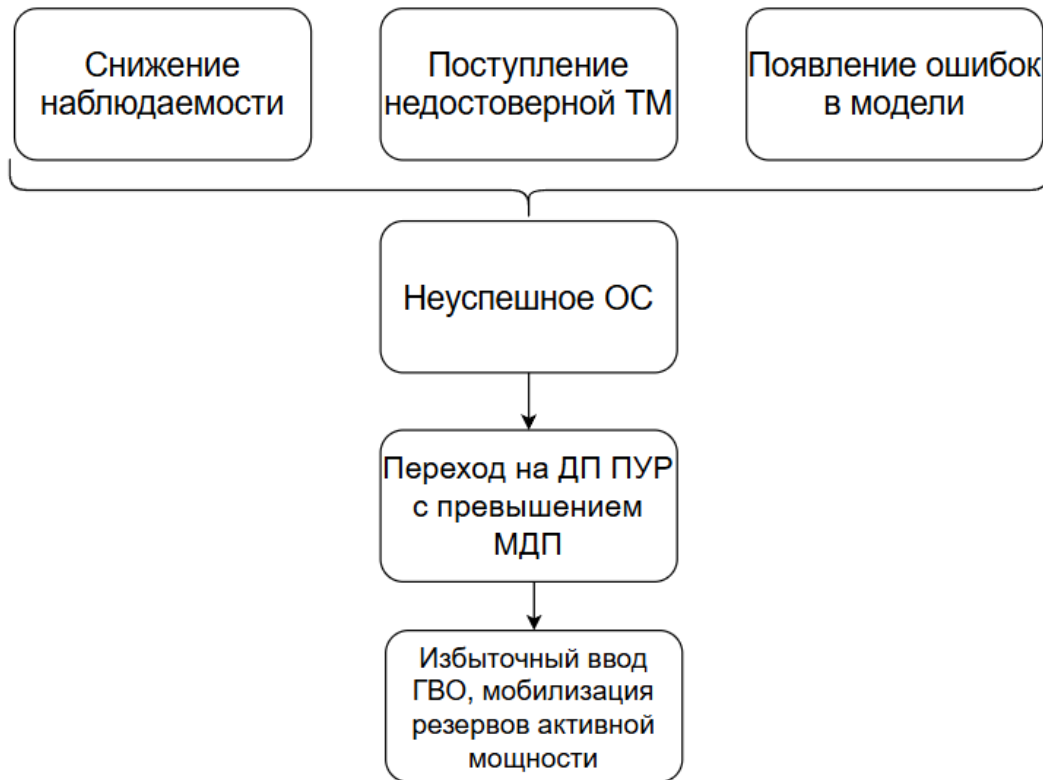


Рисунок 1 – Риски, связанные с особенностями модели ЭЭС

Цель работы

Поиск особенностей моделей энергосистем СМЗУ и соответствующих наборов поступающей и частично теряемой телеметрии, которые приводят к недопустимому снижению надежности СМЗУ.

Задачи работы

1. Провести анализ срезов телеизмерений, выявить места в энергосистеме, телеметрия которых, в большей степени влияет на вероятность неуспешного ОС;
2. Выполнить анализ поступившей телеметрии в выбранных местах энергосистемы, определить возможные причины неуспешного ОС;
3. Разработать алгоритм выявления мест, телеметрия в которых сильнее всего влияет на надежность ОС;
4. На основе полученных результатов предложить варианты снижения вероятности неуспешного ОС.

ОС – оценивание состояния

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАБЛЮДАЕМОСТИ НА НАДЕЖНОСТЬ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ



Таблица 1 – Наблюдаемость энергосистем

Энергосистема	$n_{уз.}$, ШТ.	$n_{ветв.}$, ШТ.	$n_{ТИ}$, ШТ.	K_H
Алтайская ЭС	96	339	192	0,44
Бурятская ЭС	77	295	280	0,75
Забайкальская ЭС	117	367	289	0,6
Иркутская ЭС	383	1212	822	0,52
Красноярская ЭС	308	962	980	0,77
Кузбасская ЭС	156	557	734	1,03
Новосибирская ЭС	97	380	278	0,58
Омская ЭС	77	247	248	0,77
Томская ЭС	64	213	242	0,87
Хакасская ЭС	84	259	181	0,53
Итог (ОЭС Сибири)	1459	4831	4246	0,68
Итог (ОЭС Урала)	203	660	1059	1,22
Итог (Казахстан)	202	607	461	0,57

K_H - коэффициент наблюдаемости

$$K_H = \frac{n_{ТИ}}{n_{уз.} + n_{ветв.}}$$

$n_{ТИ}$ – количество телеизмерений

$n_{уз.}$ – количество узлов в энергосистеме

$n_{ветв.}$ – количество ветвей в энергосистеме

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАБЛЮДАЕМОСТИ НА НАДЕЖНОСТЬ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ

Таблица 2 – Расположение ТМ с высокой вероятностью НОС

Энергосистема	Количество ТИ с указанной вероятностью НОС, шт					Кол-во ТИ	Доля ТИ с высокой вероятностью НОС	K _н
	Исходные файлы							
Вероятность НОС, %	>20	19	18	17	16			
Итог (Казахстан)	27	8	4	5	3	461	0,102	0,57
Алтайская ЭС	5	2	4	5	6	192	0,125	0,44
Бурятская ЭС	7	4	10	6	8	280	0,125	0,75
Забайкальская ЭС	9	4	7	5	6	289	0,107	0,6
Иркутская ЭС	17	20	25	20	26	822	0,131	0,52
Красноярская ЭС	19	10	13	17	28	980	0,088	0,77
Кузбасская ЭС	13	8	13	17	19	734	0,095	1,03
Новосибирская ЭС	9	6	6	8	6	278	0,126	0,58
Омская ЭС	4	10	1	6	5	248	0,105	0,77
Томская ЭС	8	6	4	2	3	242	0,095	0,87
Хакасская ЭС	4	2	6	9	4	181	0,138	0,53
Итог (ОЭС Сибири)	95	66	83	89	105	4246	0,103	0,68
Итог (ОЭС Урала)	31	25	21	11	8	1059	0,091	1,22

С повышением наблюдаемости энергосистем доля ТИ с высокой вероятностью неуспешного ОС снижается

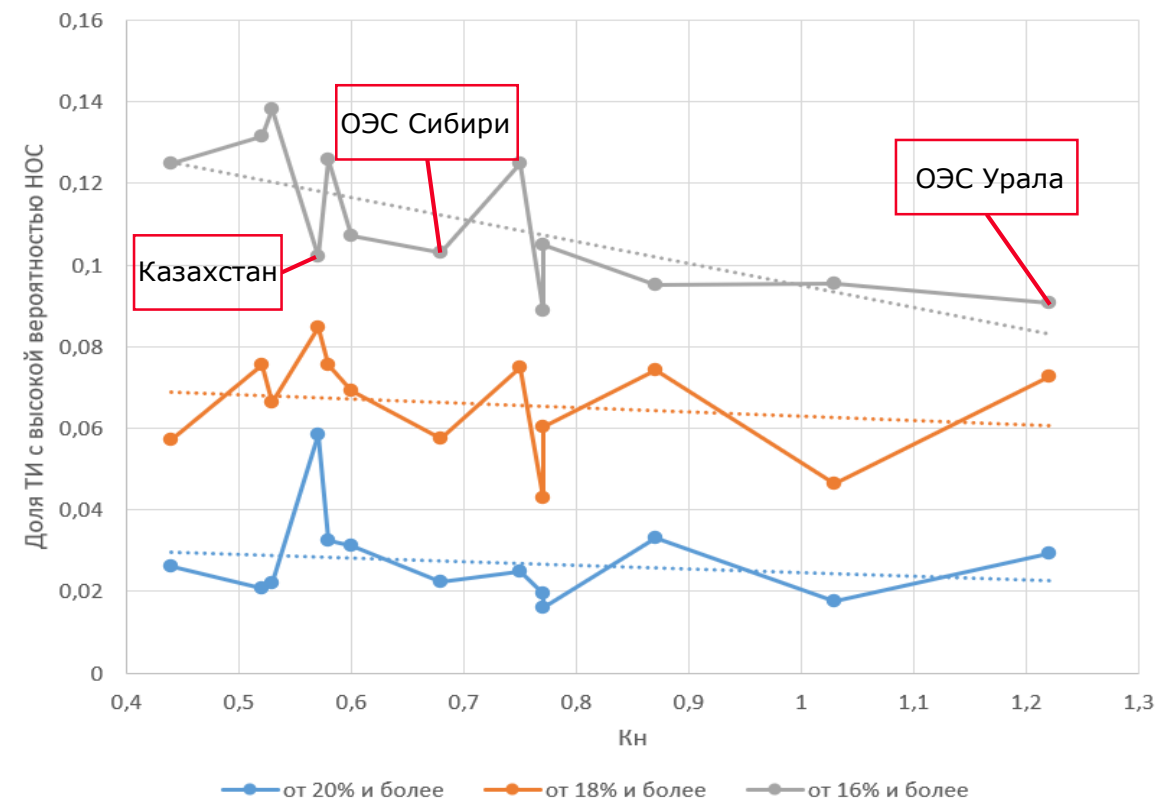
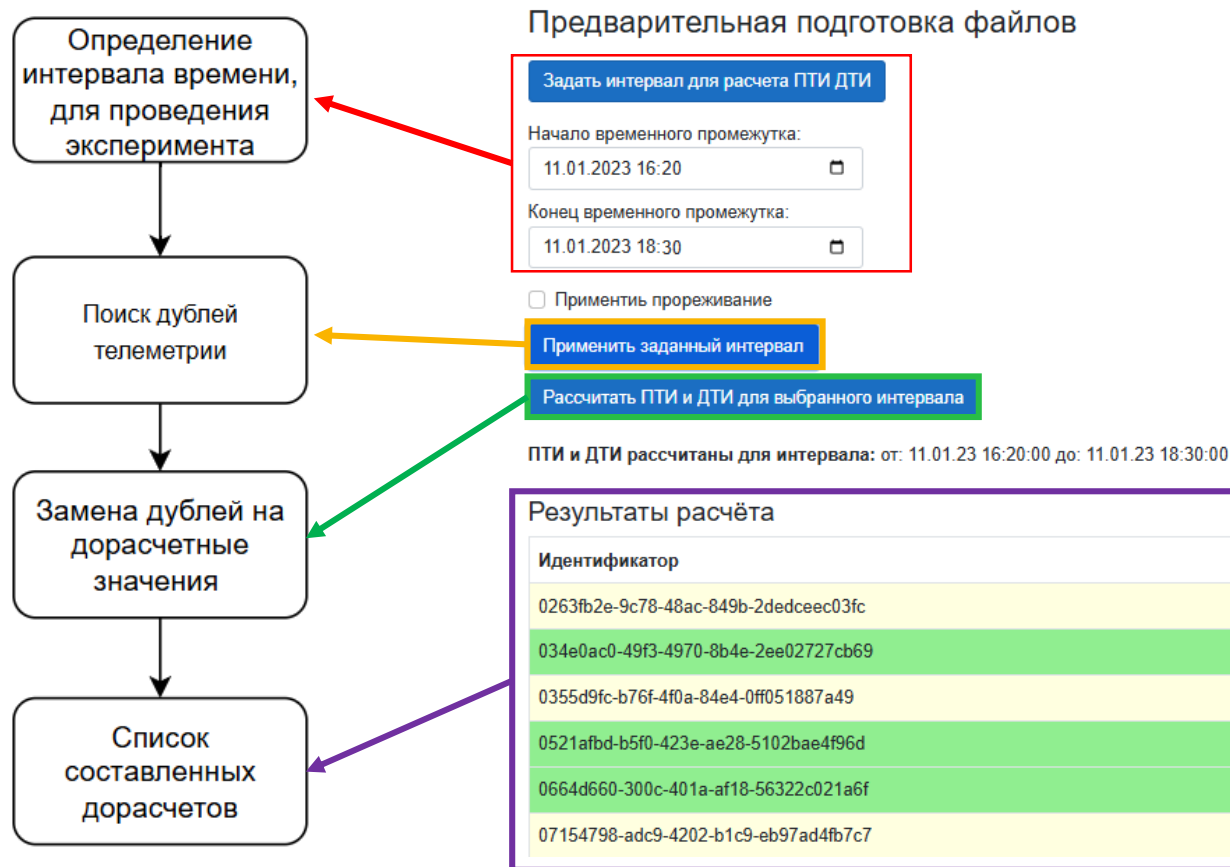


Рисунок 3 – Распределение доли ТИ с высокой вероятностью НОС в зависимости от наблюдаемости энергосистем при различных значениях вероятности неуспешного ОС

ОС – оценивание состояния
ТМ – телеметрия
НОС – неуспешное оценивание состояния

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ НАБЛЮДАЕМОСТИ ЗА СЧЕТ ВВОДА ПТИ И ДТИ НА ВЕРОЯТНОСТЬ НЕУСПЕШНОГО ОС



ПТИ – псевдо телеизмерения

ДТИ – дорасчетные телеизмерения

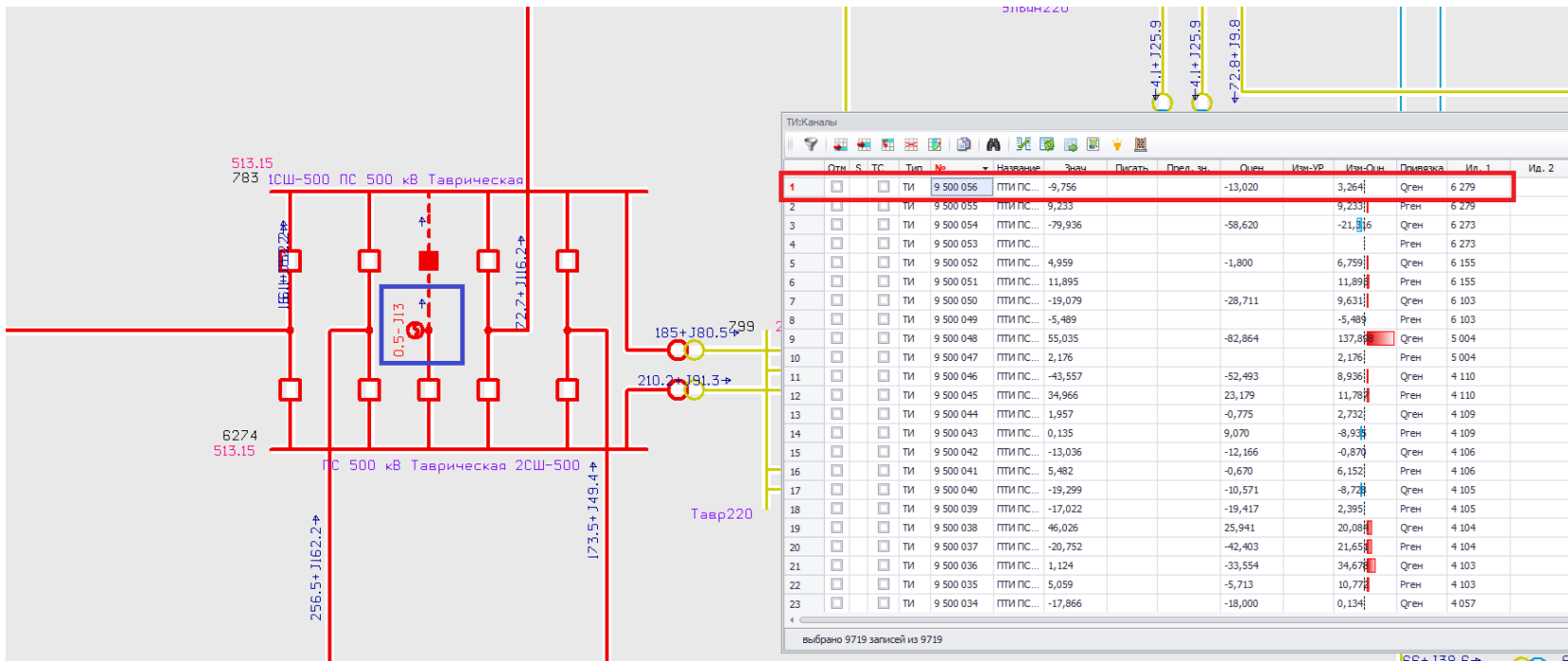
Рисунок 4 – Алгоритм создания ПТИ и ДТИ

Рисунок 5 – Реализация создания ПТИ и ДТИ

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ НАБЛЮДАЕМОСТИ ЗА СЧЕТ ВВОДА ПТИ И ДТИ НА ВЕРОЯТНОСТЬ НЕУСПЕШНОГО ОС



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ



$$Q_{\text{ПТИ}} = -9,76 \text{ Мвар}$$

$$Q_{\text{расч.}} = -9,76 \text{ Мвар}$$

✓ ПТИ создано верно

Рисунок 6 – Определение корректности созданной ПТИ

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Ген.р.Тавр.}} &= Q_{\text{Авр.-Тавр.}} + Q_{\text{Восх.-Тавр.}} + Q_{\text{Экиб.-Тавр.}} + Q_{\text{Ирт.-Тавр.}} + Q_{\text{Тавр.Т-1}} + Q_{\text{Тавр.Т-2}} = \\
 &= -116,2 + 104,3 - 156,5 - 42,1 + 104,1 - 96,7 = -9,76 \text{ Мвар.}
 \end{aligned}$$

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ НАБЛЮДАЕМОСТИ ЗА СЧЕТ ВВОДА ПТИ И ДТИ НА ВЕРОЯТНОСТЬ НЕУСПЕШНОГО ОС

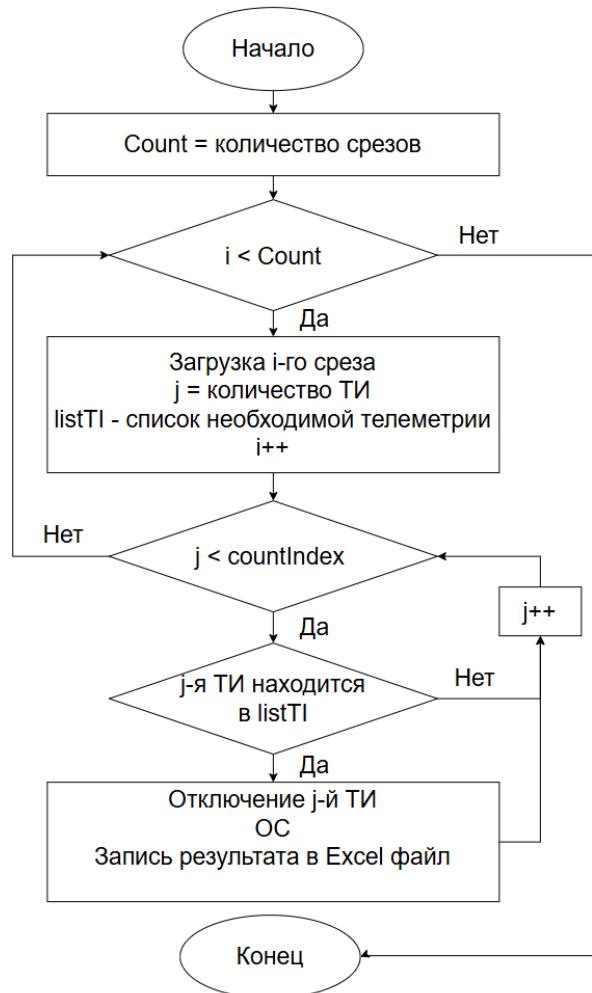


Рисунок 7 – Алгоритм скрипта по единичному отключению ТИ

Таблица 3 – Результат скрипта по единичному отключению ТИ

Номер ТМ	Факт неуспешного ОС при потере ТИ в файле трассировки*							Вероятность НОС
	16_20_58	16_22_16	16_23_38	...	18_18_55	18_20_19	18_21_43	
2093004			1	...	1	1	1	76
35936	1	1	1	...			1	58
24129				...			1	27
1137004		1	1	...			1	26
5646				...			1	26
...
10404				...	1		1	9
15341			1	...			1	8
9379				...			1	8
18025		1		...	1		1	8
14949		1		...			1	7

*Примечание: * 1 - неуспешное ОС.*

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ НАБЛЮДАЕМОСТИ ЗА СЧЕТ ВВОДА ПТИ И ДТИ НА ВЕРОЯТНОСТЬ НЕУСПЕШНОГО ОС

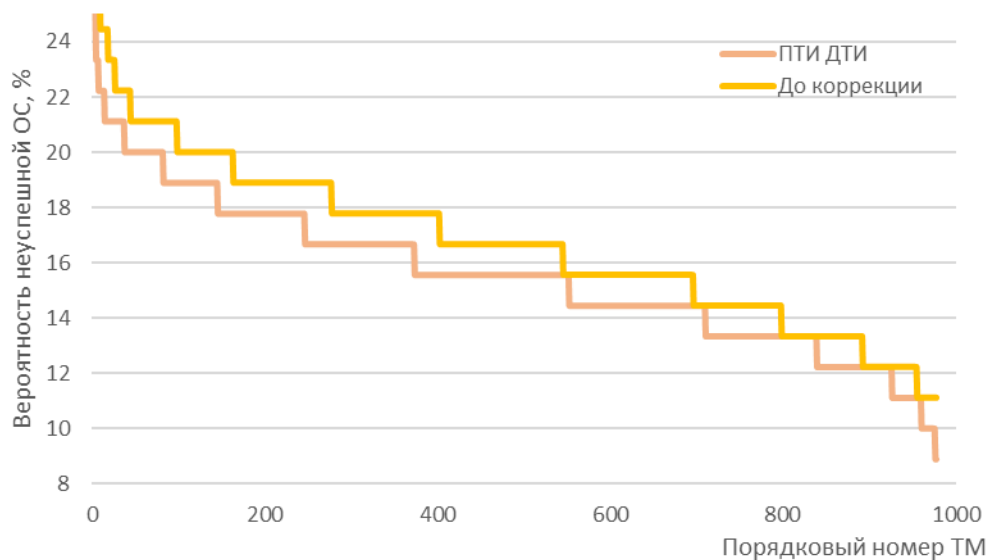


Рисунок 8 – Результат проведения эксперимента по единичному отключению телеметрии

Внесение в РМ СМЗУ ПТИ и ДТИ снижает вероятность неуспешного ОС в среднем на 1%

$$C = \frac{\sum(q_i^{10} \cdot n_{i\text{до}}) - \sum(q_i^{10} \cdot n_{i\text{после}})}{10^{13}}$$

q_i – значение вероятности неуспешного ОС

n_i – количество ТИ с заданной вероятностью неуспешного ОС

Таблица 4 – Распределение вероятностей НОС в энергосистемах до и после создания ПТИ и ДТИ в РМ СМЗУ

Энергосистема	Количество ТИ с указанной вероятностью НОС, шт											Количество созданных ПТИ и ДТИ, шт	Оценка тенденции изменения надежности ОС		
	Исходные файлы						Файлы с ПТИ/ДТИ						Критерий С	Заключение	
	>20	19	18	17	16	$K_{в.у.}$	>20	19	18	17	16				$K_{в.у.}$
Итого (Казахстан)	27	8	4	5	3	0,23	7	8	10	8	16	0,24	3	16,3	Позитивная
Алтайская ЭС	5	2	4	7	6	0,25	1	2	7	6	5	0,21	0	3,3	Позитивная
Бурятская ЭС	7	4	10	6	8	0,46	6	4	4	9	9	0,41	2	2,45	Позитивная
Забайкальская ЭС	9	4	7	5	6	0,26	6	3	5	2	8	0,21	0	4,78	Позитивная
Иркутская ЭС	17	20	25	20	26	0,28	10	7	18	19	26	0,2	12	17,89	Позитивная
Красноярская ЭС	19	10	13	17	28	0,28	13	6	15	18	25	0,25	6	8,01	Позитивная
Кузбасская ЭС	13	8	13	17	19	0,45	11	6	9	19	16	0,39	0	4,62	Позитивная
Новосибирская ЭС	9	6	6	8	6	0,36	5	6	6	5	10	0,32	4	4,26	Позитивная
Омская ЭС	4	10	1	6	5	0,34	2	3	6	5	10	0,34	2	4,2	Позитивная
Томская ЭС	8	6	4	2	3	0,36	2	2	1	7	4	0,25	0	8,55	Позитивная
Хакасская ЭС	4	2	6	9	4	0,3	6	4	1	4	3	0,21	0	-0,37	Условно негативная
Итого (ОЭС Сибири)	95	66	83	89	105	0,3	62	43	72	79	116	0,25	26	52,62	Позитивная
Итого (ОЭС Урала)	31	25	21	11	8	0,47	20	15	17	30	27	0,54	26	12,9	Позитивная

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ НАБЛЮДАЕМОСТИ ЗА СЧЕТ ВВОДА ПТИ И ДТИ НА ВЕРОЯТНОСТЬ НЕУСПЕШНОГО ОС

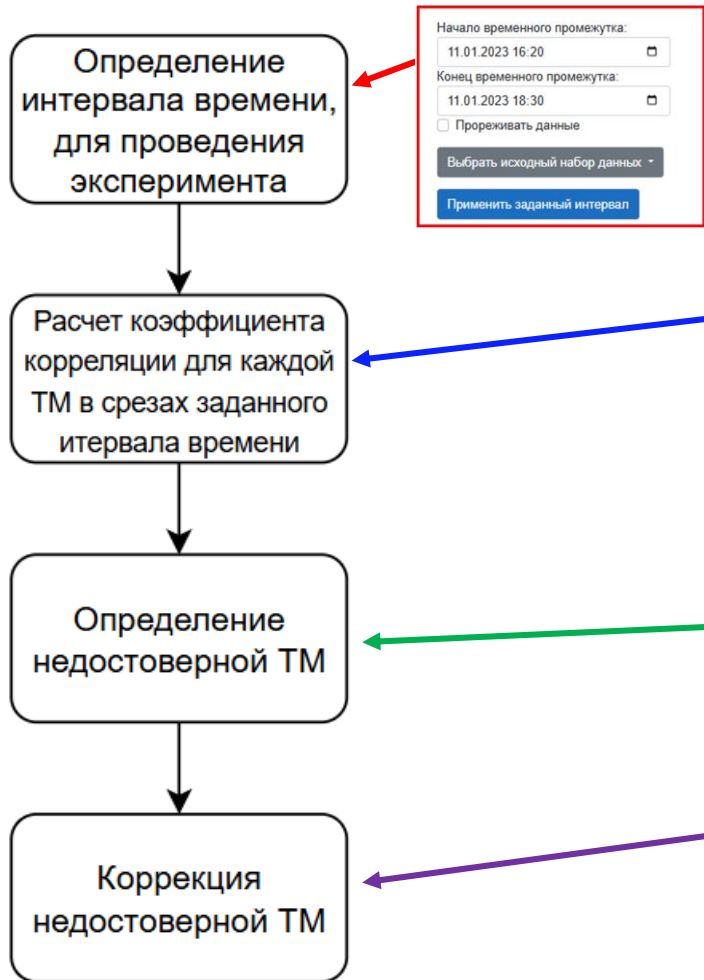


Таблица 5 – Распределение параметров ТИ с высокой вероятностью НОС в энергосистемах до и после создания ПТИ и ДТИ в РМ СМЗУ

Энергосистема	K _н	Количество ТИ с указанным типом, шт																								
		Исходные файлы								Файлы с ПТИ/ДТИ								Разность до и после создания ПТИ/ДТИ								
		U	Рп	Qп	Рг	Qг	Рн	Qн	Tg	U	Рп	Qп	Рг	Qг	Рн	Qн	Tg	U	Рп	Qп	Рг	Qг	Рн	Qн	Tg	
Итог (Казахстан)	0,57	17	20	13	2	0	0	0	0	16	20	11	2	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	-1	0	
Алтайская ЭС	0,44	6	12	9	0	0	0	0	0	5	7	10	0	0	0	0	0	1	5	-1	0	0	0	0	0	
Бурятская ЭС	0,75	5	21	11	0	0	0	0	0	2	18	12	0	0	0	0	0	3	3	-1	0	0	0	0	0	
Забайкальская ЭС	0,6	3	12	13	0	0	2	0	0	3	8	11	0	0	2	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	
Иркутская ЭС	0,52	20	32	41	4	5	7	1	0	17	18	31	4	5	3	1	0	3	14	10	0	0	4	0	0	
Красноярская ЭС	0,77	15	35	24	4	8	5	3	2	12	26	19	5	6	5	3	2	3	9	5	-1	2	0	0	0	
Кузбасская ЭС	1,03	6	31	24	3	5	3	2	0	4	24	21	1	7	2	2	0	2	7	3	2	-2	1	0	0	
Новосибирская ЭС	0,58	7	20	14	0	0	0	0	0	5	16	10	0	1	0	0	0	2	4	4	0	-1	0	0	0	
Омская ЭС	0,77	7	10	8	0	0	0	0	0	6	10	10	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	
Томская ЭС	0,87	3	5	11	0	0	1	0	0	1	6	9	0	0	0	0	0	2	-1	2	0	0	1	0	0	
Хакасская ЭС	0,53	8	13	21	0	0	3	0	0	3	5	8	0	0	2	0	0	5	8	13	0	0	1	0	0	
Итог (ОЭС Сибири)	0,68	80	191	176	11	18	21	6	2	58	138	141	10	19	14	6	2	22	53	35	3	-1	7	0	0	
Итог (ОЭС Урала)	1,22	18	54	50	2	3	0	4	0	15	45	38	2	3	2	5	0	3	9	12	0	0	-2	-1	0	
Сумма		115	265	239	15	21	21	10	2	89	203	190	14	22	16	12	2	26	62	49	1	-1	5	-2	0	

Больше всего ТМ с высокой вероятностью НОС является ТМ перетоков активной и реактивной мощности

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕДОСТОВЕРНОЙ ТМ НА НАДЕЖНОСТЬ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ



Начало временного промежутка: 11.01.2023 16:20

Конец временного промежутка: 11.01.2023 18:30

Прореживать данные

Выбрать исходный набор данных

Применить заданный интервал

Поиск некорректной ТМ

Скрыть выбор времени Рассчитать корреляцию Остановить расчет

Показать график корреляции

Расчет корреляции для входного набора данных проведен для интервала: от: 11.01.23 16:09:00 до: 11.01.23 16:20:00

Входные данные							
Идентификатор	Индекс ТМ	Узел	Коэффициент корреляции	Статус	Максимальное значение лагранжиана	Среднее значение лагранжиана	Действия по достоверизации
fc7af8a-a2c2-41f2-8a09-b647525845c8	20887	3560	-0,9045	Недоуверная	18,5076	17,9314	Выберите действие
f4ec20a3-f98-4408-a650-77af33a872af	55760	4218	-0,9037	Недоуверная	1,1549	0,5867	Выберите действие
70e8b9fc-f4b9-468e-956d-04ff70a8c5ca	7247	472	-0,9033	Недоуверная	1,2468	0,8434	Выберите действие
d0aa4bea-2e57-4295-aa16-623f769a0d2e	6343004	6343	-0,8985	Недоуверная	0,7806	0,6694	Выберите действие
7c395483-233b-463b-b812-aa4c627ccfbb	19867	55	-0,8939	Недоуверная	0,4699	0,2433	Выберите действие
cb52c2e2-371d-4ca4-8ca8-ca45821eaf10	96004	96	-0,8848	Недоуверная	-3092,0822	-219,5414	Выберите действие
9af06a89-b29d-4ed1-a38f-c0f05f675962	18010	7	-0,8694	Недоуверная	-18,9581	0,284	Выберите действие
85bfdcf0-a930-4c20-b8a1-b11572c32321	17010	7	-0,8694	Недоуверная	-19,1839	0,2642	Выберите действие Изменить знак ТМ Создать дорасчет Исключить из ОС
be4367ee-10f8-46db-866d-32db4195a8fe	7251	427	-0,8688	Недоуверная	-3,5317	-3,4937	Создать дорасчет Исключить из ОС
331099f6-0ced-4eab-a9e1-9df6c9e62b9f	30621	3084	-0,8685	Недоуверная	-126,6763	-24,5826	Выберите действие
4785d63b-06a1-4be6-b902-a912ada56d8e	23257	3148	-0,8662	Недоуверная	-20,5422	-5,829	Выберите действие
8bf49a6b-4ca7-40f8-8971-1760455a79aa	18769	2152	-0,8585	Недоуверная	2,6595	2,2388	Выберите действие
d66f8748-79a8-4bbc-a2e0-19673507b015	3010011	4038	-0,8566	Недоуверная	-11,0705	-10,3472	Выберите действие
3900528d-91eb-486c-aea1-b06356cc3634	18010	7	-0,8551	Недоуверная	-3,3911	-2,342	Выберите действие
b8b60163-e032-4e52-a79e-00b9c0cf3ca2	17010	7	-0,8551	Недоуверная	-3,4246	-2,3729	Выберите действие

Рисунок 9 – Алгоритм выполнения коррекции недоуверной ТМ

Рисунок 10 – Реализация определения недоуверной ТМ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕДОСТОВЕРНОЙ ТМ НА НАДЕЖНОСТЬ ОС

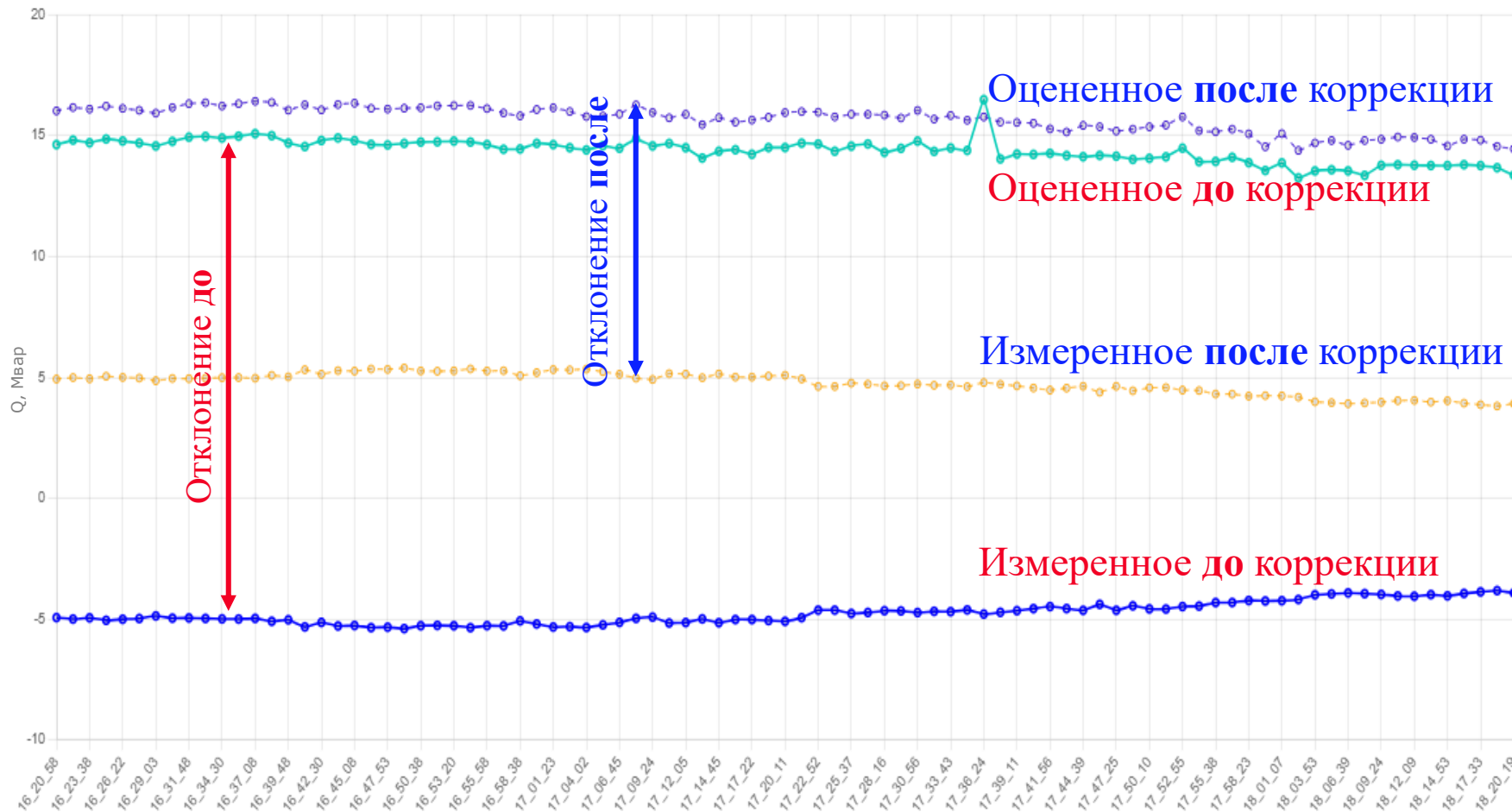
Таблица 6 – Перечень скорректированных ТИ

Индекс ТМ	Узел	Действие
-23958	1156	Изменить знак ТМ
-9853	961	Изменить знак ТМ
-1791	37	Изменить знак ТМ
7245	480	Изменить знак ТМ
7250	427	Изменить знак ТМ
11560	471	Изменить знак ТМ
17010	7	Изменить знак ТМ
23257	3148	Изменить знак ТМ
51074	1059	Изменить знак ТМ
51075	1059	Изменить знак ТМ
2983009	3134	Изменить знак ТМ
3010011	4038	Изменить знак ТМ

Возможные методы коррекции:

- Изменение знака ТМ
- Использование дорасчета
- Исключение ТМ из ОС

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕДОСТОВЕРНОЙ ТМ НА НАДЕЖНОСТЬ ОС



ТИ	-9853
Уном	220 кВ
Допустимое отклонение	15 Мвар
Отклонение до корр.	20 Мвар
Отклонение после корр.	12 Мвар

Рисунок 11 – Графики значений измеренной и оцененной ТМ до и после коррекции

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕДОСТОВЕРНОЙ ТМ НА НАДЕЖНОСТЬ ОС

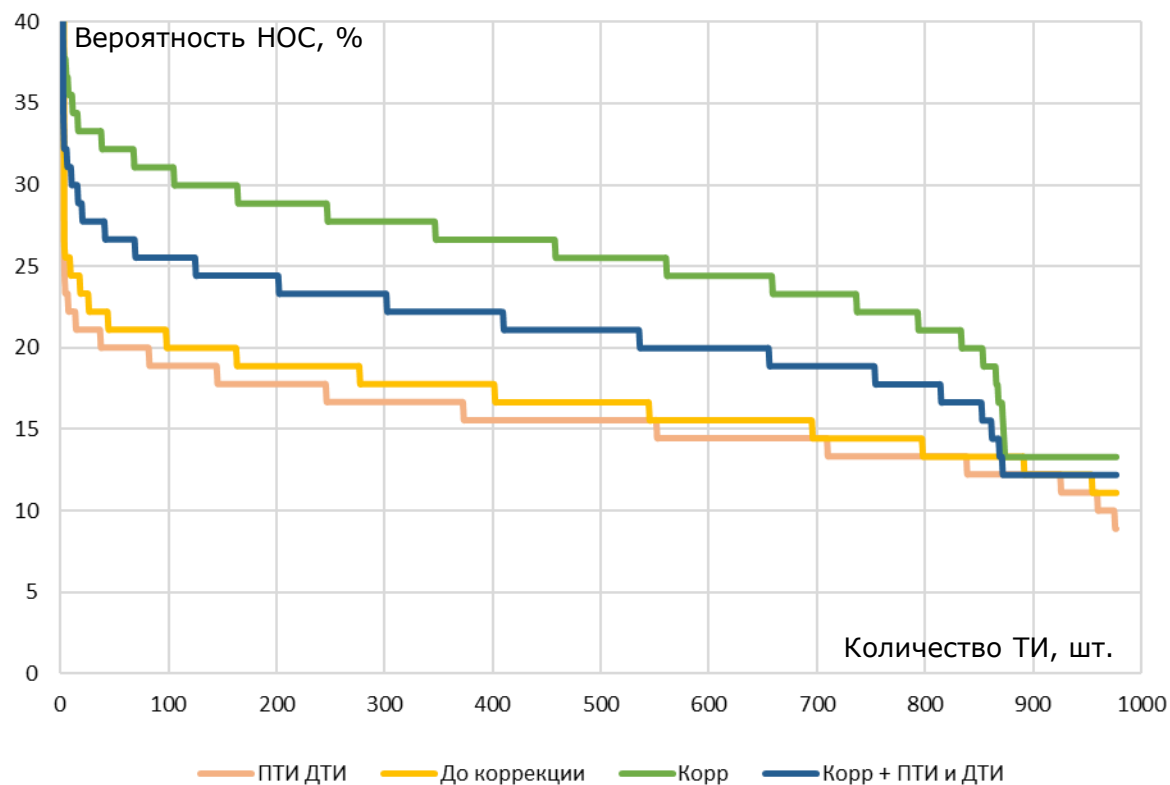


Рисунок 12 – График вероятности неуспешного ОС при отключении единичной ТМ

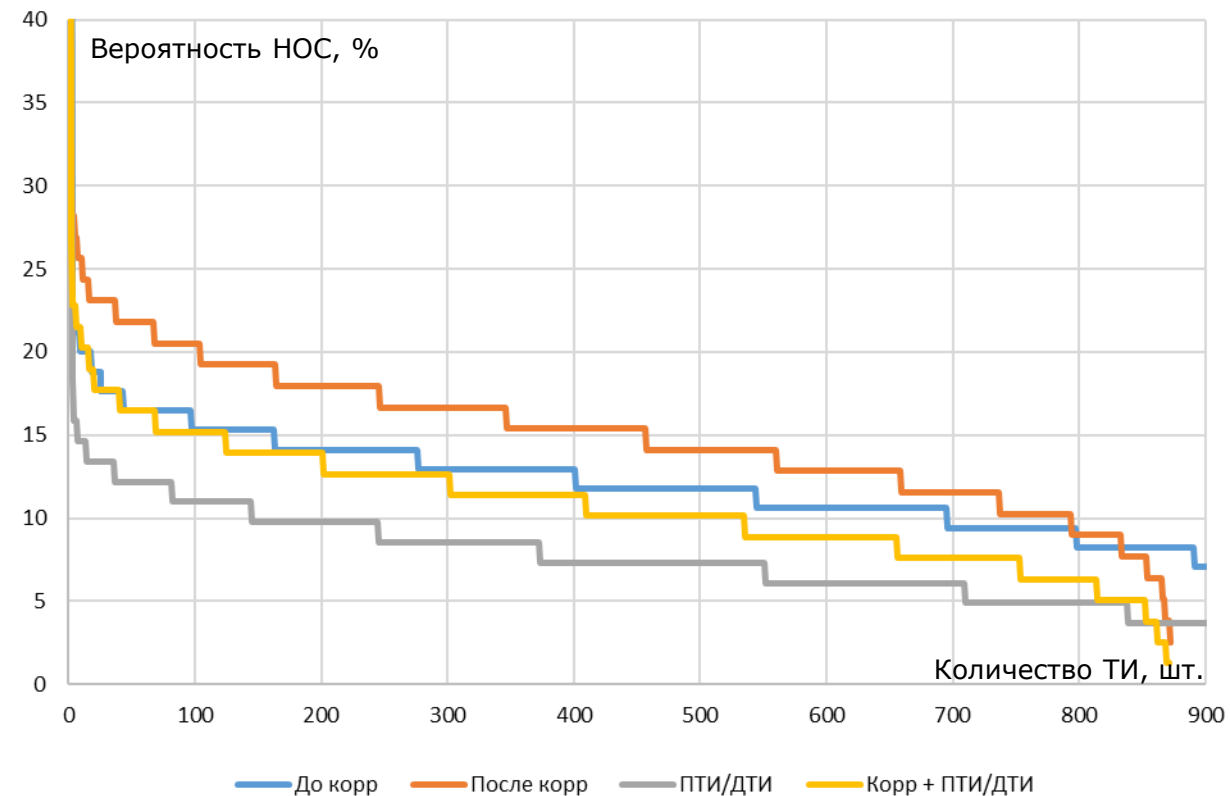


Рисунок 13 – График вероятности неуспешного ОС при отключении единичной ТМ, без учета срезов, которые не оцениваются изначально

Коррекция недостоверной ТМ увеличивает вероятность НОС в среднем на 12%

Коррекция недостоверной ТМ с совместным использованием ПТИ/ДТИ без учета срезов, которые не оцениваются изначально, снижает вероятность НОС в среднем на 2%

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕДОСТОВЕРНОЙ ТМ НА НАДЕЖНОСТЬ ОС



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

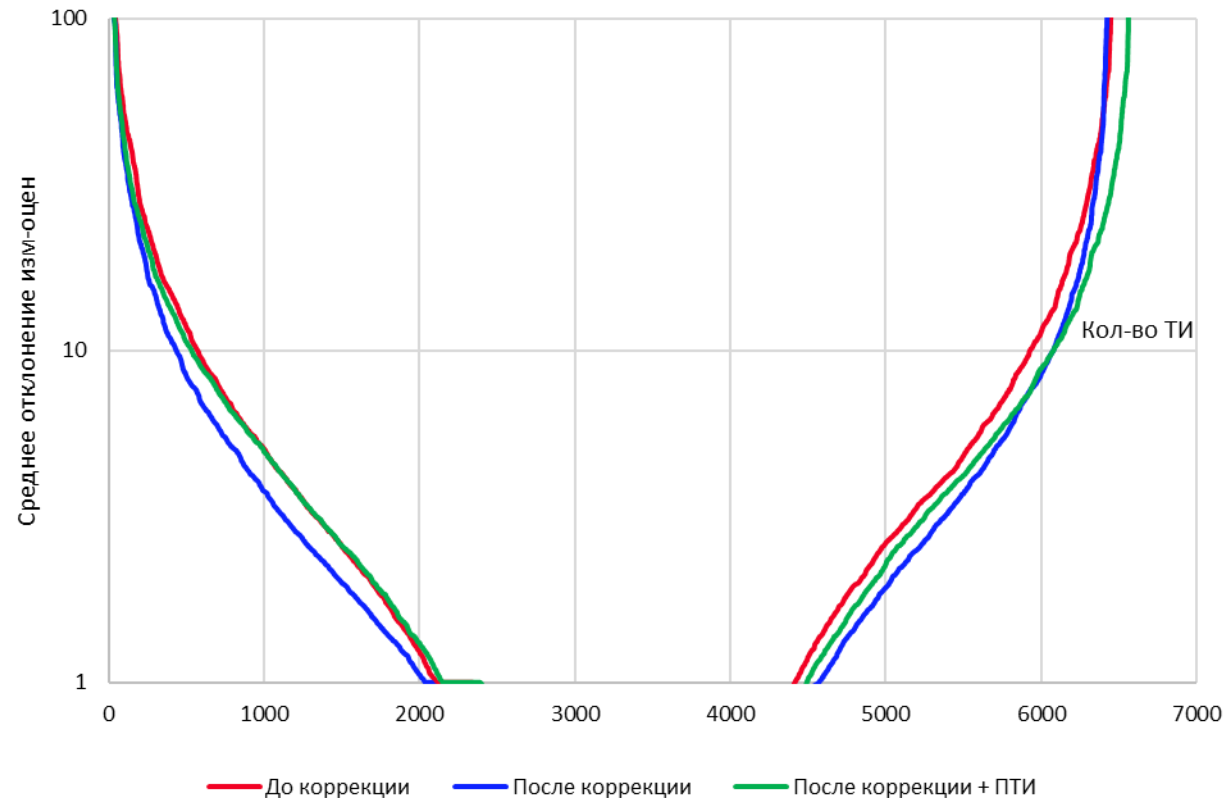


Рисунок 14 – Среднее отклонение измеренного значения от оцененного

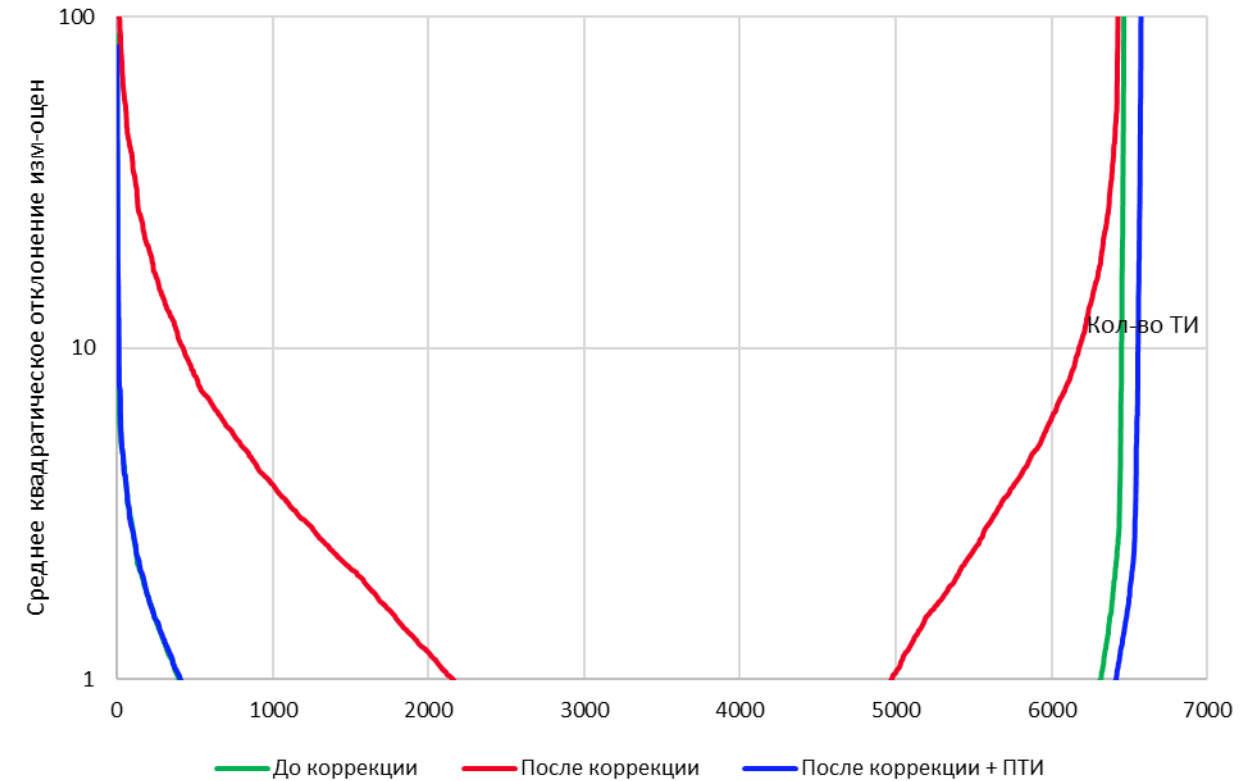
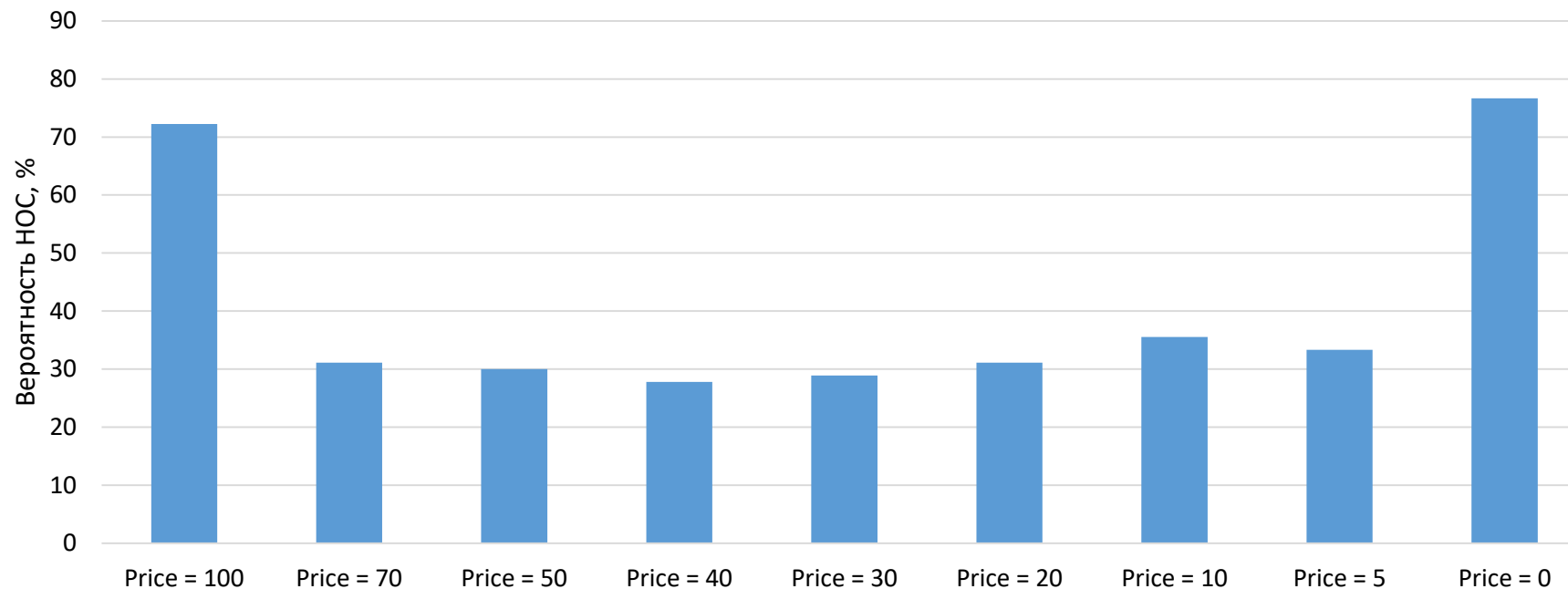


Рисунок 15 – Среднеквадратическое отклонение измеренного значения от оцененного

Коррекция ТМ Увеличивает среднеквадратическое отклонение измеренного значения от оцененного
Среднее отклонение оцененного значение ТМ от измеренного изменяется незначительно

ПОВЫШЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ УСПЕШНОГО ОС ПРИ ИСКЛЮЧЕНИИ ТМ ИЗ ОС



Приведенная гистограмма была получена при анализе ТИ Рнаг на ПС БоАЗ, исключение из ОС которой приводит к 72% вероятности НОС

Начальное значение весовых коэффициентов price1 и price2 было равным 100

Рисунок 16 – Гистограмма распределения вероятности НОС при различных весовых коэффициентах участия ТМ в ОС

Снижение весовых коэффициентов участия ТМ в ОС, вместо исключения ТМ из ОС может снизить вероятность НОС на 44%

ПОВЫШЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ УСПЕШНОГО ОС ПРИ ИСКЛЮЧЕНИИ ТМ ИЗ ОС



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

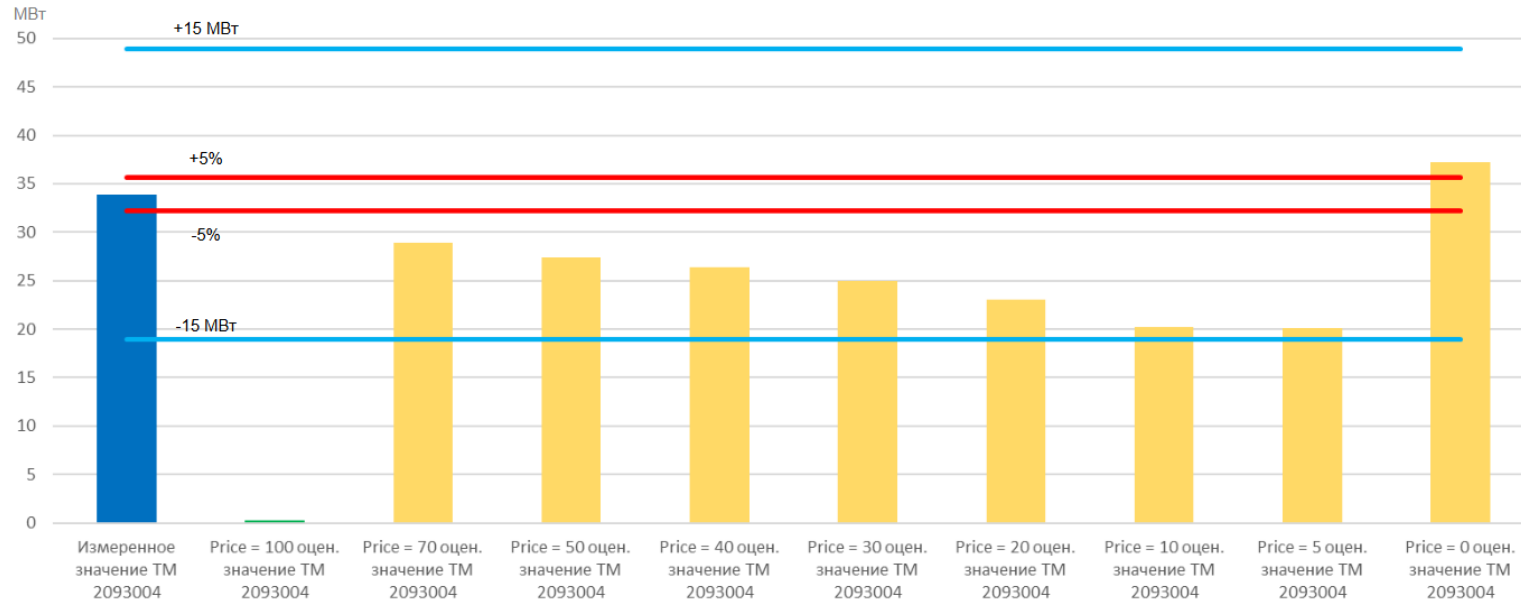


Рисунок 17 – Гистограмма распределения значений ТМ 2093004 при различных весовых коэффициентах участия ТМ в ОС

Таблица 7 – Перечень отслеживаемой ТМ

Номер ТМ	Тип ТМ	Уном, кВ	Допустимое отклонение
2093004	Рнаг	220	5% или 15 МВт
22242	Рнач	220	5% или 15 МВт
22243	Qнач	220	5% или 15 Мвар
22192	Рнач	220	5% или 15 МВт
22193	Qнач	220	5% или 15 Мвар

ПОВЫШЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ УСПЕШНОГО ОС ПРИ ИСКЛЮЧЕНИИ ТМ ИЗ ОС

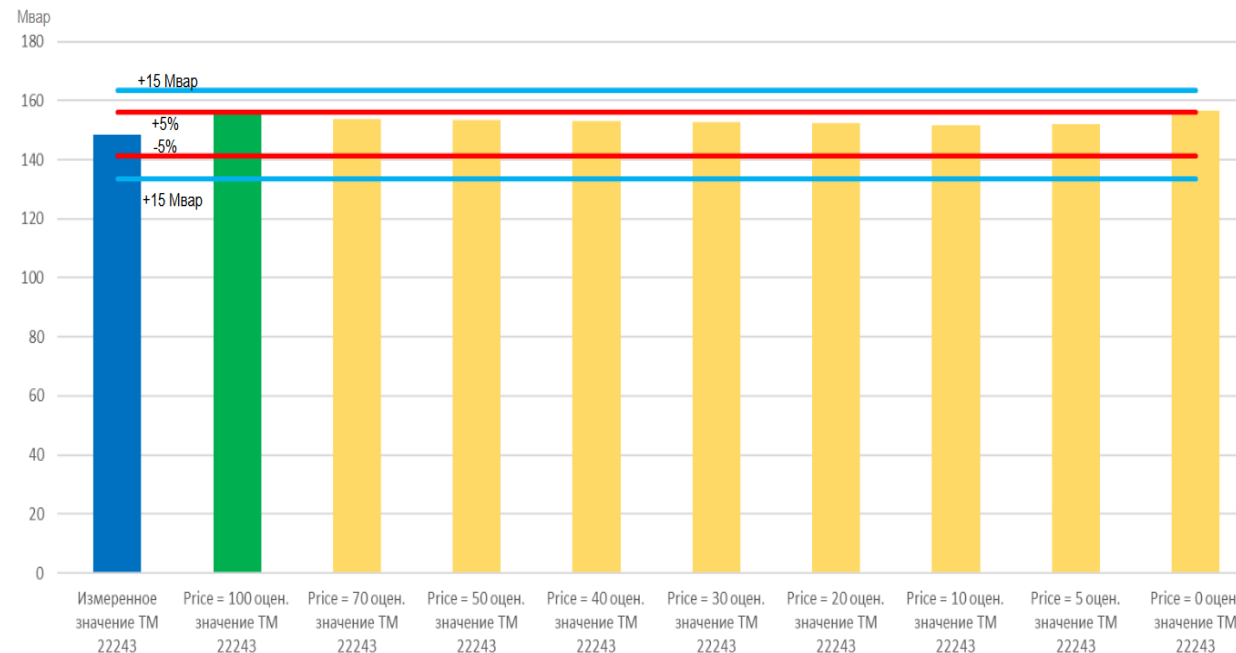
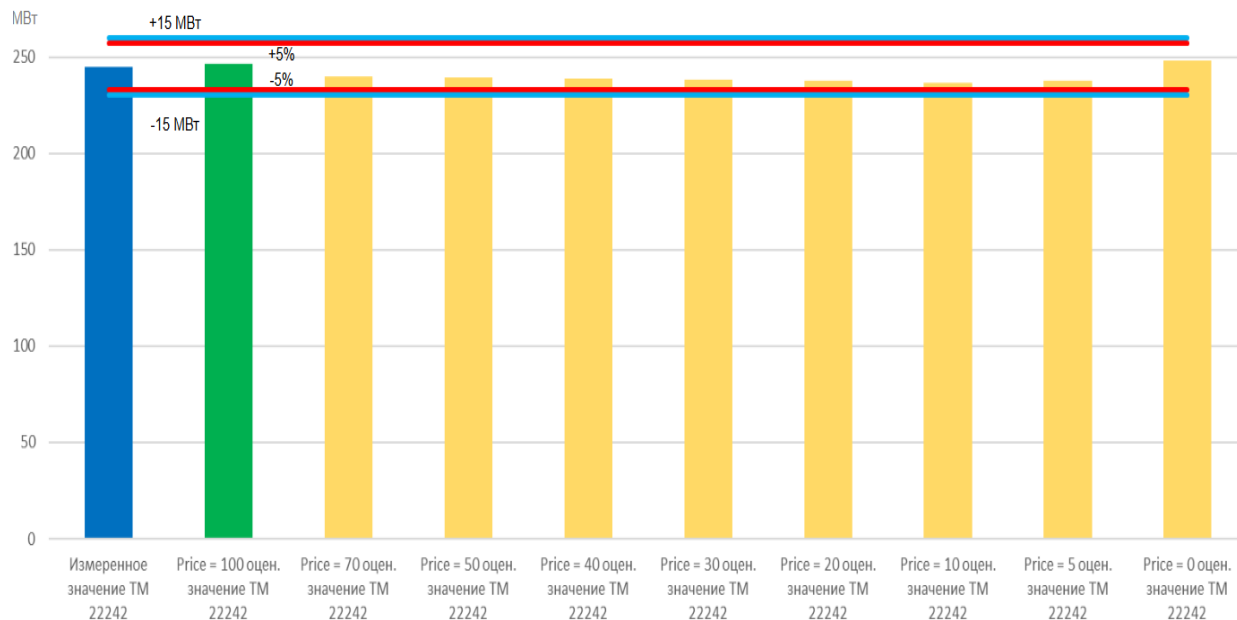


Рисунок 18 – Гистограмма распределения значений ТМ 22242 при различных весовых коэффициентах участия ТМ в ОС

Рисунок 19 – Гистограмма распределения значений ТМ 22243 при различных весовых коэффициентах участия ТМ в ОС

При изменении Price у ТМ 2093004, отклонения измеренных значений от оцененных ТМ на слайде находятся в пределах допустимых значений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты:

- Наибольшая концентрация ТИ, потеря которых приводит к неуспешному ОС наблюдается в Иркутской, Новосибирской и Хакасской ЭС.
- Повышение наблюдаемости приводит к росту надежности ОС СМЗУ. Коррекция ТИ и ошибок модели не привела к росту надежности ОС СМЗУ, но существенно повысила точность.
- Использование ручного ввода ТИ взамен потерянного ТИ вместе со снижением коэффициента влияния позволяет повысить надежность ОС СМЗУ для критической телеметрии.

Практическая значимость:

- Рекомендации по развитию и поддержанию модели СМЗУ, вводу дополнительной телеметрии, возможно замена дорасчетов, повышение надежности ОС.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Влияние особенностей модели электроэнергетической системы на надежность функционирования СМЗУ

Выполнил: студент гр. 5АМЗРПИШ Кирякин Артём Андреевич

Руководитель: к.т.н., доцент, Васильев Алексей Сергеевич

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 9 – Распределение вероятностей НОС в энергосистемах до и после коррекции ТИ

Энергосистема	Количество ТИ с указанной вероятностью НОС, шт																		Оценка тенденции изменения надежности ОС		
	Исходные файлы						После коррекции						После коррекции + ПТИ и ДТИ								
Вероятность НОС, %	>20	19	18	17	16	K _{в.у.}	>20	19	18	17	16	K _{в.у.}	>20	19	18	17	16	K _{в.у.}	Критерий С		Оценка
	Коррекция	Коррекция + исп. ПТИ ДТИ																			
Итог (Казахстан)	27	8	4	5	3	0,23	76	0	0	0	0	0,37	58	9	5	4	0	0,37	-42,5	-32,18	Н
Алтайская ЭС	5	2	4	7	6	0,25	35	0	0	0	0	0,36	25	6	2	2	0	0,36	-25,9	-20,55	Н
Бурятская ЭС	7	4	10	6	8	0,46	50	0	0	0	0	0,65	41	2	3	3	0	0,64	-35,9	-29,6	Н
Забайкальская ЭС	9	4	7	5	6	0,26	44	0	0	1	0	0,38	35	4	3	2	0	0,38	-29,4	-23,1	Н
Иркутская ЭС	17	20	25	20	26	0,28	118	2	0	1	0	0,32	93	11	9	5	2	0,31	-76,72	-60,93	Н
Красноярская ЭС	19	10	13	17	28	0,28	134	4	0	1	0	0,45	102	15	13	3	2	0,44	-103,1	-82,37	Н
Кузбасская ЭС	13	8	13	17	19	0,45	96	1	1	1	1	0,64	77	10	3	8	2	0,64	-71,2	-59,5	Н
Новосибирская ЭС	9	6	6	8	6	0,36	152	2	0	0	0	1,59	43	4	7	3	0	0,59	-139,56	-32,27	Н
Омская ЭС	4	10	1	6	5	0,34	37	0	0	0	0	0,48	29	4	0	4	0	0,48	-25,5	-20,6	Н
Томская ЭС	8	6	4	2	3	0,36	24	1	0	0	0	0,39	19	4	1	1	1	0,41	-11,15	-8,54	Н
Хакасская ЭС	4	2	6	9	4	0,3	32	0	1	0	0	0,39	23	4	4	1	0	0,38	-23,4	-18,11	Н
Итог (ОЭС Сибири)	95	66	83	89	105	0,3	722	10	2	4	1	0,5	596	62	38	29	7	0,5	-550	-365,34	Н
Итог (ОЭС Урала)	31	25	21	11	8	0,47	124	2	0	0	0	0,62	92	20	8	1	2	0,6	-70,53	-54	Н

Критерий тенденции изменения надежности ОС:

$$C = \frac{\sum(q_i^{10} \cdot n_{i\text{до}}) - \sum(q_i^{10} \cdot n_{i\text{после}})}{10^{13}}$$

q_i – значение вероятности

n_i – количество ТИ