

ВЛИЯНИЕ СХЕМНО-РЕЖИМНОЙ СИТУАЦИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ НА НАДЕЖНОСТЬ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СМЗУ

Выполнила: студентка группы О-5КМ31, Тайдонова Виктория Михайловна
Руководитель: к.т.н., доцент, Васильев Алексей Сергеевич

08.10.2025

Проблема

Поступление заявки на работу с системой телемеханики

Составление списка номеров ТИ и ТС, которые будут временно потеряны

Выбор файлов трассировки СМЗУ с ближайшей схемно-режимной ситуацией

Определение надежности СМЗУ при потере ТМ

Принятие решения о предварительном переходе на ДП ПУР по критерию спрогнозированной надежности СМЗУ

Актуальность:

Сбои в оценивании состояния (ОС) СМЗУ могут привести к снижению надежности ЭС и ухудшению ее экономических показателей.

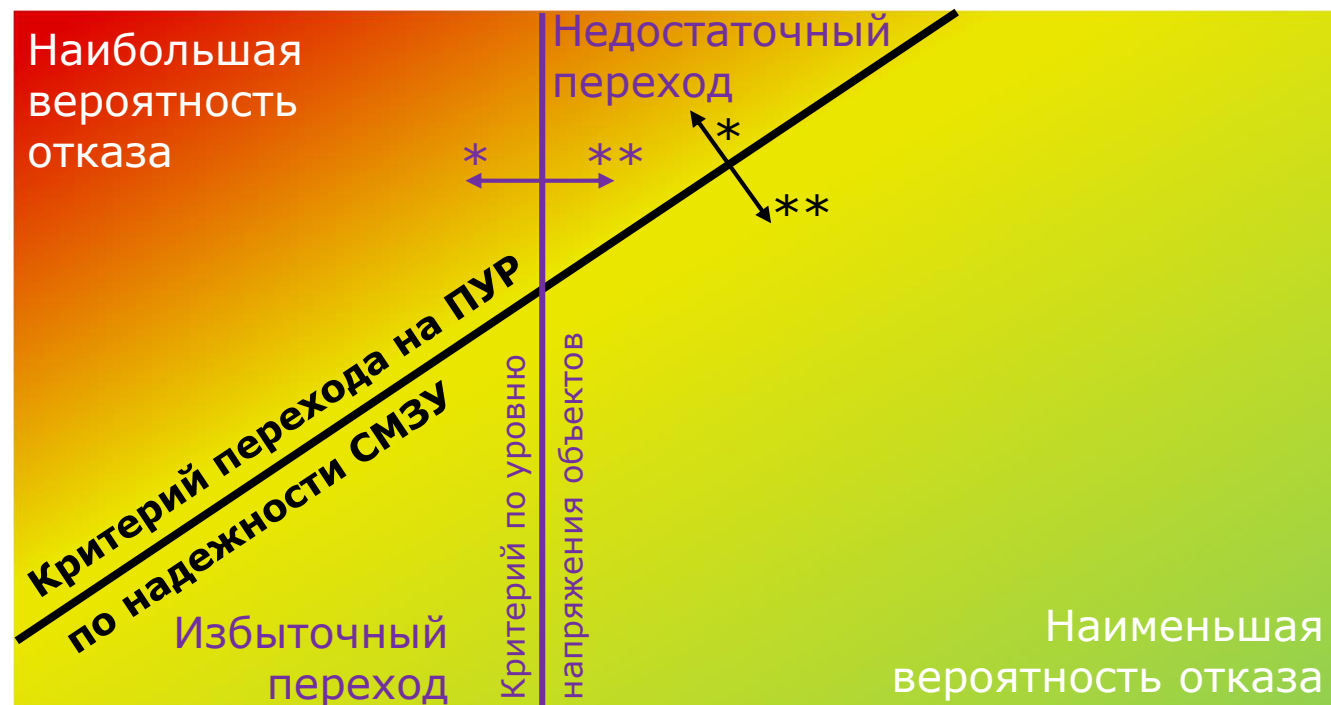


Рисунок 1 – Совокупность случаев возможной потери ТИ

* - Предварительный переход на ДП ПУР

** - Переход на ДП ПУР по факту отказа СМЗУ



Цель исследования

Цель работы:

- Определить **влияние схемно-режимной ситуации на** вероятность неуспешного оценивания состояния (ОС) СМЗУ, а также обосновать критерии выбора срезов, для более точного прогнозирования **надежности СМЗУ при частичной потере ТМ**.
- Обосновать численное значение **вероятности неуспешного ОС для перехода на ДП ПУР**.

Задачи работы:

1. Обосновать критерий сложности ОС и его «облегченную версию» для формирования оценки сложности ОС СМЗУ для любого файла трассировки.
2. Провести анализ влияния перетоков на сложность ОС.
3. Оценить влияние эксплуатационного состояния элементов в энергосистеме на сложность ОС.
4. Синтезировать легко вычисляемый критерий для определения необходимости перехода на ДП ПУР по условию требуемой надежности на интервале времени проведения работ с системой телемеханики и связи на объектах энергетики.

Исходные данные

Таблица 1 – Исходные данные

№	Номер ТМ	Наименование ТМ	Успешность ОС при потере ТИ*:			Сумма НОС по ста срезам, шт
			07_11_30	...	09_32_15	
1	ТИ 2093004	Нагрузка неотключаемая БоАЗ Рнаг	0	...	1	72
2	ТИ 35936	Нагрузка отключаемая БоАЗ Рнаг	1	...	0	51
3	ТИ 55361	ПС 220 кВ 90 - Троицкая ГРЭС СШ 220 кВ Ркон	0	...	0	22
4	ТИ 19286	ПС 220 кВ Левобережная СШ 220 кВ - ПС 220 кВ Левобережная СШ 110 кВ Qкон	0	...	0	21
5	ТИ 33162	ПС 500 кВ Курчатовская СШ 24 кВ U	0	...	0	21
6	ТИ 48485	ПС 110 кВ Мариинск - ПС 110 кВ 3704 км, СШ2-110 Qнач	0	...	0	21
...
295	ТИ 40488	ПС 220 кВ НПС-7 - ПС 220 кВ НПС-8 Qнач	0	...	0	15
...
5593	ТИ 8147022	ПС 220 кВ Приуральская СШ 110 кВ Тg нагр	0	...	0	1
Количество неуспешных ОС в срезе			620	...	607	

Примечание: * 1 - неуспешное ОС, 0 – успешное ОС.

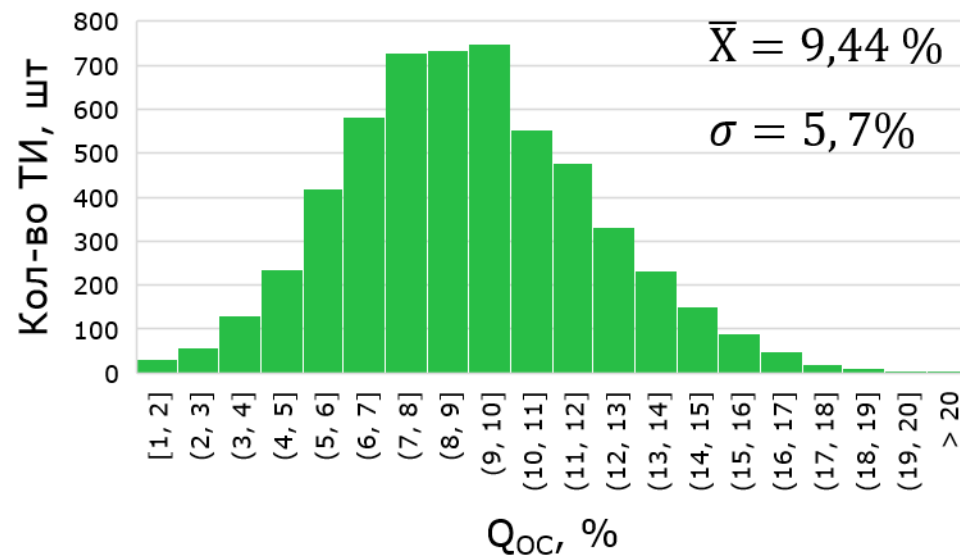


Рисунок 2 – Гистограмма распределения вероятности НОС при потере единичной ТИ

Таблица 2 – Вероятность отказа СМЗУ на сервере с наименьшей длительностью расчетного цикла

№ пп.	Вероятность НОС при отключении ТИ, %	Вероятность отказа СМЗУ на интервале 8 часов, %
1	15	0,0006
2	20	0,01
3	50	8
4	71	98



Отключение ТИ – возмущение, приводящее к повышению вероятности неуспешного ОС. Чем выше вероятность неуспешного ОС при одних и тех же возмущениях в срезах, тем сложнее данный набор телеметрической информации для процедуры оценивания состояния.

Таблица 3 – Сложность оценивания состояния СМЗУ

Метка времени среза, ч:мин:с	Кол-во НОС в срезе, шт	Коэффициент сложности K_C , о.е.
07_11_30	620	0,111
07_12_55	654	0,117
07_14_17	756	0,135
...
09_29_39	369	0,066
09_30_58	520	0,180
09_32_15	607	0,109

K_C – около 4 часов 40 минут на один режим

k_C – около 15 минут на один режим

$$K_C = \frac{N_{\text{НОС}}}{\sum N}$$

$$k_C = \frac{n_{\text{НОС}}}{\sum n}$$

где K_C, k_C – полный и усеченный коэффициент сложности ОС по полному и сокращенному списку ТИ, поочередно исключаемых из ОС;

$N_{\text{НОС}}, n_{\text{НОС}}$ – количество неуспешных ОС при поочередном единичном отключении ТИ для данного файла трассировки;

N, n – количество ТИ в полном и сокращенном списках в срезе.



Определение списка ТИ в составе усеченного коэффициента сложности

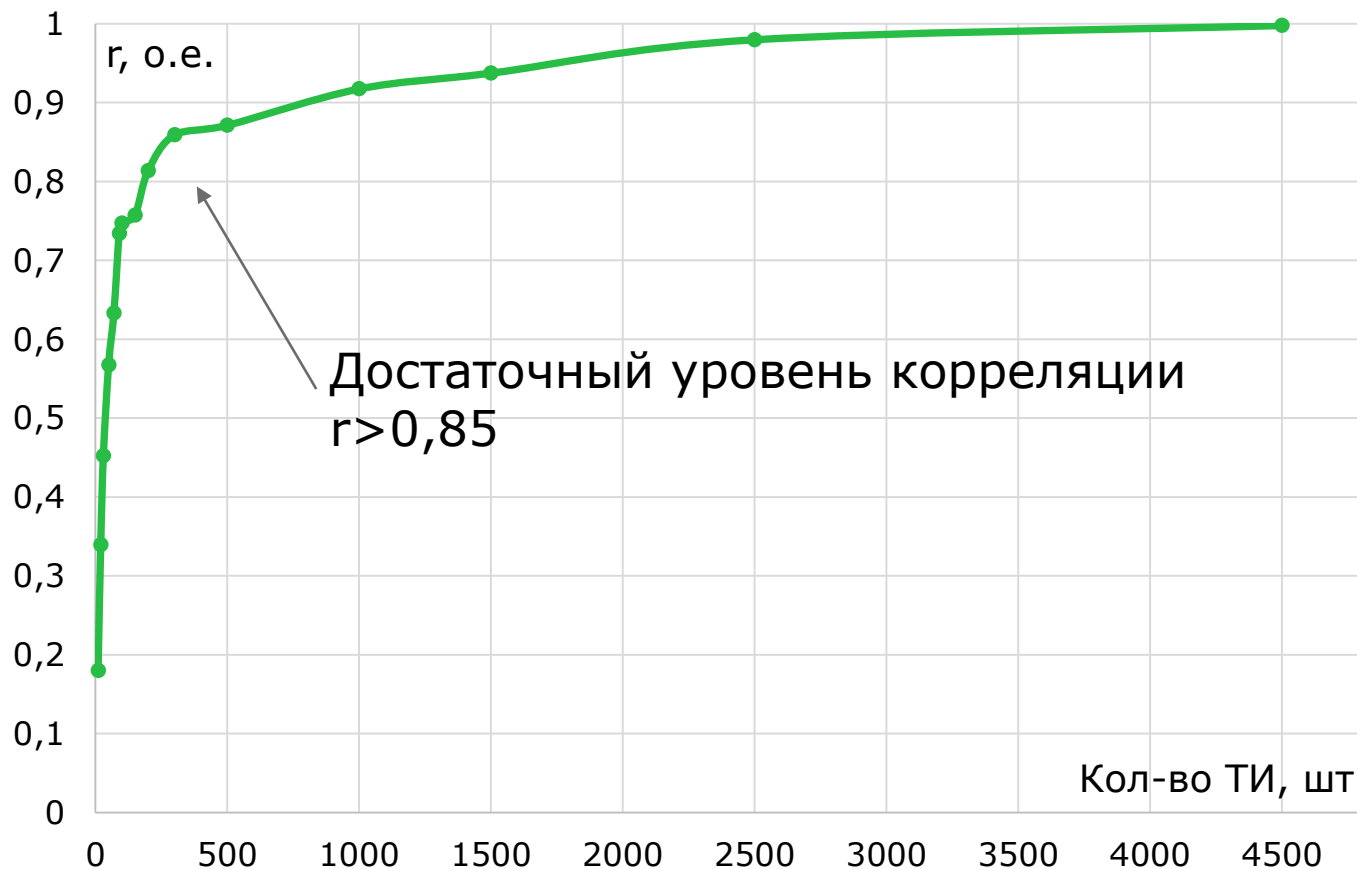


Рисунок 3 – График значений коэффициента корреляции r между K_C и k_C при разном количестве ТИ

Таблица 4 – Расчетные значения коэффициента корреляции между K_C и k_C

Кол-во ТИ, шт	Коэффициент корреляции r , о.е.
10	0,180
20	0,339
30	0,452
50	0,567
70	0,633
90	0,734
100	0,747
150	0,757
200	0,814
295	0,851
500	0,871
1000	0,917
1500	0,938
2500	0,980
4500	0,998



Изменение коэффициента сложности в течение суток

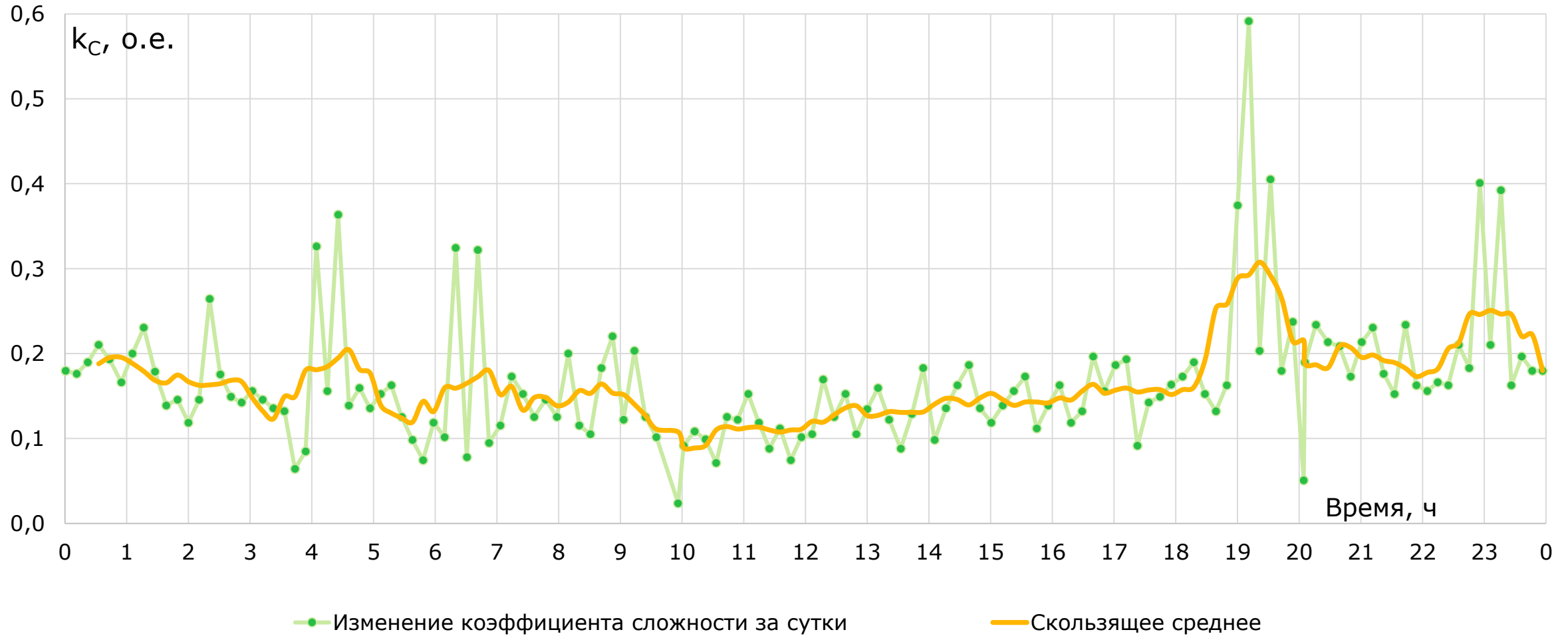
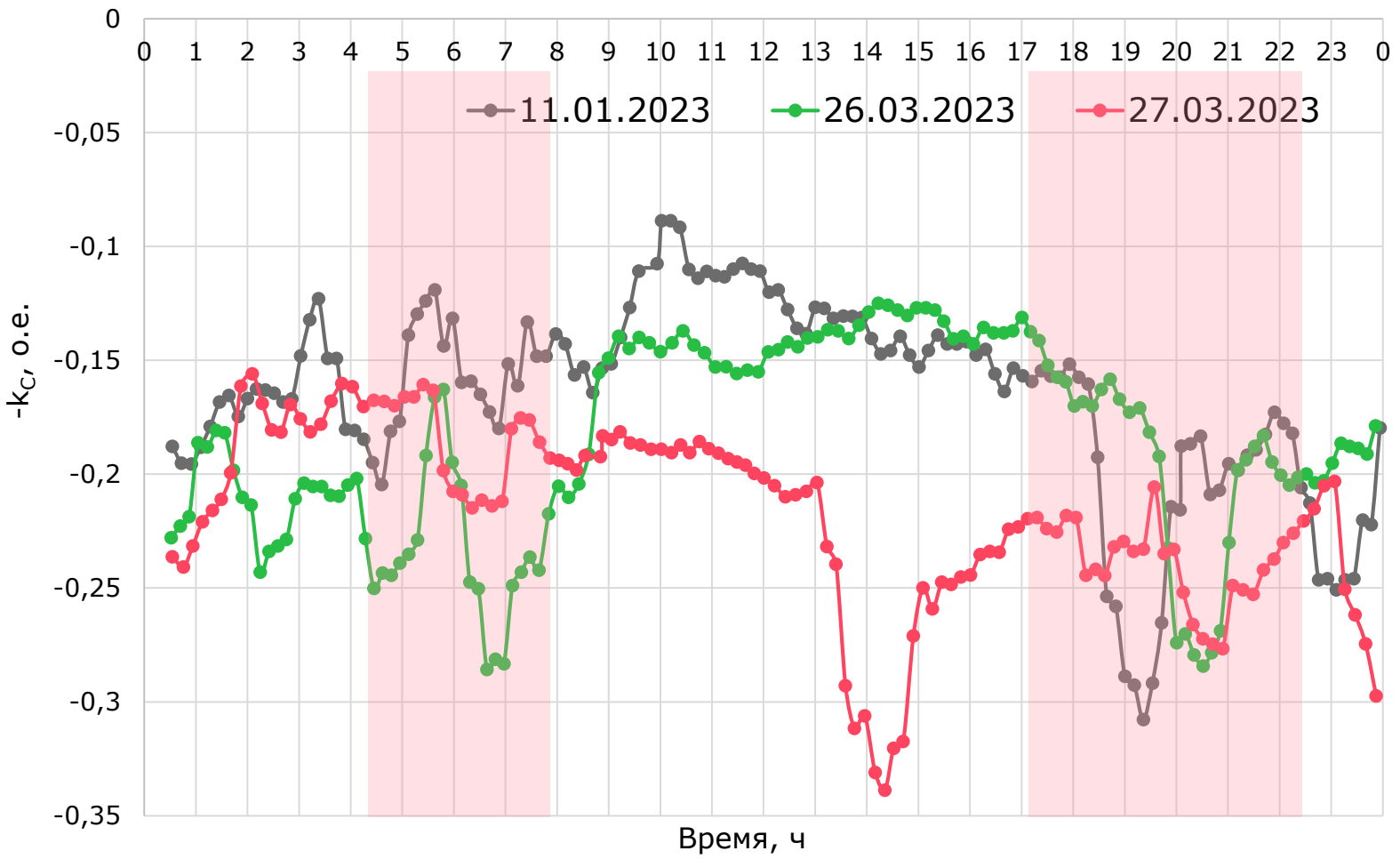


Рисунок 4 – График изменения коэффициента сложности (k_C)
в течение суток (11.01.2023)



Изменение коэффициента сложности в течение суток



Возможные влияющие факторы:

- Изменение балансов потребления/генерации в энергосистемах;
- Топология электрической сети;
- Состав генерирующего оборудования на электростанциях;
- Отклонение частоты;
- Прочие неизвестные факторы.

Рисунок 5 – График изменения коэффициента сложности (k_C) в течение нескольких суток



Изменение перетоков в течение суток

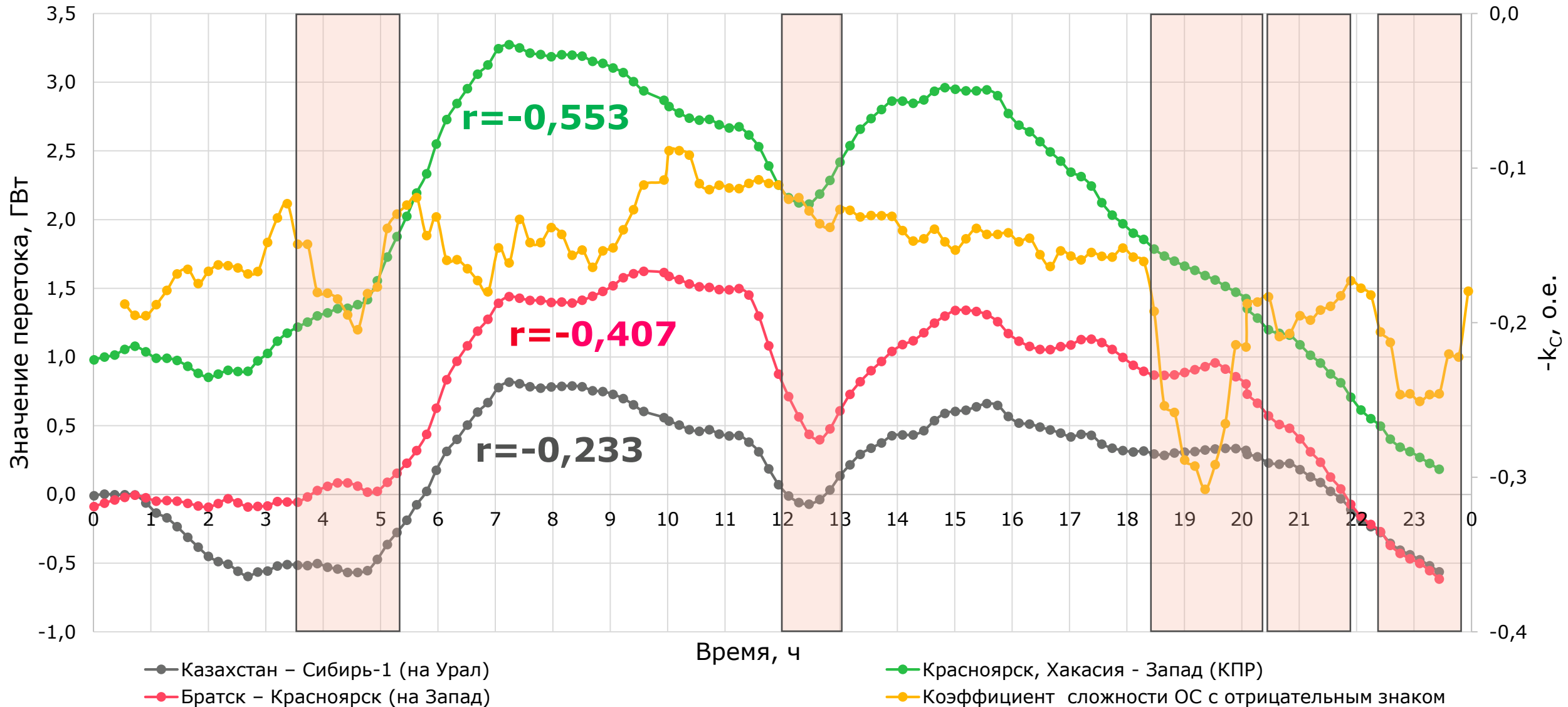


Рисунок 6 – График изменения перетоков в течение суток (11.01.2023)



Таблица 5 – Исходные данные по перетокам в КС (11.01.2023)

№	Наименование сечения	Переток по сечению на заданном временном интервале, МВт				
		00_00_33	00_11_27	...	23_46_37	23_56_43
1	Красноярск, Хакасия - Запад (КПР)	918	910	...	106	220
2	Братск – Красноярск (на Запад)	-157	-162	...	-698	-592
3	Казахстан – Сибирь-1 (на Урал)	-69	-27	...	-631	-563

Таблица 6 – Расчётные значения коэффициентов корреляции между коэффициентом сложности ОС и величинами перетока в КС

№	Наименование сечения	Значение коэффициента корреляции, о.е.
1	Красноярск, Хакасия - Запад (КПР)	-0,553 Заметная связь
2	Братск – Красноярск (на Запад)	-0,407
3	Казахстан – Сибирь-1 (на Урал)	-0,233 Слабая связь

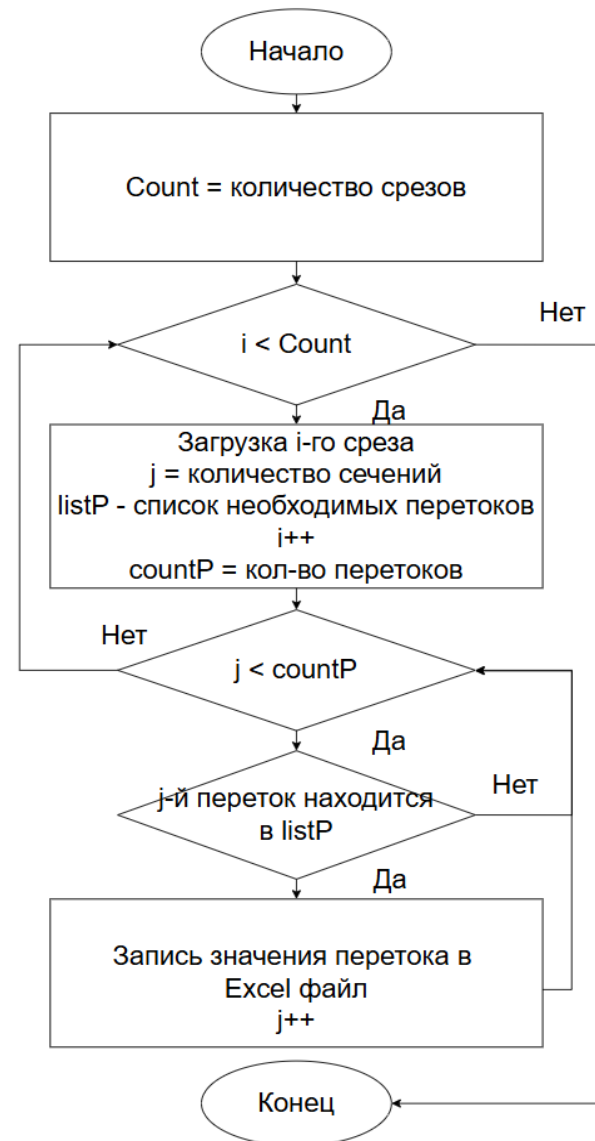


Рисунок 7 – Алгоритм автоматизации сбора значений ТИ по сечениям

Зависимость коэффициента сложности от перетока

11

$k_{Cr}, \text{ o.e.}$

$\sigma = 4,75 \%$

$y + 3\sigma$

$y + 2\sigma$

$y - 2\sigma$

$y - 3\sigma$

$y = -0,0171x + 0,187$

Значение перетока, ГВт

● Зависимость коэффициента сложности ОС от перетока ● Выбросы за 3σ Линейная (Зависимость коэффициента сложности ОС от перетока)

Рисунок 8 – График зависимости коэффициента сложности от перетока в КС Красноярск, Хакасия - Запад (КПР)
(11.01.2023)



Таблица 7 – Расчётные значения коэффициентов корреляции между k_C и величинами перетока в КС

№	Наименование сечения	r, о.е. (11.01.23 - Среда)	r, о.е. (26.03.23 - Воскресенье)	r, о.е. (27.03.23 - Понедельник)
1	Красноярск, Хакасия - Запад (КПР)	-0,553	-0,588	-0,251
2	Братск – Красноярск (на Запад)	-0,407	-0,642	-0,234
3	Казахстан – Сибирь-1 (на Урал)	-0,233	-0,522	-0,073

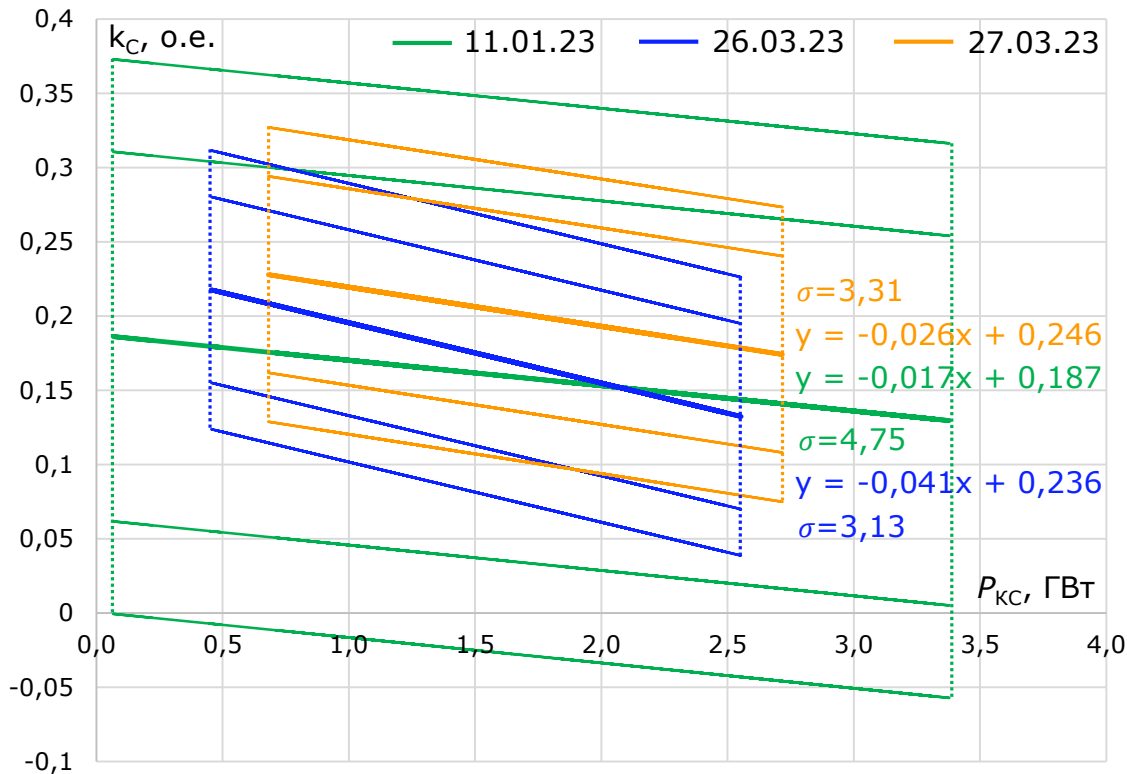


Рисунок 9 – График регрессий k_C с интервалами отклонений ($\pm\sigma_2$ и $\pm\sigma_3$) для нескольких суток

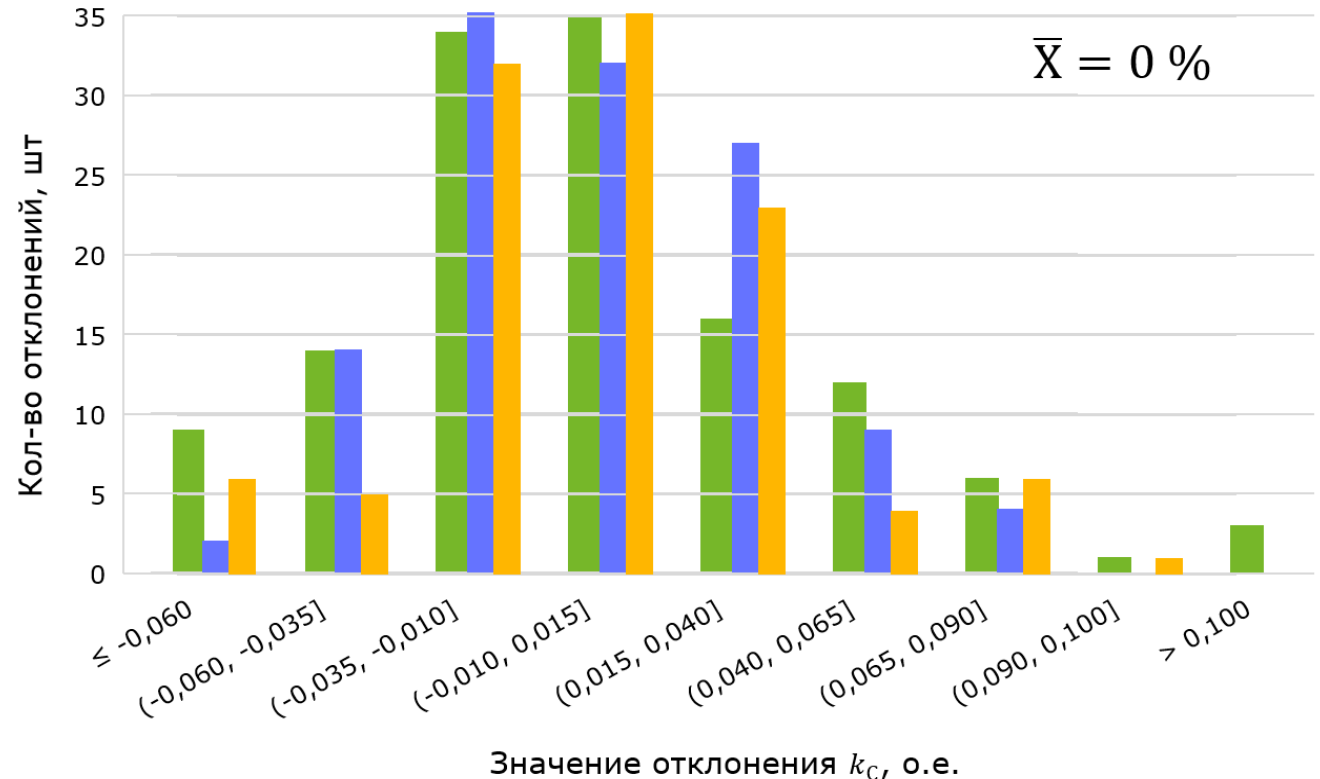


Рисунок 10 – Гистограмма распределения отклонения значения k_C от регрессионной функции



Алгоритм определения топологии

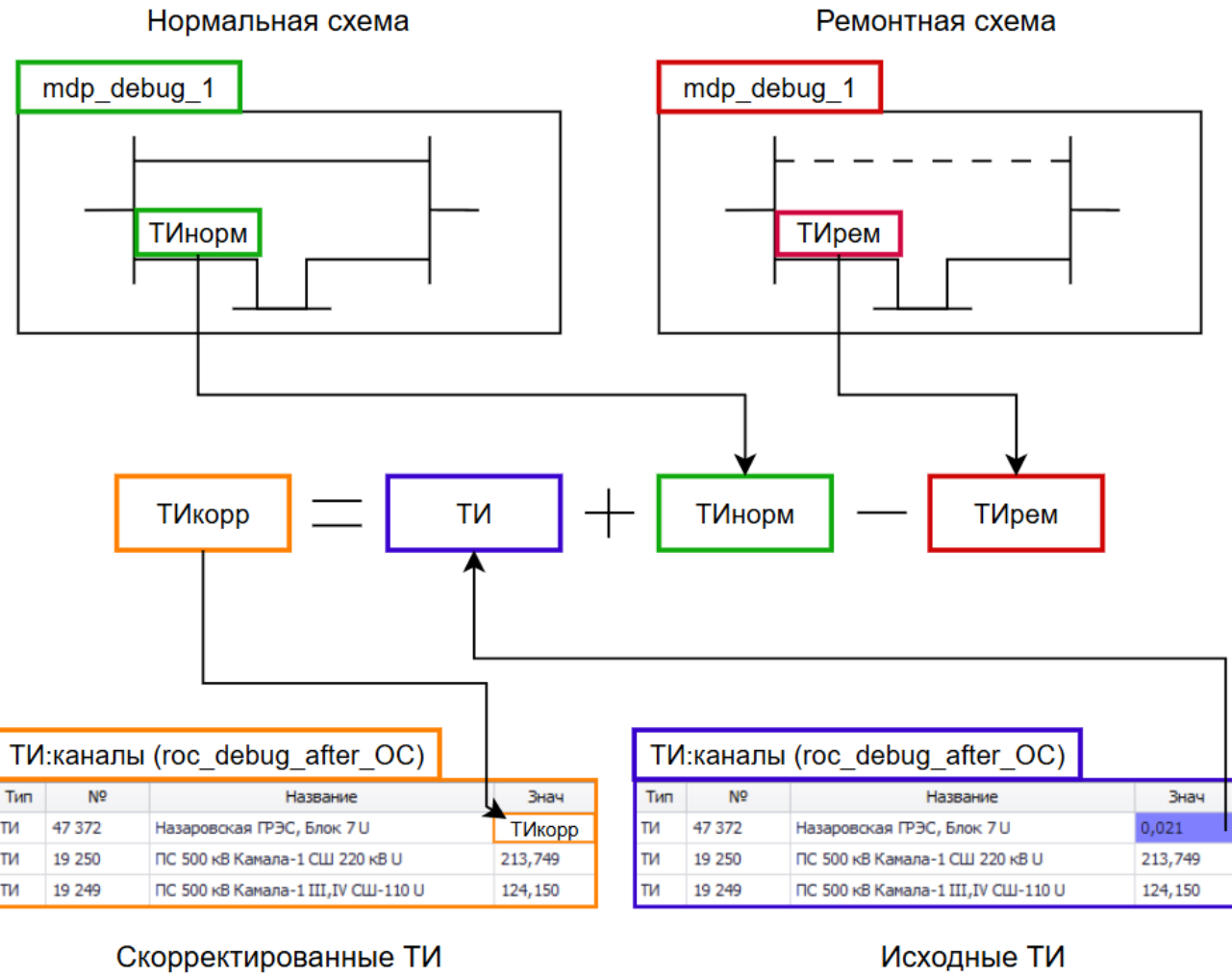
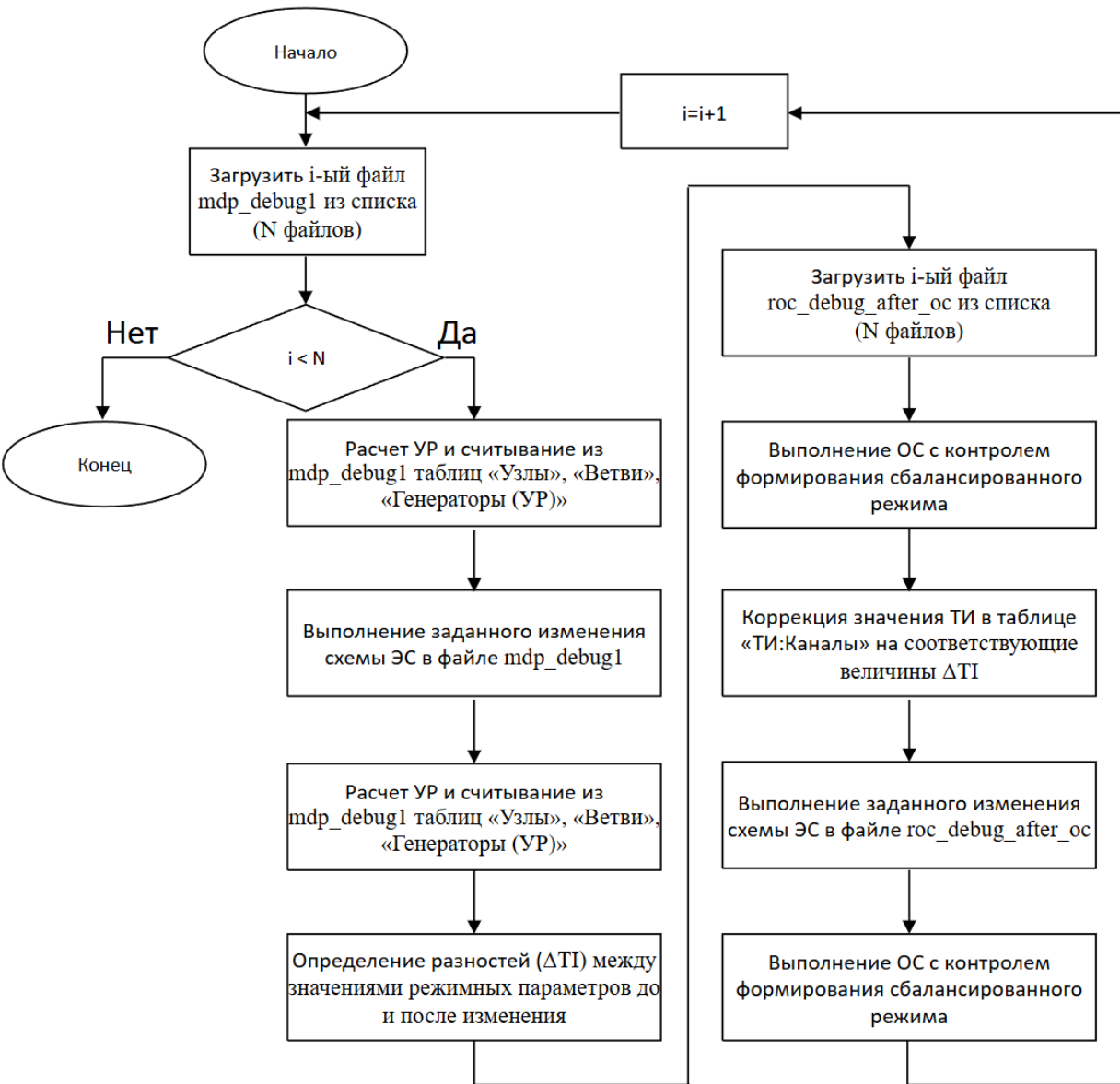


Рисунок 11 – Алгоритм определения топологии



Изменение коэффициента сложности в течение суток

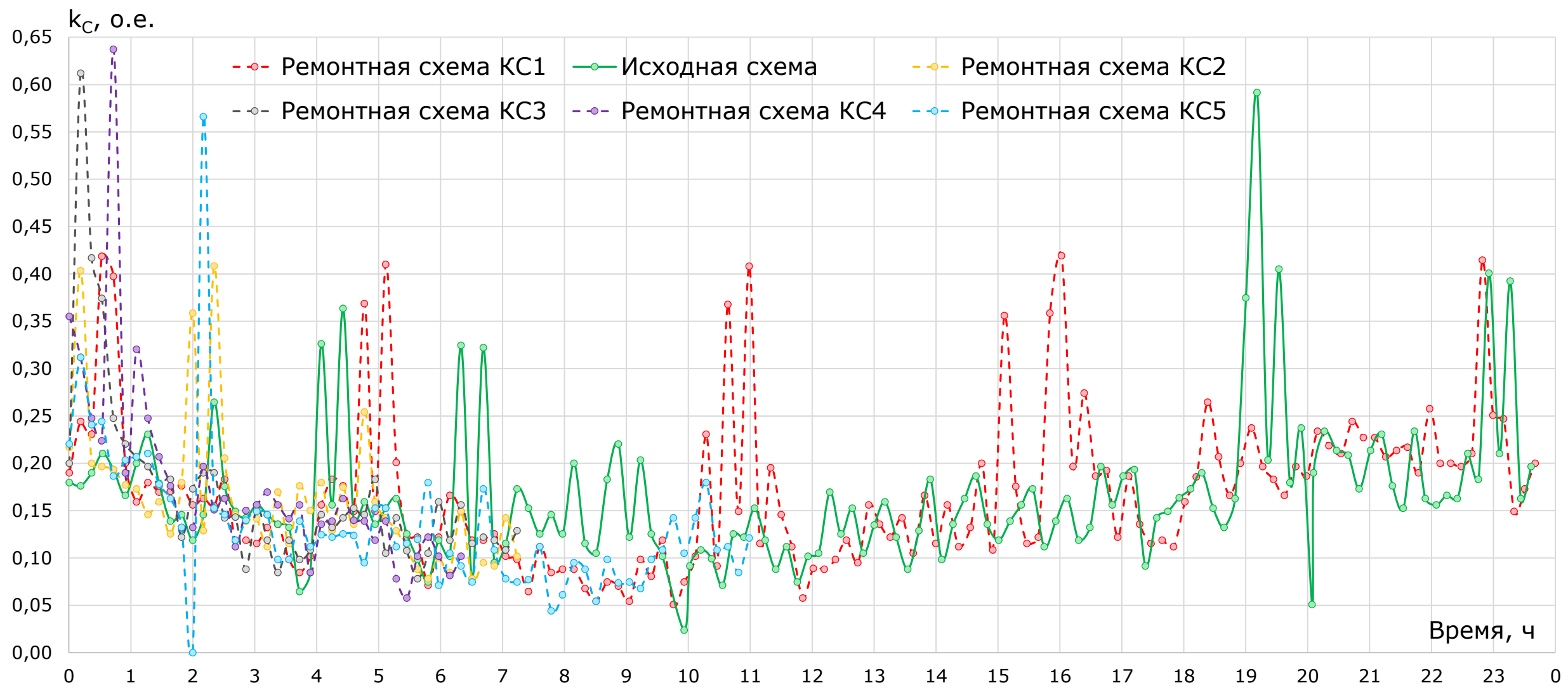


Рисунок 12 – График изменения коэффициента сложности (k_C) в течение суток



Определение длительности ремонта по заявке

1 Методом **Монте-Карло** генерируются случайные последовательности успешных/неуспешных ОС (на 1 миллион наблюдений).
(20 мин – получение 1-го значения на графике).

2 Минимальное количество последовательных циклов неуспешного ОС:

$$N = \frac{T_3 - \text{MaxActivityTime}}{15c} + 1, (\text{шт})$$

3 Тогда длительность времени расчетного цикла:

$$\text{MaxActivityTime} = (N - 1) * 15 - 5 - T_{\text{уц}}, (c)$$

$T_{\text{уц}}$ – время ускоренного цикла (принимается 60 с).

4 Среднее значение длительности времени расчетного цикла на 1 миллион наблюдений:

$$\overline{T_{\text{ц}}} = \frac{\sum_{N=10^6}^i T_{\text{ц}i}}{10^6}, (c)$$

5 Интенсивность отказов – количество ожидаемых отказов в час:

$$\lambda = \frac{\overline{X} * 3600}{\overline{T_{\text{ц}}}}, (1/\text{ч})$$

6 Допустимая длительность интервала:

$$\Delta t = \frac{Q_{\text{КОТК}}}{\lambda}, (\text{ч})$$

$Q_{\text{КОТК}}$ – критическое значение вероятности отказа СМЗУ на заданном временном промежутке (5% – 0,05 о.е.).

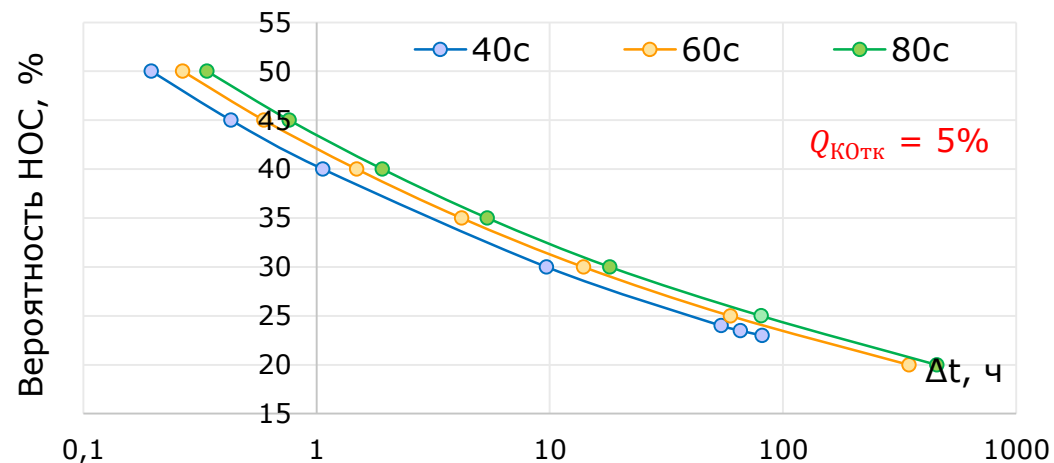


Рисунок 13 – График зависимости вероятности НОС от расчетных значений Δt

Отказ СМЗУ – невозможность выдачи нового ДП СМЗУ по заданному КС в течение заданного интервала времени или выдача значения МДП отличающегося от реального на величину, превышающую критическое значение для КС.

Определение длительности ремонта по заявке

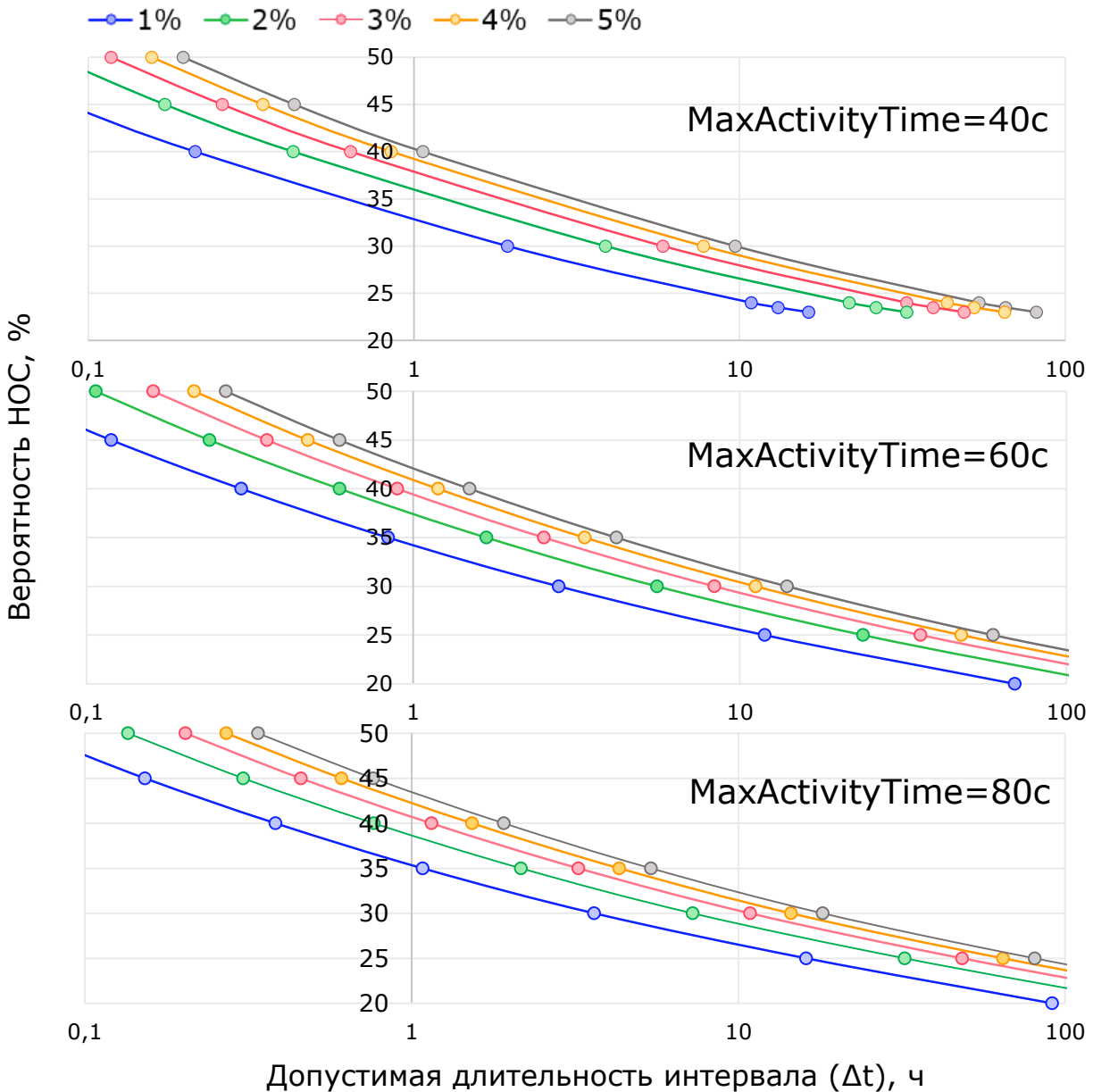


Таблица 8 – Расчетные параметры допустимой длительности интервала при различной вероятности неуспешного ОС для разного критического значения вероятности отказа СМЗУ (MaxActivityTime=40 с)

МО вероятности неуспешного ОС ($\bar{q}_{\text{нос}}$), %	Критическое значение вероятности отказа СМЗУ ($Q_{\text{КОТК}}$), %				
	1%	2%	3%	4%	5%
	Допустимая длительность интервала, ч				
23	16,29	32,58	48,88	65,17	81,46
23,5	13,11	26,22	39,33	52,44	65,55
24	10,86	21,71	32,57	43,42	54,27
30	1,94	3,88	5,81	7,75	9,62
40	0,21	0,43	0,64	0,85	1,06
45	0,08	0,17	0,26	0,34	0,43
50	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20

Вероятность НОС является **критерием** надежности, по которому будет осуществляться переход на ДП ПУР по каждому из серверов расчета ДП СМЗУ с учетом их заданных времен перехода на ДП ПУР (по условию отсутствия обновлений значений ДП).



Определение необходимости перехода на ДП ПУР ¹⁷

Методика расчета:

1. Интерполяция между кривыми (фиксированная $\overline{q_{НОС}}$).

$$\lg(\Delta t^*) = \lg(\Delta t_1) + [\lg(\Delta t_2) - \lg(\Delta t_1)] * \frac{\lg(\text{MaxActivityTime}^*) - \lg(\text{MaxActivityTime}_1)}{\lg(\text{MaxActivityTime}_2) - \lg(\text{MaxActivityTime}_1)}$$

MaxActivityTime* - промежуточное значение.

MaxActivityTime₁ < MaxActivityTime* < MaxActivityTime₂

$$\Delta t^* = 10^{\lg(\Delta t^*)}$$

2. Интерполяция вдоль кривой (фиксированная MaxActivityTime).

$$\lg(\Delta t^*) = \lg(\Delta t_1) + [\lg(\Delta t_2) - \lg(\Delta t_1)] * \frac{\lg(\overline{q_{НОС}}^*) - \lg(\overline{q_{НОС1}})}{\lg(\overline{q_{НОС2}}) - \lg(\overline{q_{НОС1}})}$$

$\overline{q_{НОС}}^*$ - промежуточное значение.

$\overline{q_{НОС1}} < \overline{q_{НОС}}^* < \overline{q_{НОС2}}$

$$\Delta t^* = 10^{\lg(\Delta t^*)}$$

Логарифмическая интерполяция - метод нахождения промежуточных значений функции, когда данные изменяются экспоненциально, то есть пропорционально степеням числа.

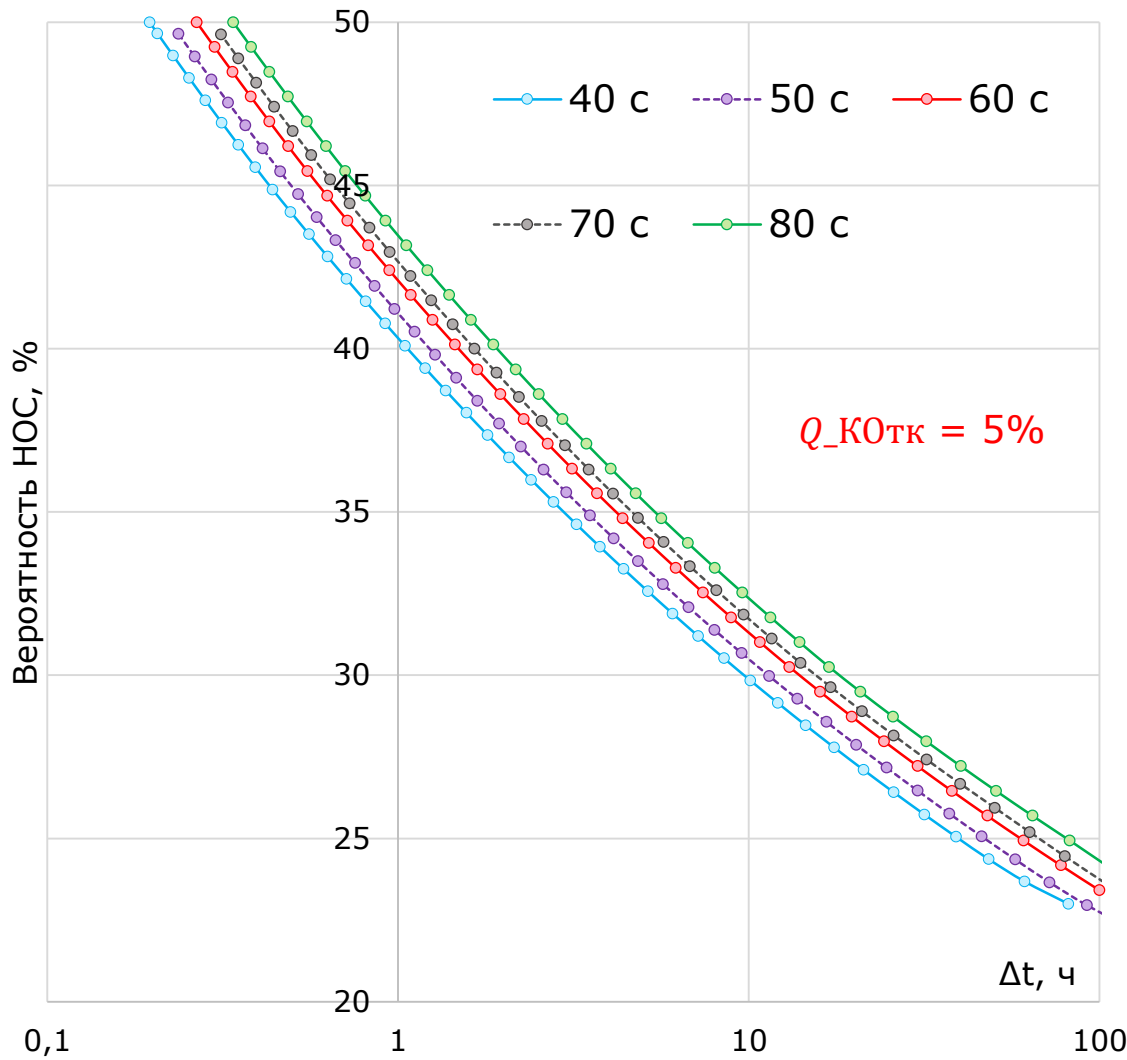


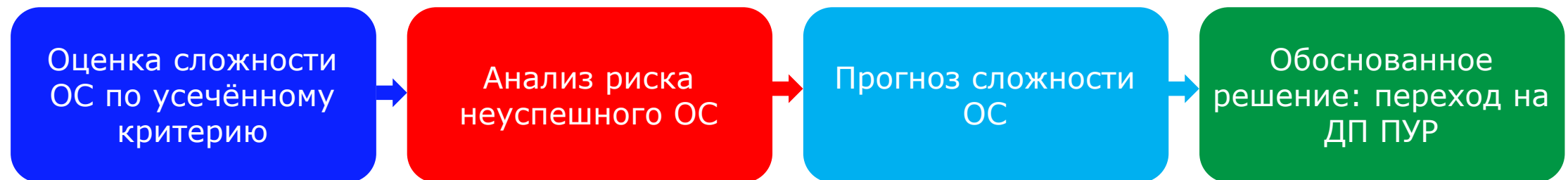
Рисунок 14 – График зависимости вероятности НОС от расчетных значений Δt



Заключение

Результаты:

- ✓ Предложены два критерия (**полный** и **усеченный**) оценки сложности ОС при потере ТИ.
- ✓ Усечённый критерий **снижает время** расчёта в **15–20** раз по сравнению с полным критерием.
- ✓ Установлена связь между сложностью ОС и перетоками мощности.
- ✓ Предложен критерий для определения необходимости перехода на ДП ПУР по условию требуемой надёжности на интервале времени проведения работ с системой телемеханики и связи на объектах энергетики.



Дальнейшее развитие работы: Разработка ПО для поиска режимных параметров и ремонтных схем, влияющих на надёжность СМЗУ.



Спасибо за внимание!

Влияние схемно-режимной ситуации в энергосистеме на надежность оценивания состояния СМЗУ

Выполнила: студентка группы О-5КМ31, Тайдонова Виктория Михайловна

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



Приложение А

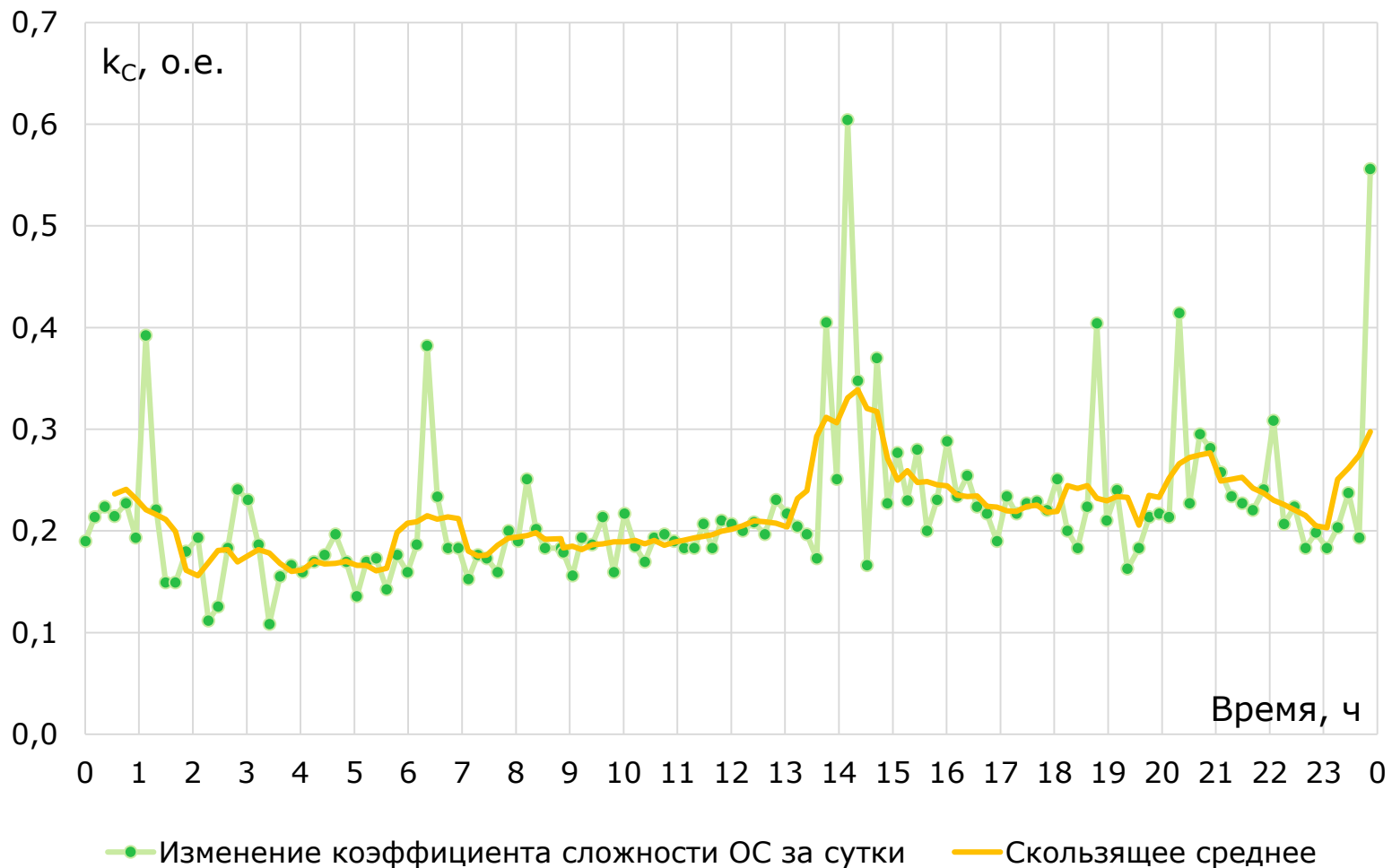


Рисунок 15 – График изменения коэффициента сложности k_C в течение суток
(27.03.2023)

Таблица 9 – Значения коэффициента сложности за сутки

Метка времени среза, ч:мин:с	Кол-во НОС в срезе, шт	Коэффициент сложности k_C , о.е.
00_00_14	56	0,190
00_10_33	63	0,214
00_21_42	66	0,224
00_32_46	295	1 (0,214*)
...
23_27_46	70	0,237
23_39_48	57	0,193
23_52_11	164	0,556

* - Замененные единицы на среднее значение по 4-м ближайшим значениям



Приложение Б

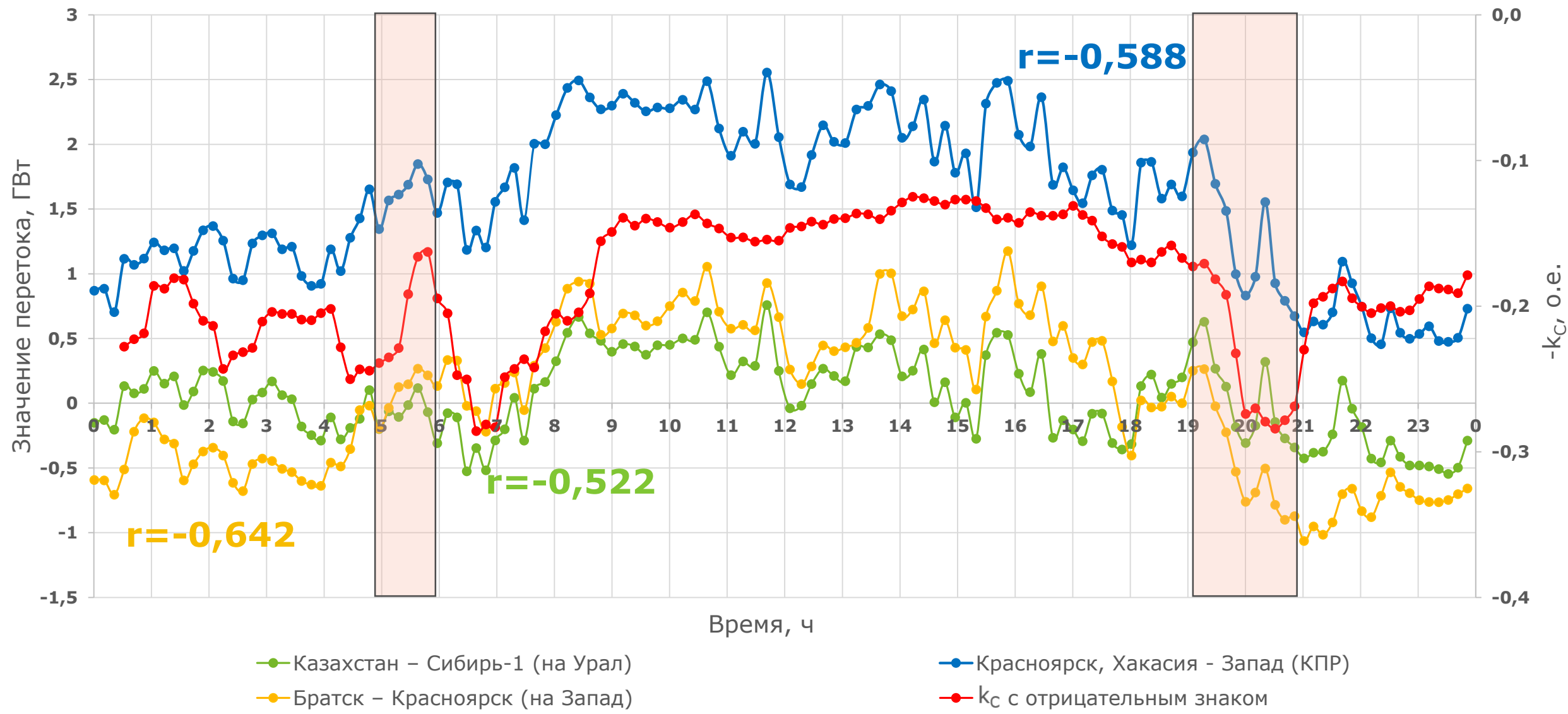


Рисунок 16 – График изменения перетоков в течение суток (26.03.2023)



Приложение В

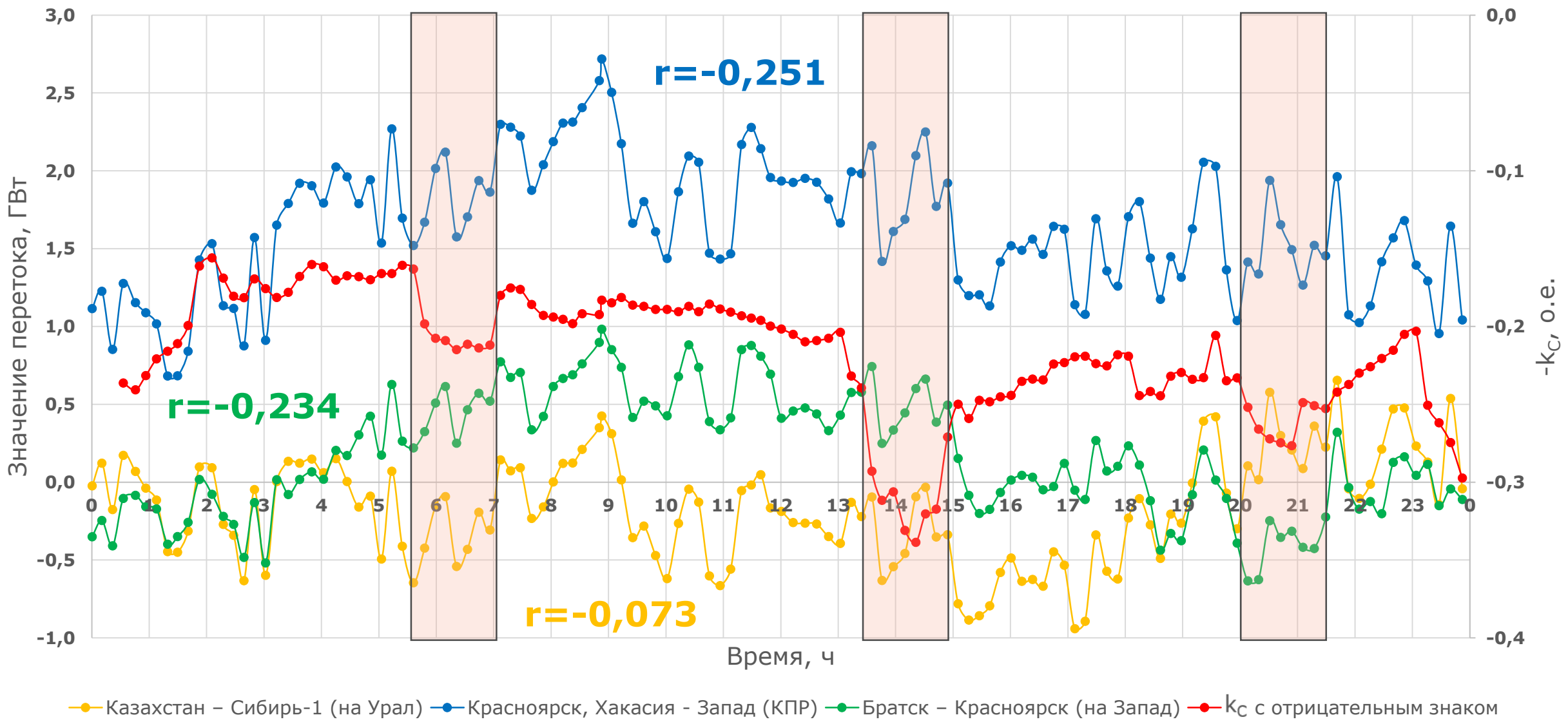
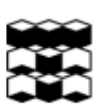


Рисунок 17 – График изменения перетоков в течение суток (27.03.2023)



Приложение Г

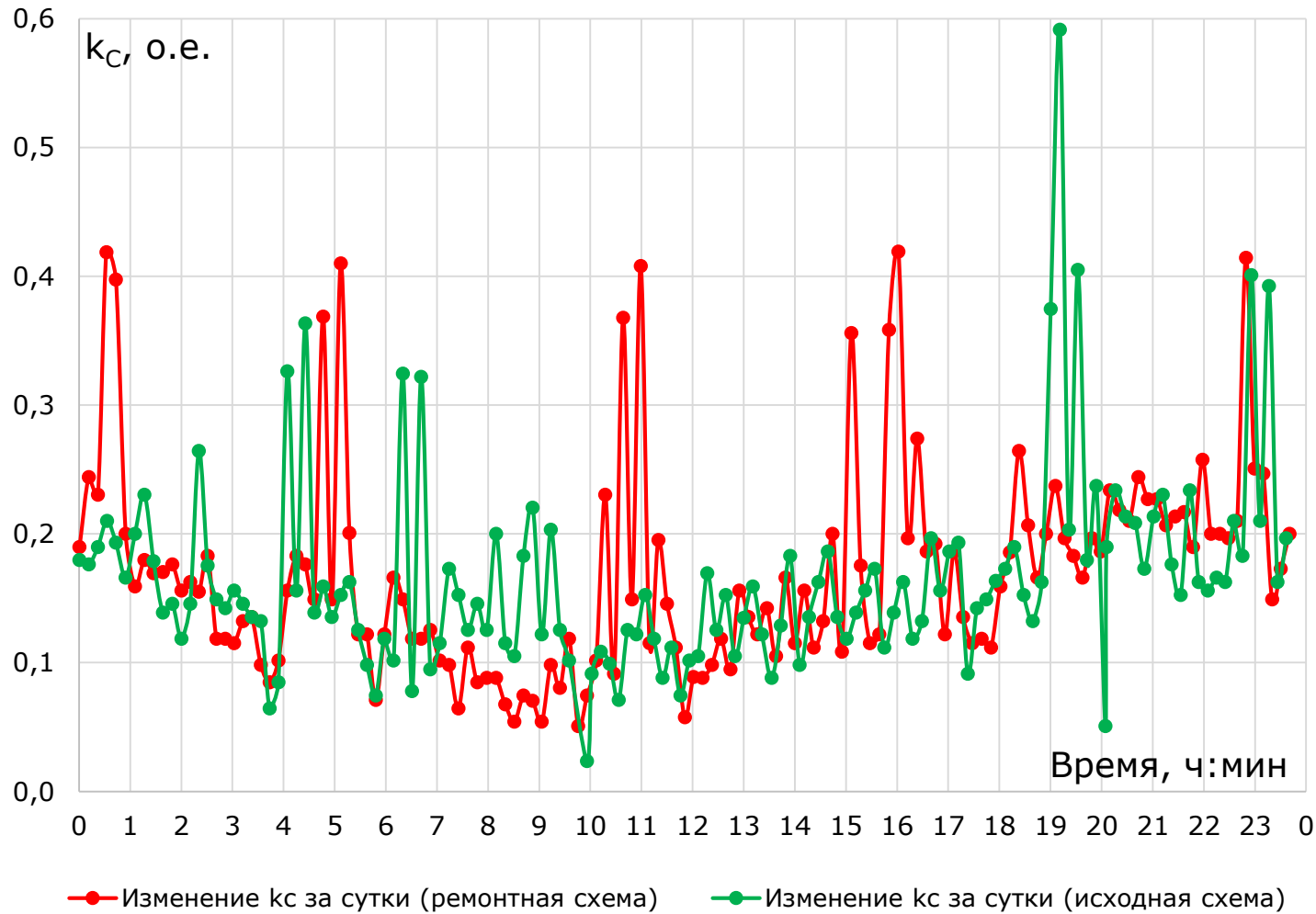


Рисунок 18 – График изменения коэффициента сложности (k_C) в течение суток

Таблица 10 – Сложность оценивания состояния СМЗУ в исходной и ремонтной схемах

Метка времени среза, ч:мин:с	Кол-во НОС в срезе (исходная схема/ремонтная схема), шт	k_C в исходной схеме, о.е.	k_C в ремонтной схеме, о.е.
00_00_33	53/56	0,180	0,190
00_11_27	52/72	0,176	0,244
00_22_07	295/68	1 (0,190)	0,231
00_32_42	62/243	0,210	0,824
00_43_15	57/243	0,193	0,824
00_54_43	49/59	0,166	0,200
01_05_36	59/47	0,200	0,159
...
22_59_28	295/74	1 (0,401)	0,251
23_09_45	62/295	0,210	1 (0,247)
23_20_03	295/44	1 (0,392)	0,149
23_30_11	48/51	0,163	0,173
23_40_21	58/59	0,197	0,200