

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ: АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Макашева Светлана Игоревна
Пинчуков Павел Сергеевич
Мартьянов Егор Олегович,
Овчинникова Элина Дмитриевна
ДВГУПС, Хабаровск



Цель работы:

- Целью работы является разработка технологии оценки показателей качества электрической энергии с последующей их корректировкой при помощи устройств продольной емкостной компенсации в условиях цифровой подстанции.

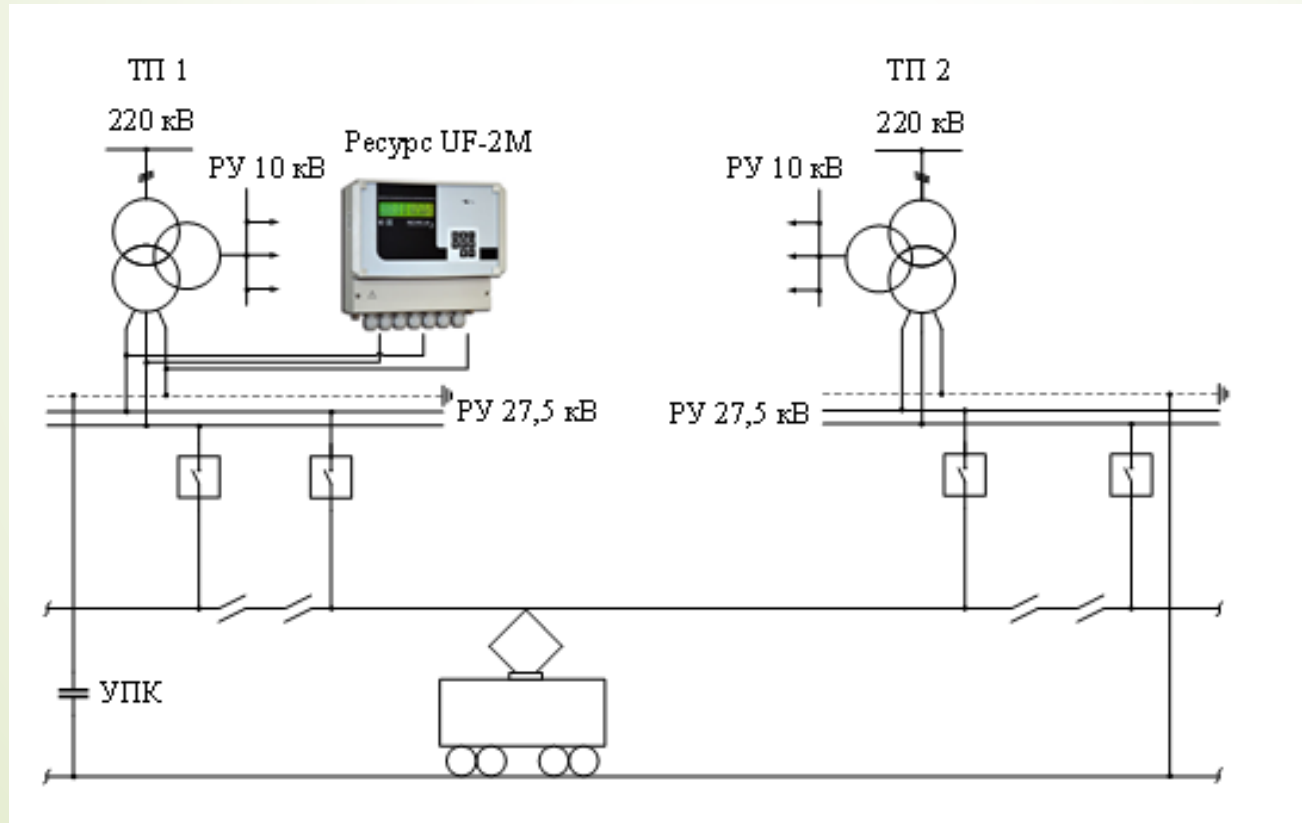


Суть решаемой проблемы

- В тяговой сети электрифицированных железных дорог переменного тока при интенсивных объёмах перевозок и повышении веса поезда происходит снижение уровня напряжения и ухудшение показателей качества электроэнергии. Для устранения подобной проблемы применяют устройства продольной емкостной компенсации (УПК), которые устанавливают на тяговых подстанциях.

Методы исследования

- Методом исследования является применение автоматизированных систем мониторинга электрических параметров при помощи блока контроля КЭ. В состав блока контроля КЭ входят измерительно-вычислительные комплексы, которые включаются в контрольные точки тяговой подстанции.




- Объектами настоящего исследования являются параметры напряжения в системе тягового электроснабжения, измеренные при помощи измерителя ПКЭ Ресурс UF-2М за время натурального эксперимента на тяговых подстанциях, расположенных на Дальнем востоке РФ .Рассматриваемый измеритель формирует за время измерения массив данных в виде листов базы данных MS Excel.

The screenshot shows the 'Основные' (Main) window of the PKЭ software. The window title is 'PKЭ - Основные'. The interface includes a menu bar with options like 'Файл', 'Параметры', 'Графики', 'Справка'. Below the menu is a toolbar with icons for file operations and a search bar. The main area is a large data table with the following columns: 'Дата' (Date), 'Время' (Time), 'Напряжение В' (Voltage V), 'Среднее напряжение, В' (Average voltage, V), 'Макс. ток ампер, А' (Max. current, A), 'Средн. ток, А' (Avg. current, A), 'Средн. мощность, кВт' (Avg. power, kW), 'Ток А' (Current A), 'Средн. мощность, кВт' (Avg. power, kW), 'Время работы, (сут)' (Operating time, (days)), and 'Примечание' (Remarks). The table contains numerous rows of numerical data, representing measurements over time. At the bottom, there is a navigation bar with buttons for 'ПКЭ', 'Основные', 'Фаза А', 'Фаза В', 'Фаза С', 'Фаза N', 'КУмф', 'График Уф', 'График Умф', 'График F', 'КО,К2', 'Pa, Pв, Pс', 'Кл ...', and a search icon.

Рис. 1. Видовое окно основных параметров электрической энергии



Методы и техники анализа, применимые к большим данным

- статистический анализ;
 - визуализация аналитических данных;
 - прогнозная аналитика.
- 

Статистический анализ.

- Известно, что энергетические характеристики тяговой сети, являясь случайными величинами, подчиняются нормальному распределению Гаусса, которое задается функцией плотности вероятности

$$f(x) = \frac{1}{s_x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2}},$$

- Расчет параметров нормального распределения производился в среде MS Excel с использованием встроенных инструментов и функций: НОРМРАСП, СЧЁТЕСЛИ. На рис. 3 представлено видовое окно расчета для напряжений подстанции для двух случаев- с учетом включения УПК и с учетом отключения УПК.

С УПК						Без УПК			Норм распр					
U _{ав}	U _{вс}	U _{са}	U _{ав}	U _{вс}	U _{са}	U _{ав}	U _{вс}	U _{са}	U _{ав}	U _{вс}	U _{са}	U _{ав}	U _{вс}	U _{са}
25915,94	25104,26	25781,83	27272,54	26104,94	26718,67	26890,00	26137,64	26840,35	26691,44	25541,54	25307,95	0,000102	0,000132	6,07753E-05
26191,25	25206,16	25916,95	27286,91	26077,03	26695,31	225391,398	317829,107	210563,65	295362,0532	269847,5872	367597,8267	0,000284	0,000181	0,00011479
26416,84	25392,41	26115,05	27276,88	26078,19	26680,03	474,7540395	563,763343	458,87215	543,4722193	519,4685623	606,2984634	0,000511	0,000295	0,000249296
26451,41	25430,12	26153,62	27244,43	26105,49	26648,00							0,000548	0,000322	0,000283718
26309,65	25571,07	26204,40	27225,42	26109,25	26643,79	26890,001	26691,439					0,000398	0,000427	0,000332769
26112,29	25823,67	26378,70	27198,65	26069,79	26615,14	474,754	543,472					0,00022	0,000606	0,000524131
25692,81	25713,70	26087,66	27178,36	26035,59	26599,36	26137,645	25307,952					3,5E-05	0,000533	0,000226449
25890,66	25450,43	25964,33	27179,11	26033,80	26612,62	563,763	606,298					9,17E-05	0,000337	0,000140549
26562,08	25526,01	26380,94	27159,63	26093,28	26612,63							0,000662	0,000393	0,000526699
26558,58	25791,22	26595,88	27147,64	26130,92	26614,42	0,0177	0,0204					0,000659	0,000586	0,000754376
26304,39	25708,72	26452,56	27122,58	26137,00	26608,21	0,0216	0,0240					0,000393	0,00053	0,000608333
26602,96	25525,42	26245,62	27092,95	26120,57	26573,64	1,0288	1,0547					0,0007	0,000392	0,000375373
26457,34	25625,36	26260,66	27088,27	26119,96	26572,33	295	-1,020	-1,698				0,000555	0,000468	0,000391455
25844,07	25840,46	26165,11	27092,59	26135,79	26578,47	Z100	-1,018	-1,697				7,42E-05	0,000616	0,000294453
25613,80	25924,52	25701,46	27087,76	26121,13	26573,31	Ф(295)	0,846	0,955				2,27E-05	0,000659	3,99578E-05
25682,13	25635,47	25749,05	27125,89	26076,17	26547,61	Ф(Z100)	0,846	0,955				3,3E-05	0,000476	5,14118E-05
25753,58	25715,05	26192,88	27174,18	26035,66	26534,70	P95	15,390	4,460				4,79E-05	0,000534	0,000321291
25745,32	26131,40	26144,98	27236,65	26016,07	26571,56	P100	15,390	4,460				4,59E-05	0,000708	0,000275785
25660,60	25989,42	26057,60	27264,28	26008,12	26578,94	вкл		откл				2,94E-05	0,000684	0,000202945
25959,92	25757,95	26383,06	27276,84	26031,60	26594,68							0,000123	0,000564	0,000529138
26027,93	25574,04	26008,88	27264,04	26050,70	26579,48							0,000162	0,000429	0,000168368
26054,29	25772,37	25951,33	27286,36	26063,79	26578,90							0,000178	0,000574	0,000133094
26066,08	25876,86	26114,28	27278,03	26079,30	26584,26							0,000186	0,000636	0,000248638
26078,48	25952,58	26018,83	27240,35	26071,34	26587,54							0,000195	0,000671	0,000175076
25616,67	25780,54	26061,55	27236,97	26024,56	26551,58							2,3E-05	0,000579	0,000205935
25350,40	25550,66	25961,01	27234,89	26008,23	26542,85							4,37E-06	0,000412	0,000138613
25247,48	25521,63	25867,25	27217,81	25997,91	26515,98							2,11E-06	0,00039	9,17685E-05

Рис. 3. Фрагмент расчета нормального распределения напряжений

Визуализация аналитических данных

- ▶ На гистограмме обозначены результаты ранее выполненного статистического анализа случайной величины – нанесены вертикальные линии, обозначающие уровень МО и СКО искомого ПКЭ - коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности, K_{2U} , %.

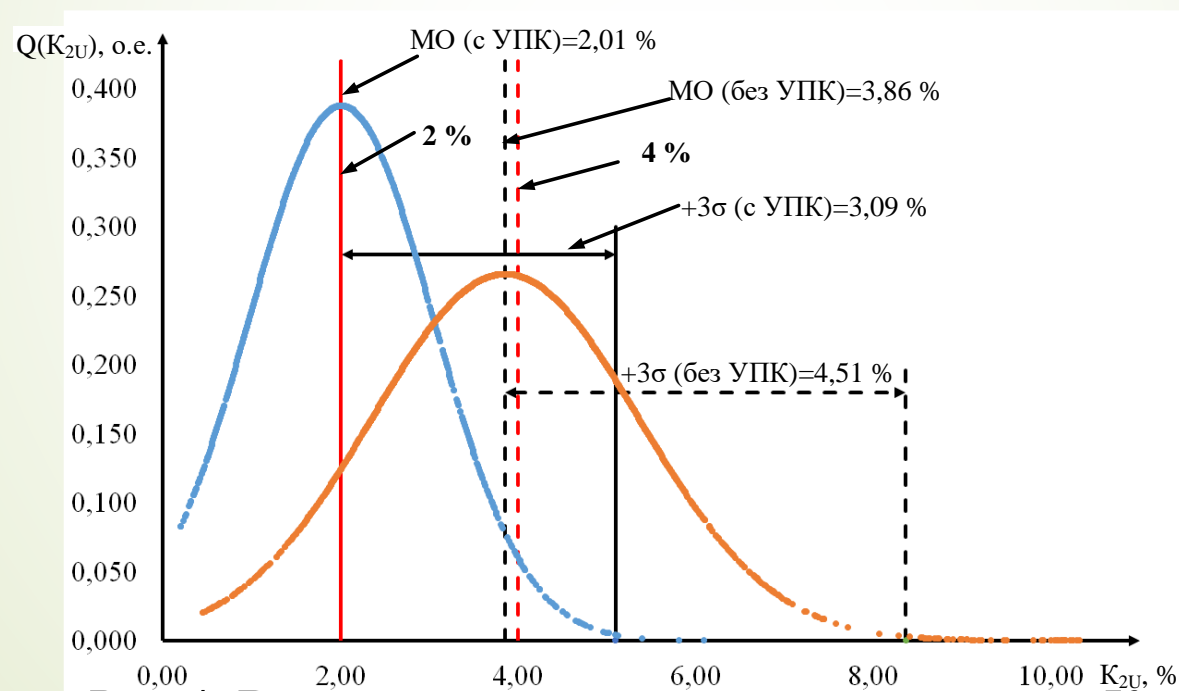


Рис.4. Визуализация аналитических данных K_{2U} , % для шин 27,5 кВ цифровой подстанции

Прогнозная аналитика

- ▶ Прогнозная аналитика и визуализация результатов прогнозного расчета может быть выполнена также и в виде таблиц, что облегчает дальнейшую процедуру принятия решений по корректировке параметров УПК.

Показатель	Количество значений, вышедших за допустимый предел, %		Допустимое количество значений при выходе их за предел, %
	Вариант с УПК	Вариант без УПК	
Предел $K_{2U}=2\%$	46,68	92,04	5
Предел $K_{2U}=4\%$	4,4	42,82	0

Таблица 1. – Сравнение измеренных за время натурального эксперимента и нормируемых по ГОСТ 32144-2013 значений ПКЭ



ВЫВОДЫ

- ▶ В результате произведенного анализа, можно заключить, что рассмотренная технологии оценки показателей качества электрической энергии пригодна для применения ее для этапов реализации проекта цифровизации тяговых подстанций. С учетом развития цифровых технологий на железной дороге после оценки КЭ необходима визуализация данных и прогнозная аналитика пределов изменения показателей качества электроэнергии с последующей корректировкой параметров устройств продольной емкостной компенсации.



Спасибо за внимание!

Вопросы?

- ▶ Макашева Светлана Игоревна
- ▶ Пинчуков Павел Сергеевич
- ▶ Мартьянов Егор Олегович,
- ▶ Овчинникова Элина Дмитриевна
- ▶ ДВГУПС, Хабаровск