

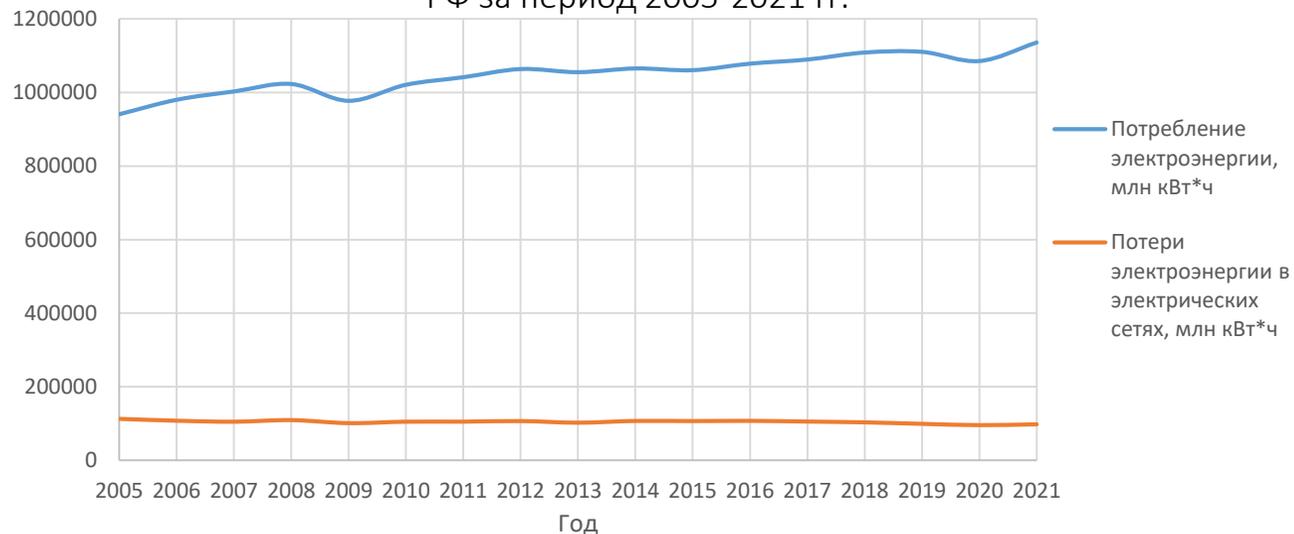
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖИНИРИНГА
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Выбор оптимальных мест нормальных разрывов в электрических сетях среднего напряжения с двусторонним питанием

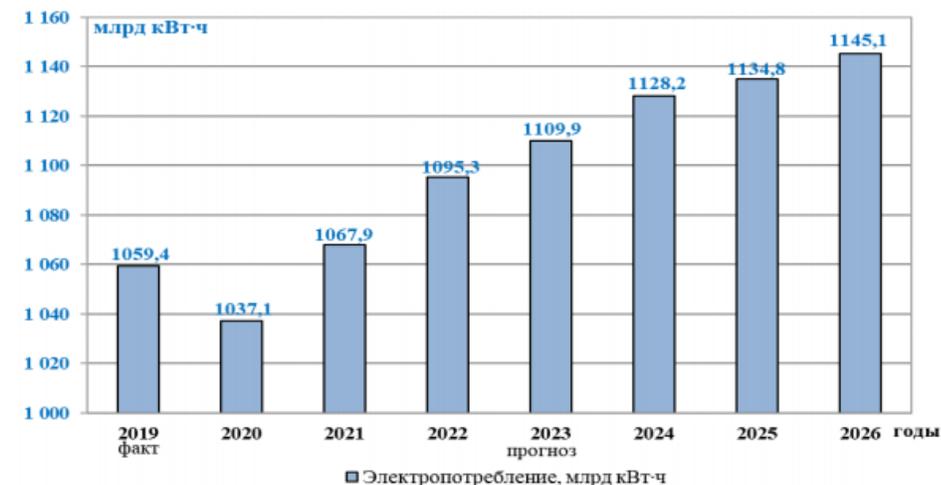
Разработал: аспирант Рохлов В. А.

Актуальность работы

График изменения потребления и потерь электроэнергии в электрических сетях РФ за период 2005-2021 гг.**



Прогноз спроса на электрическую энергию по ЕЭС России до 2026 года*



Сводные данные по потреблению и потерям электроэнергии по регионам с максимальными и минимальными потерями за 2021 год**

Наименование региона	Потреблено э.э. всего, млн. кВт*ч	Потери в сетях, млн. кВт*ч	Потери в сетях, % от отпуска в сеть	Доля потребления промышленными предприятиями, % от отпуска в сеть	Доля потребления городским и сельским населением, % от отпуска в сеть
Республика Дагестан	7587,3	2904,4	38,28	5,53	43,21
Ненецкий автономный округ	2172,8	11,5	0,53	93,84	2,03

* данные взяты из схемы и программы развития электроэнергетики ЕЭС России на 2020-2026 годы

** данные взяты с сайта Федеральной службы государственной статистики

Актуальность работы

Коэффициент корреляции между уровнем потерь электроэнергии и долей промышленного потребления в регионе:

$$r_{np} = \frac{n \sum_{i=1}^n \Delta W_i \cdot \mathcal{E}_i^{np} - \sum_{i=1}^n \Delta W_i \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i^{np}}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n \Delta W_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \Delta W_i \right)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n (\mathcal{E}_i^{np})^2 - \left(\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i^{np} \right)^2}}$$

Коэффициент корреляции между уровнем потерь электроэнергии и долей потребления городским и сельским населением в регионе:

$$r_{нас} = \frac{n \sum_{i=1}^n \Delta W_i \cdot \mathcal{E}_i^{нас} - \sum_{i=1}^n \Delta W_i \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i^{нас}}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n \Delta W_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \Delta W_i \right)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n (\mathcal{E}_i^{нас})^2 - \left(\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i^{нас} \right)^2}}$$

Результаты расчета

Год	Связь между уровнем потерь электроэнергии в электрических сетях и долей промышленного потребления		Связь между уровнем потерь электроэнергии в электрических сетях и долей потребления городским и сельским населением	
	Коэффициент корреляции	Характеристика тесноты связи по шкале Чеддока	Коэффициент корреляции	Характеристика тесноты связи по шкале Чеддока
2005	-0,65	Заметная	0,68	Заметная
2006	-0,65	Заметная	0,64	Заметная
2007	-0,69	Заметная	0,5	Заметная
2008	-0,73	Сильная	0,69	Заметная
2009	-0,75	Сильная	0,73	Сильная
2010	-0,73	Сильная	0,76	Сильная
2011	-0,73	Сильная	0,62	Заметная
2012	-0,69	Заметная	0,65	Заметная
2013	-0,69	Заметная	0,65	Заметная
2014	-0,7	Сильная	0,67	Заметная
2015	-0,68	Заметная	0,6	Заметная
2016	-0,71	Сильная	0,7	Сильная
2017	-0,71	Сильная	0,68	Заметная
2018	-0,7	Сильная	0,71	Сильная
2019	-0,68	Заметная	0,7	Сильная
2020	-0,69	Заметная	0,71	Сильная
2021	-0,69	Заметная	0,63	Заметная

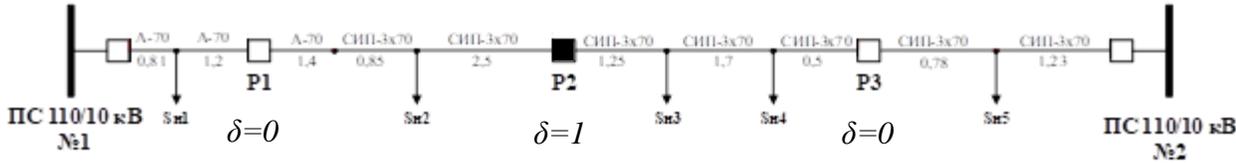
Цель и задачи работы

Цель работы: повышение эффективности передачи электроэнергии за счет автоматизации оперативных переключений, приводящих к снижению уровня потерь электроэнергии.

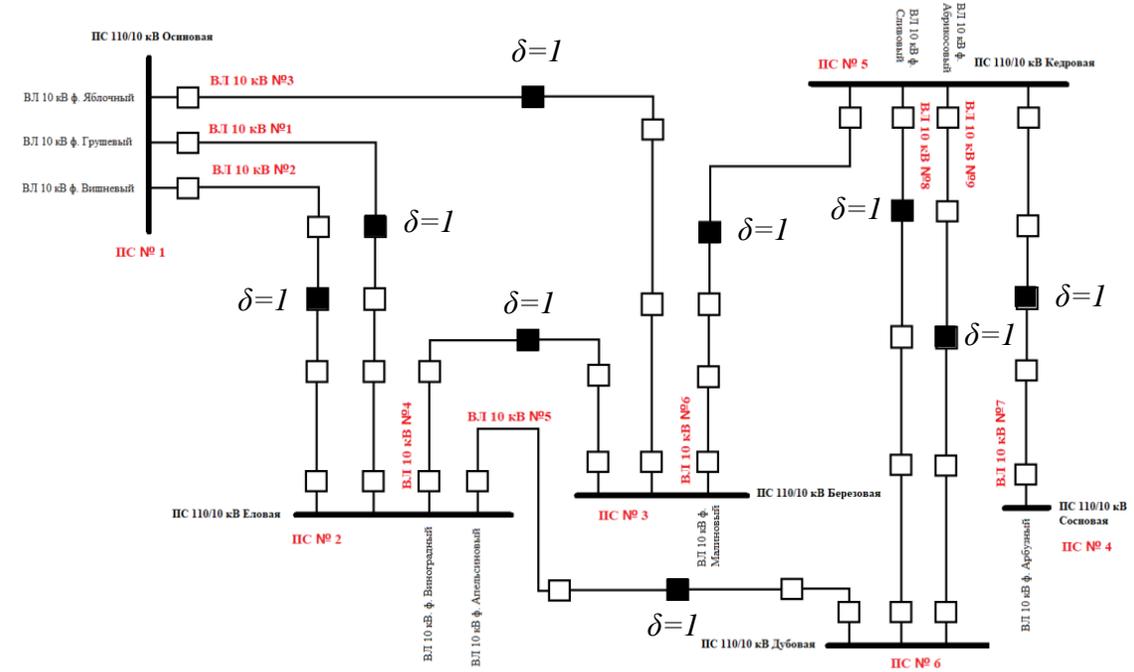
Задачи:

1. Разработка математической модели распределительной электрической сети с несколькими источниками питания среднего напряжения;
2. Создание методики определения оптимальных мест нормальных разрывов в распределительной электрической сети с несколькими источниками питания среднего напряжения на основе разработанной математической модели;
3. Разработка алгоритма и программного обеспечения автоматизированной системы управления перетоком электроэнергии по распределительной электрической сети с несколькими источниками питания среднего напряжения;
4. Экспериментальная апробация автоматизированной системы управления перетоком электроэнергии по распределительной электрической сети с несколькими источниками питания среднего напряжения.

Оптимизация мест нормальных разрывов в распределительных сетях с двумя источниками питания



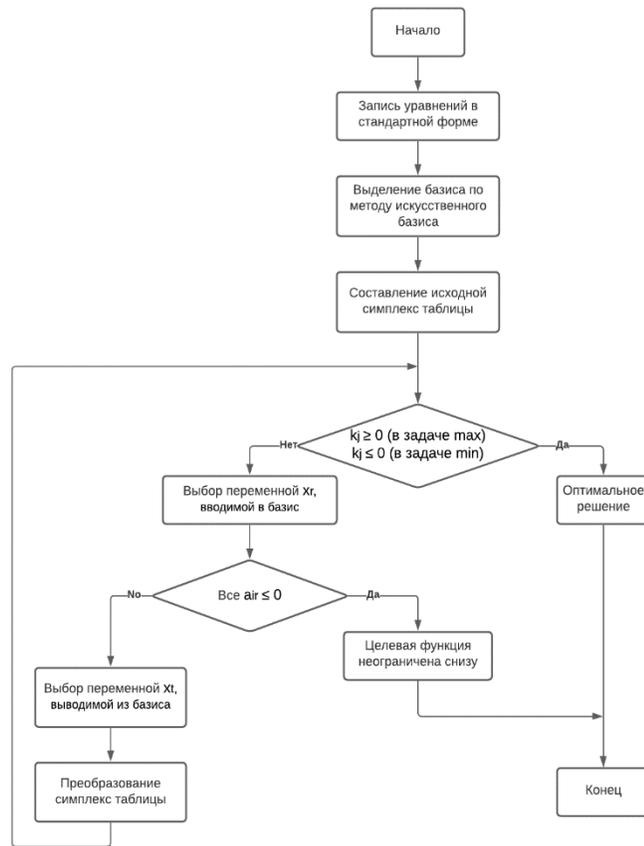
$\delta_{i(j)}^{p-q} = 1$ – реклоузер разомкнут
 $\delta_{i(j)}^{p-q} = 0$ – реклоузер замкнут



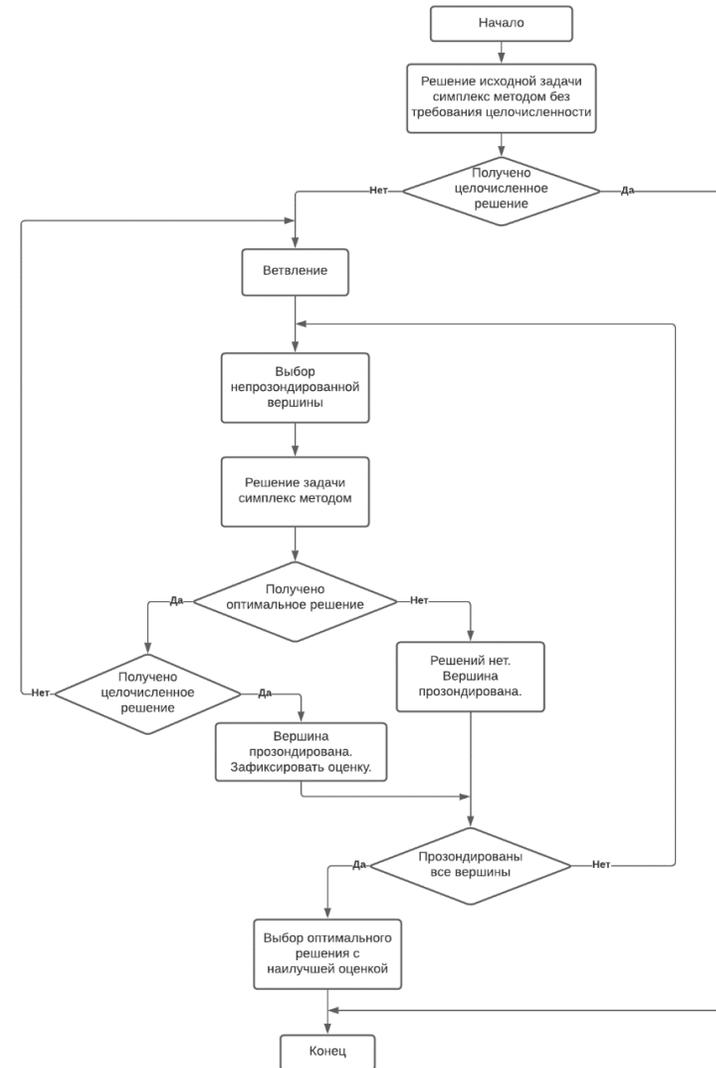
Математическая модель задачи оптимизации

- Целевая функция: $\Delta P = \sum_{\substack{1 \leq p \leq N \\ 1 \leq q \leq N}} \sum_{i=1}^{K^{p-q}} \sum_{j=1}^{K_i^{p-q}} \Delta P_{i(j)}^{p-q} \delta_{i(j)}^{p-q} \rightarrow \min$
- Ограничения по резервам мощности центров питания: $\sum_{i=1}^{K^{1-2}} \left[S_i^{1-2} \left(\sum_{j=1}^{K_i^{1-2}} \delta_{i(j)}^{1-2} d_{i(j)}^{1-2} (1) \right) \right] + \dots + \sum_{i=1}^{K^{1-N}} \left[S_i^{1-N} \left(\sum_{j=1}^{K_i^{1-N}} \delta_{i(j)}^{1-N} d_{i(j)}^{1-N} (1) \right) \right] \leq S_1$
- Ограничения на единственность разрыва на линии: $\sum_{j=1}^{K_i^{p-q}} \delta_{i(j)}^{p-q} = 1$
- Граничные условия: $\delta_{i(j)}^{p-q} \in \{0,1\}$

Алгоритмы решения задачи определения оптимальных мест нормальных разрывов

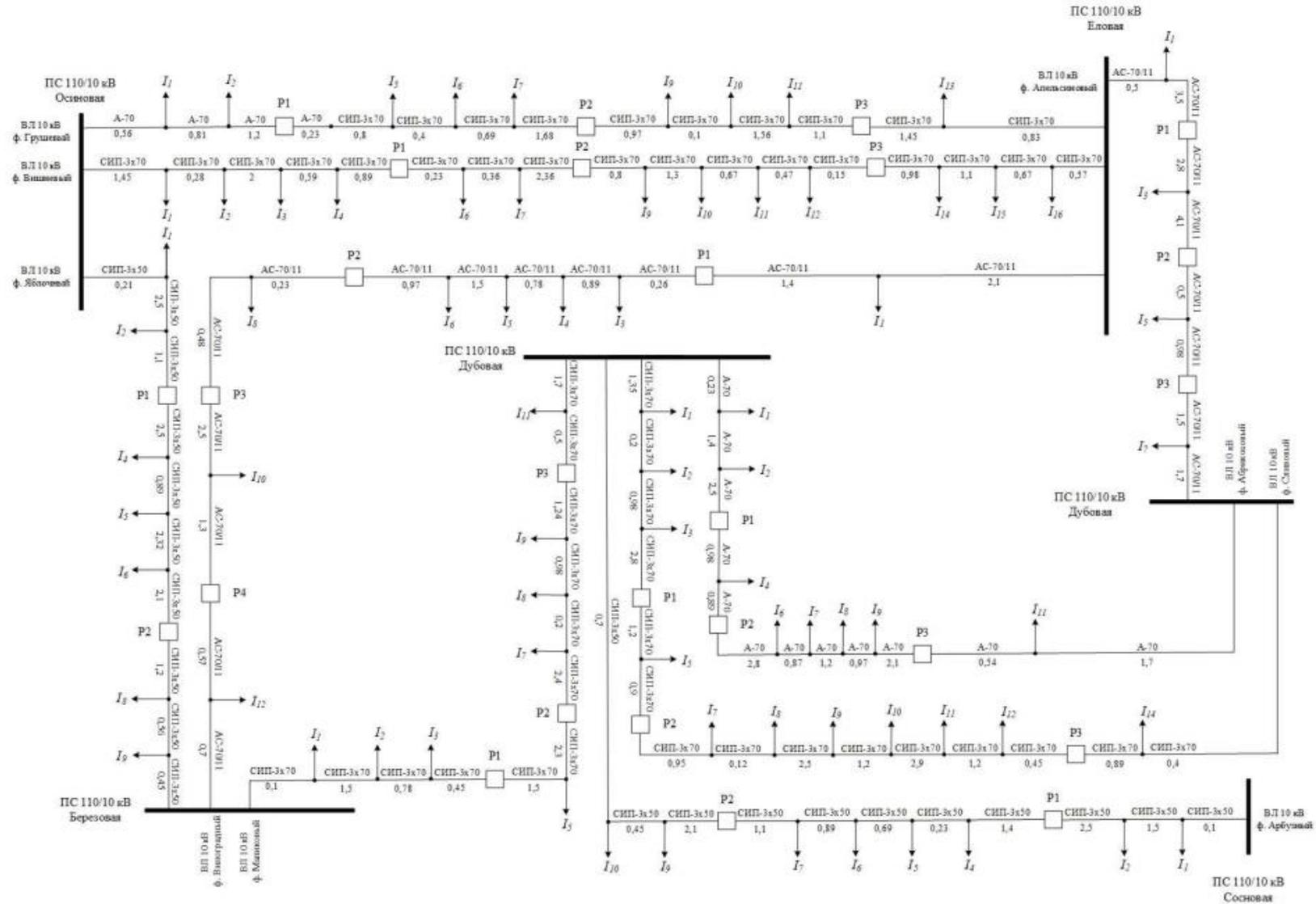


Блок-схема алгоритма симплекс метода



Блок-схема алгоритма метода ветвей и границ

Пример решения задачи определения оптимальных мест разрывов



Пример решения задачи определения оптимальных мест разрывов

	ВЛ-10 кВ ф. Грушевый			ВЛ-10 кВ ф. Вишневый			ВЛ-10 кВ ф. Яблочный		ВЛ-10 кВ ф. Виноградный			ВЛ-10 кВ ф. Апельсиновый		ВЛ-10 кВ ф. Малиновый	ВЛ-10 кВ ф. Арбузный	ВЛ-10 кВ ф. Сливовый			ВЛ-10 кВ ф. Абрикосовый						
Ограничение по резерву мощности ПС 110/10 кВ Осиновая	636	2435	2580	1126	1798	2271	420	949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	8868
Ограничение по резерву мощности ПС 110/10 кВ Еловая	2489	690	545	1381	708	236	0	0	2650	2813	3358	600	2219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	5811
Ограничение по резерву мощности ПС 110/10 кВ Березовая	0	0	0	0	0	0	1167	638	1452	1289	744	0	0	3220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	6283
Ограничение по резерву мощности ПС 110/10 кВ Сосновая	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1402	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	11326
Ограничение по резерву мощности ПС 110/10 кВ Кедровая	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	637	1147	491	1509	4562	309	1292	2748	0	0	<=	18722
Ограничение по резерву мощности ПС 110/10 кВ Дубовая	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1765	146	0	0	4380	3362	309	2949	1966	510	0	0	<=	14571
Ограничение по количеству разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Грушевый	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	
Ограничение по количеству разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Вишневый	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	
Ограничение по количеству разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Яблочный	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	
Ограничение по количеству разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Виноградный	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	
Ограничение по количеству разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Апельсиновый	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	
Ограничение по количеству разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Малиновый	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	
Ограничение по количеству разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Арбузный	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	=	1	
Ограничение по количеству разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Сливовый	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	=	1	
Ограничение по количеству разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Абрикосовый	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	=	1	
Коэффициенты целевой функции	45726,03	20546,47	23134,69	15178,18	13898,53	23789,50	4586,03	6313,88	40632,41	45299,44	67716,07	16936,41	52722,83	67327,34	14024,36	123489,09	68693,28	195267,56	53464,20	24259,36	52644,94				

Результаты расчета

	A	B	C
241	Решение ЗЛЦП		
242			
243	Загрузка ПС 110/10 кВ Осиновая	4653	
244	Загрузка ПС 110/10 кВ Еловая	4648	
245	Загрузка ПС 110/10 кВ Березовая	5839	
246	Загрузка ПС 110/10 кВ Сосновая	1402	
247	Загрузка ПС 110/10 кВ Кедровая	4585	
248	Загрузка ПС 110/10 кВ Дубовая	7093	
249	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Грушевый	1	
250	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Вишневый	1	
251	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Яблочный	1	
252	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Виноградный	1	
253	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Апельсиновый	1	
254	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Малиновый	1	
255	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Арбузный	1	
256	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Сливовый	1	
257	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Абрикосовый	1	
258	Потери	270904,1887	

	A	B	C
265	Оптимальная комбинация разрывов		
266			
267	Наименование линии	Место разрыва	
268	ВЛ-10 кВ ф. Грушевый	Реклоузер №2	
269	ВЛ-10 кВ ф. Вишневый	Реклоузер №2	
270	ВЛ-10 кВ ф. Яблочный	Реклоузер №1	
271	ВЛ-10 кВ ф. Виноградный	Реклоузер №2	
272	ВЛ-10 кВ ф. Апельсиновый	Реклоузер №2	
273	ВЛ-10 кВ ф. Малиновый	Реклоузер №3	
274	ВЛ-10 кВ ф. Арбузный	Реклоузер №2	
275	ВЛ-10 кВ ф. Сливовый	Реклоузер №2	
276	ВЛ-10 кВ ф. Абрикосовый	Реклоузер №2	
277			

	A	B	C
240			
241	Решение ЗЛЦП		
242			
243	Загрузка ПС 110/10 кВ Осиновая	5800	
244	Загрузка ПС 110/10 кВ Еловая	5650	
245	Загрузка ПС 110/10 кВ Березовая	5310	
246	Загрузка ПС 110/10 кВ Сосновая	1402	
247	Загрузка ПС 110/10 кВ Кедровая	6655	
248	Загрузка ПС 110/10 кВ Дубовая	3404	
249	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Грушевый	1	
250	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Вишневый	1	
251	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Яблочный	1	
252	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Виноградный	1	
253	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Апельсиновый	1	
254	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Малиновый	1	
255	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Арбузный	1	
256	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Сливовый	1	
257	Количество разрывов на ВЛ-10 кВ ф. Абрикосовый	1	
258	Потери	476676,7712	

	A	B	C
264			
265	Наихудшая, с точки зрения потерь, комбинация разрывов		
266			
267	Наименование линии	Место разрыва	
268	ВЛ-10 кВ ф. Грушевый	Реклоузер №3	
269	ВЛ-10 кВ ф. Вишневый	Реклоузер №3	
270	ВЛ-10 кВ ф. Яблочный	Реклоузер №2	
271	ВЛ-10 кВ ф. Виноградный	Реклоузер №2	
272	ВЛ-10 кВ ф. Апельсиновый	Реклоузер №3	
273	ВЛ-10 кВ ф. Малиновый	Реклоузер №3	
274	ВЛ-10 кВ ф. Арбузный	Реклоузер №2	
275	ВЛ-10 кВ ф. Сливовый	Реклоузер №3	
276	ВЛ-10 кВ ф. Абрикосовый	Реклоузер №1	
277			

Оптимальная комбинация разрывов

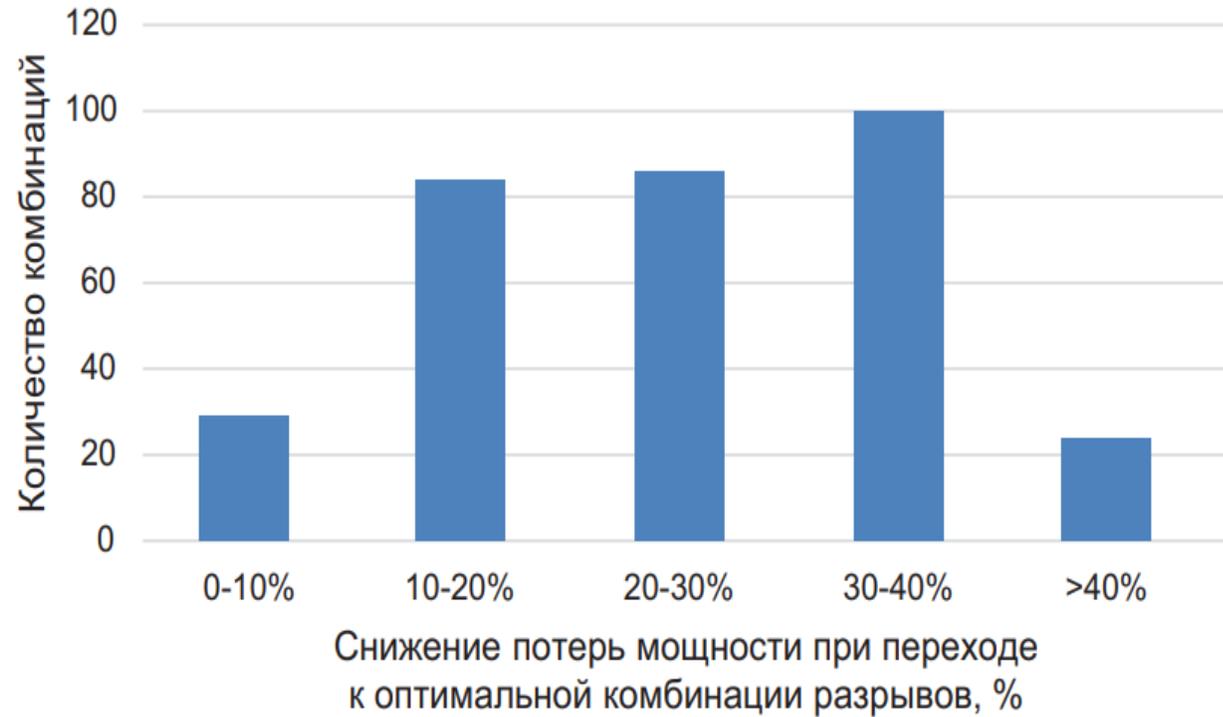
Наихудшая комбинация разрывов

Потери мощности при оптимальной комбинации разрывов – 270904,2 Вт
 Потери мощности при наихудшей комбинации разрывов – 476676,8 Вт
 Снижение уровня потерь – 43%

Результаты расчета

Снижение потерь мощности при переходе к оптимальной комбинации	Количество комбинаций
0-10%	29
10-20%	84
20-30%	86
30-40%	100
>40%	24
Всего комбинаций	323

Среднее снижение уровня потерь: 24,85%



Благодарю за внимание!