

Разработка алгоритма выбора оптимальной загрузки/разгрузки объектов генерации по командам диспетчерского персонала с учётом ранжированных таблиц

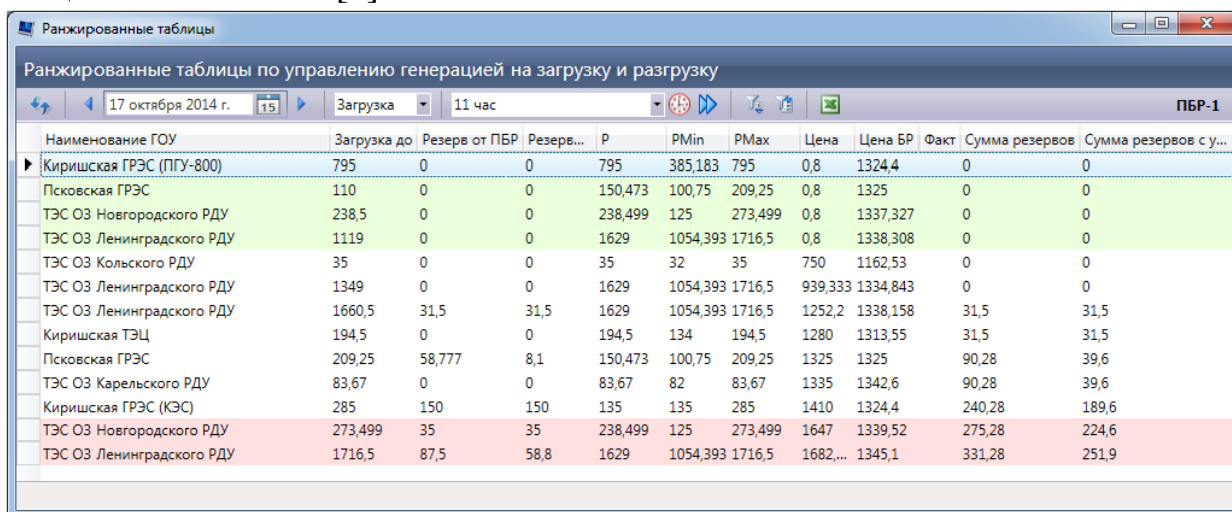
Р.Б. Иманкулов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

(ИШЭ, гр. О-5КМ01)

В настоящее время при отклонении фактической мощности, потребляемой в ЭЭС от планового значения или при отклонении вырабатываемой мощности ГОУ от плановой, диспетчерский персонал осуществляет загрузку/разгрузку ГОУ в соответствии с ранжированными таблицами (РЖТ).

На рисунке 1 приведен пример РЭТ. Ранжированная таблица состоит из ГОУ с разделением на ранги. В ходе формирования РЖТ ранги сортируются по ценовым заявкам [1].



Наименование ГОУ	Загрузка до	Резерв от ПБР	Резерв...	P	PMin	PMax	Цена	Цена БР	Факт	Сумма резервов	Сумма резервов с у...
Киришская ГРЭС (ПГУ-800)	795	0	0	795	385,183	795	0,8	1324,4	0	0	
Псковская ГРЭС	110	0	0	150,473	100,75	209,25	0,8	1325	0	0	
ТЭС ОЗ Новгородского РДУ	238,5	0	0	238,499	125	273,499	0,8	1337,327	0	0	
ТЭС ОЗ Ленинградского РДУ	1119	0	0	1629	1054,393	1716,5	0,8	1338,308	0	0	
ТЭС ОЗ Кольского РДУ	35	0	0	35	32	35	750	1162,53	0	0	
ТЭС ОЗ Ленинградского РДУ	1349	0	0	1629	1054,393	1716,5	939,333	1334,843	0	0	
ТЭС ОЗ Ленинградского РДУ	1660,5	31,5	31,5	1629	1054,393	1716,5	1252,2	1338,158	31,5	31,5	
Киришская ТЭЦ	194,5	0	0	194,5	134	194,5	1280	1313,55	31,5	31,5	
Псковская ГРЭС	209,25	58,777	8,1	150,473	100,75	209,25	1325	1325	90,28	39,6	
ТЭС ОЗ Карельского РДУ	83,67	0	0	83,67	82	83,67	1335	1342,6	90,28	39,6	
Киришская ГРЭС (КЭС)	285	150	150	135	135	285	1410	1324,4	240,28	189,6	
ТЭС ОЗ Новгородского РДУ	273,499	35	35	238,499	125	273,499	1647	1339,52	275,28	224,6	
ТЭС ОЗ Ленинградского РДУ	1716,5	87,5	58,8	1629	1054,393	1716,5	1682,...	1345,1	331,28	251,9	

Рисунок 1 – Представление ранжированной таблицы

При этом, в соответствии с [2], решающую роль для диспетчерского персонала при выборе состава ГОУ для покрытия возникшего отклонения играет информация на финальный час действия диспетчерской команды. Поэтому выбранный состав ГОУ может быть не оптимальным с точки зрения стоимости выработки электрической энергии принятым составом ГОУ. Это связано с тем, что стоимость генерации ГОУ в составе РЖТ может значительно измениться на протяжении действия диспетчерской команды.

Для обеспечения минимальной стоимости загрузки/разгрузки ГОУ в данной работе разработан алгоритм, позволяющий перераспределить нагрузку на всём протяжении действия диспетчерской команды.

Исходными данными для оптимизационного расчета являются: время начала действия команды; время окончания действия команды; общий объем загрузки/разгрузки.

Переменными в данной задаче являются данные о загрузке ГОУ. У загрузки ГОУ есть два типа границ. Внешние границы – минимальная и максимальная загрузка объекта ГОУ, а также внутренние границы – ограничения маневренности ГОУ за определенный период времени. При этом существуют следующие условия работы ГОУ:

1. Загрузка ГОУ не может выйти за пределы внешних границ на всём промежутке расчета;
2. Загрузка ГОУ не может выйти за пределы внутренних границ за один промежуток расчета. Внутренние границы пересчитываются после каждого промежутка расчета (см. рисунок 2).

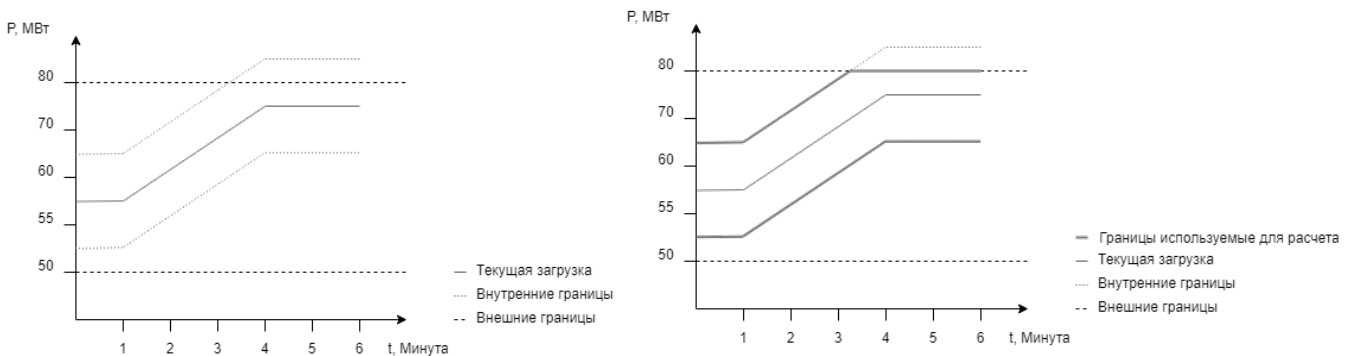


Рисунок 2 – Внутренние и внешние границы переменных в процессе расчет (слева), финальные границы переменных (справа)

В случае, если на протяжении расчета внутренние границы выходят за рамки внешних границ, расчетными границами принимаются внешние как показано на рисунке 2 (справа).

Помимо границ загрузки ГОУ в задаче также имеются условные ограничения, выраженные в виде линейных равенств, необходимых для сохранения баланса генерации и потребления.

В используемой при оптимизации целевой функции должна оцениваться разница между ПДГ и УДГ ГОУ в РЖТ и стоимость отклонений должна назначаться в зависимости от того была ли произведена загрузка или разгрузка ГОУ. В случае проведения загрузки ГОУ выбирается максимальная цена между ценой, указанной ГОУ в заявке РСВ/ОЦПЗ(ОЦПУ) и ценой БР, а в случае разгрузки – минимальная цена.

Целевая функция определяет объем произведенной электрической энергии каждым ГОУ (Площадь_N) с учетом её стоимости (Цена_N) на основании актуальной РЖТ на время отдачи диспетчерской команды:

$$F_{min} = \sum_{\text{по минутно}} \left(\begin{bmatrix} \text{Площадь}_1 \\ \text{Площадь}_2 \\ \dots \\ \text{Площадь}_N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \text{Цена}_1 \\ \text{Цена}_2 \\ \dots \\ \text{Цена}_N \end{bmatrix} \right) \#(1)$$

$$\text{Цена}_N = \begin{cases} \text{if } X_N > P_{\text{ПДГ}_N} : \text{max}(\text{цена БР, заявка РСВ}) \\ \text{if } X_N < P_{\text{ПДГ}_N} : \text{min}(\text{цена БР, заявка РСВ}) \end{cases} \#(2)$$

$$\text{Площадь}_N = \text{Площадь четырехугольника} (X_N, X_{N-1}, P_{\text{ПДГ}_N}, P_{\text{ПДГ}_{N-1}}) \#(3)$$

Границы:

$$\begin{bmatrix} P_{min1} \\ P_{min2} \\ \dots \\ P_{minN} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} P_{speed_down1} \\ P_{speed_down2} \\ \dots \\ P_{speed_downN} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_N \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} P_{speed_up1} \\ P_{speed_up2} \\ \dots \\ P_{speed_upN} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} P_{max1} \\ P_{max2} \\ \dots \\ P_{maxN} \end{bmatrix} \quad \#(4)$$

УСЛОВИЯ:

$$\sum_{\text{по минутно}} X_N = \left(\sum_{\text{по минутно}} P_{\text{ПДГ}_N} \right) + P_{\text{доп}}, \quad \#(5)$$

где:

Площадь_N – количество электрической энергии, вырабатываемая ГОУ;
 Цена_N – цена ГОУ; X_N – нагрузка ГОУ на текущую итерацию расчета; X_{N-1} – нагрузка ГОУ на прошлую итерацию расчета; $P_{\text{ПДГ}_N}$ – нагрузка ГОУ по ПДГ на текущую итерацию расчета; $P_{\text{ПДГ}_{N-1}}$ – нагрузка ГОУ по ПДГ на прошлую итерацию расчета; P_{minN} – нижняя внешняя граница ГОУ; P_{maxN} – верхняя внешняя граница ГОУ; P_{speed_downN} – нижняя внутренняя граница ГОУ; P_{speed_upN} – верхняя внутренняя граница ГОУ; $P_{\text{доп}}$ – задание на нагрузку/разгрузку, отдаваемое диспетчером.

Схема работы алгоритма приведена на рисунке 3.

Работа алгоритма заключается в следующем:

На первом этапе алгоритм считывает актуальную РЖТ. Далее осуществляется выделение в ней промежутка, на котором необходимо обрабатывать команду и проводить оптимизационный расчет.

На следующем этапе работы происходит получение информации о скорости набора нагрузки тем или иным ГОУ. Это делается с помощью специального ПО «Скорость набора нагрузки».

Далее, на основе данных, поступающих от СМЗУ в виде оценённых текущих режимов работы, осуществляется оценка фактических запасов регулирования ГОУ, а также их фактическое состояние. При этом анализируется суммарная текущая нагрузка генераторов в составе ГОУ и сравнивается с информацией в РЖТ. В случае отклонения, осуществляется корректировка данных по запасу изменения активной мощности в РЖТ.

На следующем этапе запускается алгоритм оптимизационного расчета. Оптимизационный расчет проводится по минутно, на каждый шаг расчета рассчитываются границы, условные ограничения и мощность нагрузки, равномерно распределенная по всему временному диапазону оптимизации.

После проведения оптимизации происходит оценка наличия сетевых ограничений при изменении выработки мощности ГОУ в соответствии с полученными решениями по их нагрузке. Для этого выполняется

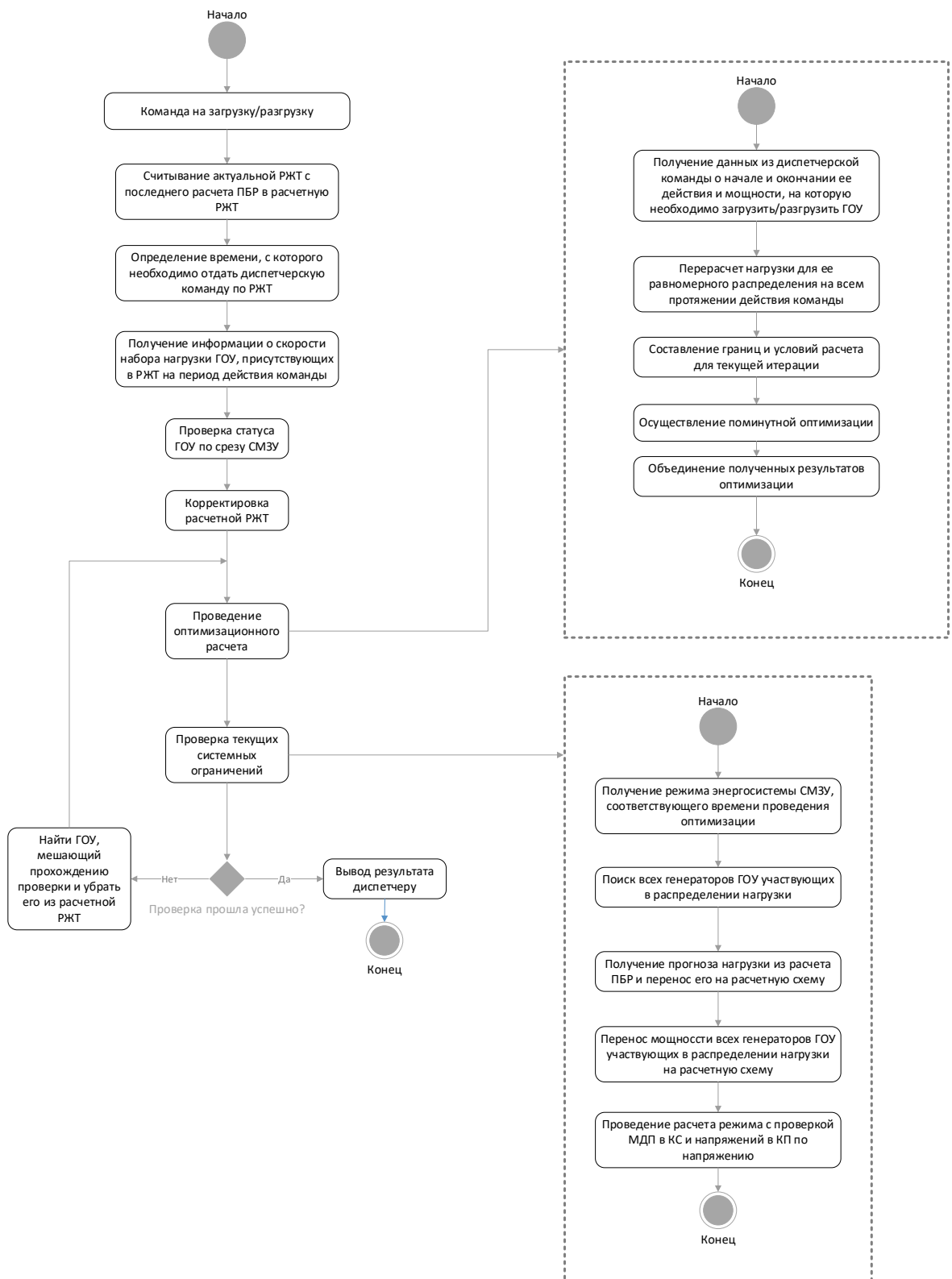


Рисунок 3 – Диаграмма работы алгоритма

Таблица 1. Результаты расчетов распределения мощности между ГОУ

GOU ID	Pmax, МВт	Средневзвешенная цена нагрузки, руб/МВт	Первая итерация			Вторая итерация			Третья итерация			Четвертая итерация		
			Р на 14:30, МВт	Р на 15:00, МВт	Р на 15:45, МВт	Р на 14:30, МВт	Р на 15:00, МВт	Р на 15:45, МВт	Р на 14:30, МВт	Р на 15:00, МВт	Р на 15:45, МВт	Р на 14:30, МВт	Р на 15:00, МВт	Р на 15:45, МВт
1	30,00	953,0559	11,36	11,43	12,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	35,00	934,9115	12,71	15,62	15,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	10,00	882,121	3,45	3,90	10,00	3,45	4,00	10,00	3,45	3,83	10,00	3,45	4,13	10,00
4	10,00	845,2869	4,30	8,17	10,00	4,32	8,73	10,00	4,31	8,99	10,00	4,37	9,80	10,00
5	35,00	844,1713	12,68	14,57	18,97	12,72	14,58	15,80	12,73	15,30	17,56	12,73	15,34	16,52
6	35,00	962,3214	12,31	12,85	12,95	12,24	12,80	13,25	12,33	13,22	13,09	12,34	12,92	12,93
7	110,00	998,6662	40,55	40,55	40,63	40,55	40,55	40,57	40,55	40,55	40,56	40,55	40,55	40,55
8	110,00	758,0772	40,72	44,26	53,70	40,75	44,31	54,20	-	-	-	-	-	-
9	110,00	968,2103	30,10	34,25	34,41	30,14	34,59	34,68	30,16	34,62	34,87	30,17	36,89	37,13
10	10,00	1034,885	3,69	3,76	4,70	3,69	3,83	4,13	3,69	3,86	4,06	3,71	3,76	4,37
11	10,00	770,9383	4,38	7,14	10,00	4,40	7,43	10,00	4,42	8,01	10,00	4,43	9,17	10,00
12	30,00	891,5753	12,08	12,27	16,85	12,08	12,61	18,00	12,08	12,38	17,95	12,08	12,09	20,24
13	30,00	764,243	12,23	16,63	23,20	12,26	16,71	24,18	12,29	17,66	26,78	12,30	19,18	30,00
14	80,00	953,5902	28,12	30,56	30,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	50,00	987,1658	16,81	17,06	17,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	50,00	981,2017	15,54	15,84	15,96	15,54	15,55	15,84	15,54	15,54	15,58	15,54	15,55	15,60
17	50,00	853,5661	17,72	17,94	26,52	17,72	18,33	28,55	17,72	18,16	31,89	17,72	18,85	37,17
18	50,00	877,5715	19,41	19,66	26,86	19,41	19,94	28,32	19,41	19,68	30,98	19,41	19,42	34,11
19	50,00	728,2728	18,36	24,83	34,73	18,40	26,40	39,22	18,43	28,39	46,43	-	-	-
20	135,00	847,1025	56,50	61,56	61,78	56,54	62,31	62,50	56,57	62,87	63,34	56,56	65,17	65,47
21	115,00	762,5531	44,22	47,83	56,21	44,25	47,70	56,18	-	-	-	-	-	-
22	200,00	754,0096	193,26	200,00	200,00	193,30	200,00	200,00	193,35	200,00	200,00	193,35	199,92	200,00
24	230,00	759,7648	193,62	201,50	201,50	193,66	202,34	206,97	193,71	204,36	230,00	193,75	205,89	211,68

равномерная загрузку генераторов в составе ГОУ до мощностей, полученных по итогам оптимизационного расчета. Далее сравниваются перетоки активной мощности в КС с актуальными значениями, полученными с помощью СМЗУ. В случае нарушения МДП в КС необходимо исключить ГОУ, загружающий КС из оптимизационного расчета и провести его заново. Выбор ГОУ для исключения выполняется по специальной таблице, составленной заранее. В данной таблице необходимо привести данные о том, как загрузка ГОУ на 1 МВт влияет на загрузку всех КС.

В случае успешной проверки текущих схемо-режимных ограничений осуществляется вывод диспетчеру данных о расчете загрузки ГОУ.

Проведем тестовый расчет с учетом схемно-режимных ограничений. Рассмотрим диспетчерскую команду на загрузку ГОУ 150 МВт на временном промежутке 14:30 – 15:45.

Расчет произведен итерациями после проверки возможности осуществления перераспределения нагрузки по итогам оптимизационного расчета. В таблице 1 приведены результаты расчетов, разбитые по итерациям. Анализ результатов расчетов показал, что распределение нагрузки происходит равномерно между всеми ГОУ участвующими в расчете, приоритет набора нагрузки отдается ГОУ с минимальной стоимостью нагрузки и доступным резервом. Итерации расчета возникли из-за превышения перетока в КС по итогам проверки оптимизационного расчета на схеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Приложение № 9 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка. Регламент оперативного диспетчерского управления электроэнергетическим режимом объектов управления ЕЭС России. – Текст : непосредственный.
2. Порядок отдачи и регистрации стандартных документируемых диспетчерских команд, распоряжений, разрешений и сообщений, используемых диспетчерским персоналом АО «СО ЕЭС» и его филиалов при управлении режимами работы объектов генерации участников оптового рынка и внешними перетоками – Текст : непосредственный. – [Б. м. : б. и.], Москва 2020. – Текст (визуальный) : электронный.

Научный руководитель: И.М. Кац, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ НИ ТПУ