Уральский
федеральный
университет
имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина
Уральский
энергетический
институт

Самойленко Владислав Олегович

«РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЛАНСОВ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ»

Семинар «Проблемы подключения и эксплуатации малой генерации»

Екатеринбург, 16.03.2017

В РАБОТЕ РАССМОТРЕНЫ

1. Распределенная генерация (РГ) и предпосылки её распространения;
2. Цели и задачи учета РГ в балансах мощности и энергии;
3. Текущие проблемы учёта РГ в балансах мощности и энергии ЕЭС;
4. Последствия неучёта или косвенного учёта РГ в балансах мощности и энергии;
5. Территориальная система формирования балансов мощности и энергии;
6. Обеспечение балансов мощности и энергии ЭС с РГ:
   - Снижение длительности диспетчерского и коммерческого интервалов;
   - Рыночная тарификация дисперсионной составляющей мощности;
   - Применение методики расчета балансов и режимов, основанной на величинах электроэнергии, не мощности;
   - Стимулирование РГ для работы со стратегией следования за нагрузкой и в режиме пиковой загрузки.

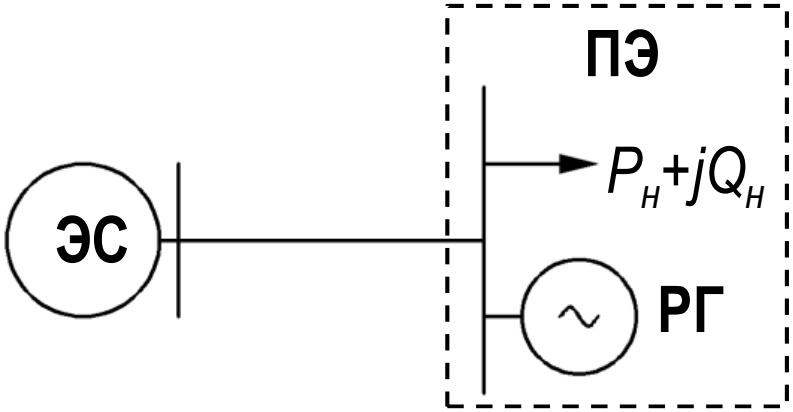
1. РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ ЕЁ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ

Распределенная генерация (РГ) - совокупность модульных генерирующих установок мощностью до 25 МВт, вырабатывающих электрическую энергию (ЭЭ) вблизи точки потребления. Подключается к системам электроснабжения и распределительным сетям. Преимущественно *собственная генерация* потребителей ЭЭ.

Объект	Класс напряжения, кВ	Установленная мощность, МВт
Вся совокупность РГ	0,4 – 110	≤ 25
! Типовой объект РГ	0,4 – 6 (10)	≤ 5

Потребительская энергосистема (ПЭ) – микроэнергосистема, включающая совокупность потребительских электроустановок в составе генерации, нагрузки и систем внутреннего электроснабжения.



ОБЗОР МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА

1. Общая характеристика РГ

Тип РГ	Причины распространения данного типа РГ
Электрогенерация на основе ВИЭ	Решение вопросов энергетической безопасности и экологии

2. Мощность РГ и класс напряжения распределительных сетей

РГ в мире (максимум)	РГ в мире (в среднем)
до 25 МВт ; до 69 кВ	5-15 МВт ; 20-45 кВ

3. Доля РГ в балансах в странах мира со значительным развитием РГ

в балансе мощности	в балансе энергии*
до 100,0 %	до 50,6 %

4. Приоритетность функционирования РГ перед системной генерацией - поддержка ВИЭ

→ Мировой опыт *равноправного* функционирования РГ и крупной системной генерации ограничен

ОБЗОР РОССИЙСКОГО ОПЫТА

1. Общая характеристика РГ

Тип РГ	Причины распространения данного типа РГ
Электрогенерация на основе углеводородного топлива	Невозможность ТП или ограничения ТП
Когенерация на основе углеводородного топлива	1. Экономическая выгода 2. Необходимость источника тепла

2. Ежегодно в России строится и реконструируется в среднем 1083 объекта распределенной генерации. Установленная мощность достигает 12,9 ГВт (6,1 % установленной мощности ЕЭС), из них 2,6 ГВт (1,2 %) работает только параллельно с ЕЭС;

3. Ведётся работа по развитию системы стандартизации по тематическому направлению «Распределенная генерация (включая ВИЭ)», в т.ч. разработка группы из 4-х ГОСТ.

СТЕПЕНЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РГ НА ПРИМЕРЕ ОЭС УРАЛА

Энергосистема	Данные научных организаций и консалтинговых компаний, 2016 г., % *	Данные ОАО "СО ЕЭС", 2016 г., % *	Данные ОАО "Россети", 2013 г., % *	Среднее значение, % *	Среднее значение, %**
Башкирская	2,00	2,47	3,70	2,72	3,25
Курганская	-	-	3,60	1,80	1,76
Оренбургская	4,40	0,26	4,40	2,33	**3,75**
Пермская	4-5	3,61	1,00	2,31	**4,68**
Свердловская	4,90	1,79	0,70	2,46	**4,16**
Удмуртская	-	-	0,80	0,80	0,06
Челябинская	5-6	2,06	2,40	2,23	2,43
Тюменская	-	1,69	1,90	1,80	2,46
Среднее	-	-	2,31	**2,06**	**2,82**

* Относительно установленной мощности (2016 г.); ** Относительно максимума электрической нагрузки (2015 г.).

Погрешность прогноза мощности нагрузки, %		
Энергосистема (РДУ)	Объединение ЭС (ОДУ)	Единая ЭС (ЦДУ)
2,0 - 6,0	0,5 - 2,0	~ 0,4

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЁТА РГ В БАЛАНСАХ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

СИСТЕМНЫЕ ЗАДАЧИ

1. Распределенная генерация создаёт системный эффект влияния множества разрозненных маломощных источников на балансово-режимную ситуацию в ЭС;
2. Действия по ведению или управлению РГ в зависимости от ее доли:

Доля РГ	Доля РГ, %	Действие
Сопоставимо с величиной погрешности прогноза и планирования балансов мощности и энергии	4 %	Нет (информационное ведение отдельных объектов РГ)
1) Больше величины погрешности прогноза и планирования балансов, но меньше величины регулярных колебаний; 2) сопоставимо с величиной оперативного резерва	6-15 %	Информационное ведение
Сопоставимо с величиной регулярных колебаний нагрузки в ЭС, величиной резервов	20-30 %	+ Диспетчерское ведение объединений РГ

3. Планирование: балансов мощности в обособленных и слабосвязных частях ЭС с РГ; оперативных резервов мощностей ЭС на загрузку/разгрузку; перспективного развития.

БАЛАНСОВЫЕ ЗАДАЧИ ЭНЕРГОСБЫТОВЫХ КОМПАНИЙ

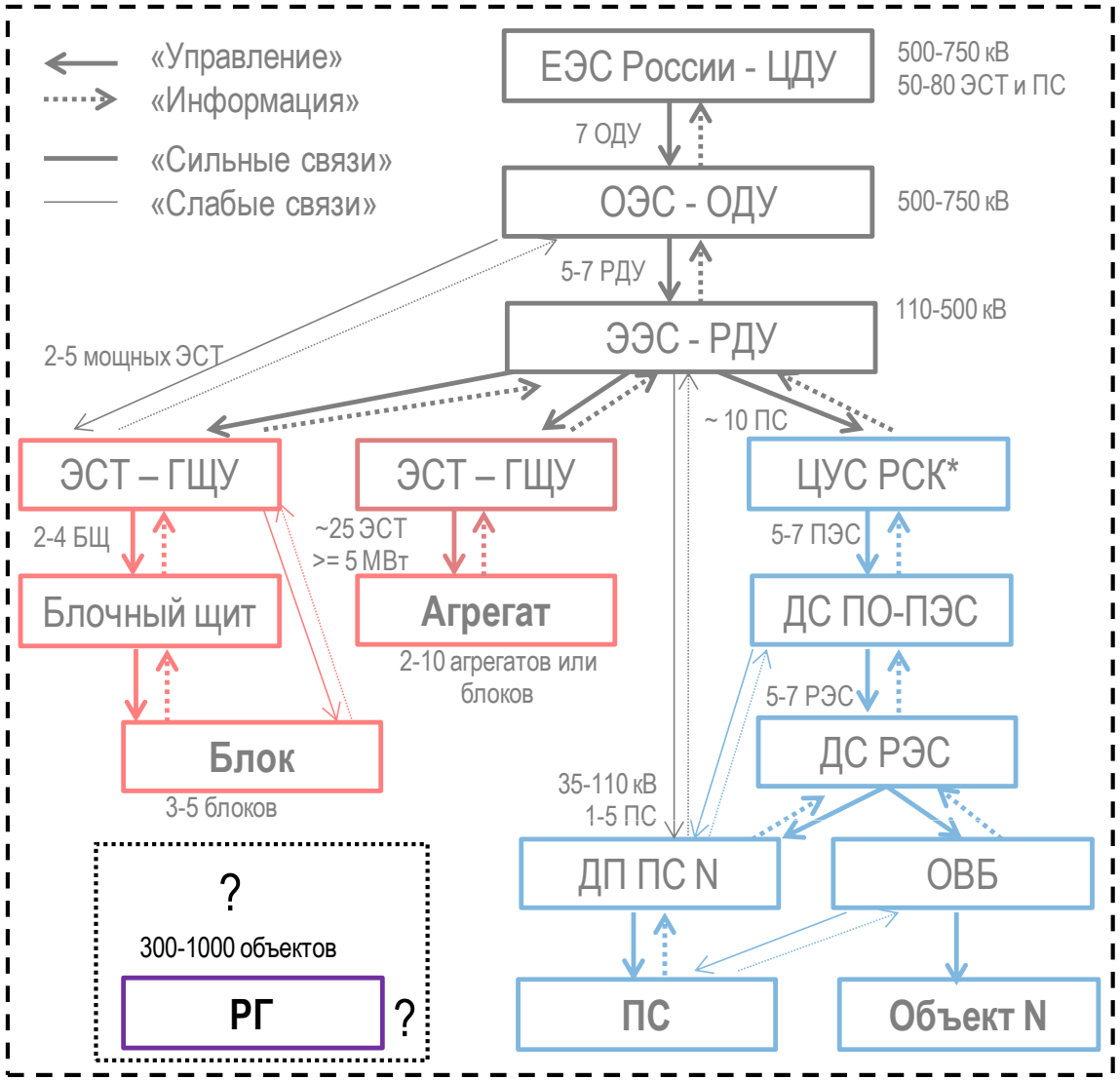
1. Планирование объемов закупок на оптовом рынке и реализации на розничном – уменьшение доли ЭЭ и мощности на балансирующем рынке;
2. Вовлечение новых источников энергии на розничном и оптовом (VPP) рынках;

БАЛАНСОВО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ СЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ

1. Целесообразен прямой или косвенный учёт установленной мощности РГ – как по техническим условиям на технологическое присоединение, так и по факту работы;
2. Оценка изменения объемов транспорта ЭЭ при внедрении РГ, коррекция инвестиционных программ;
3. Контроль уровня потерь, в т.ч. онлайн-мониторинг потерь и потоков ЭЭ.
4. Контроль загрузки отдельных элементов;

3. ТЕКУЩИЕ ПРОБЛЕМЫ УЧЁТА РГ В БАЛАНСАХ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ ЕЭС

СТРУКТУРА ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЕЭС



Баланс мощности:

$$P_l + \Delta P \pm P_{ex} = P_{ga} - P_r ,$$

Баланс энергии:

$$W_l + W_{aux} + \Delta W \pm W_{ex} = W_{ga} ,$$

→ При значительной доле РГ в балансах её интеграция – системная задача

→ Ключевая проблема – целесообразность и обоснованность взаимодействия РГ с различными уровнями оперативно-диспетчерского управления

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕПЯТСТВИЯ ДЛЯ УЧЁТА, ВЕДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РГ В ЕЭС

Системный оператор	Энергосбытовые компании	Сетевые компании
1. РГ подключается к распределительным сетям, а Системный оператор практически не осуществляет диспетчерское управление в распределительных сетях; 2. Высокие требования к каналам связи.	1. Не привязаны к топологии сети и условиям работы оборудования; 2. Не осуществляют оперативно-технологическое управление в распределительных сетях; 3. Слабая конкуренция на розничном рынке электроэнергии.	1. Планирование балансов мощности и краткосрочное планирование балансов энергии не входит в обязанности служб сетевых компаний.

ПРЕДЕЛЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАГРУЗКИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Количество субъектов	Интервал учёта					
	1 час	30 мин	15 мин	5 мин	1 мин	1 секунда
30	1	2	4	12	60	3600
100	3	7	13	40	200	12000
300	10	20	40	120	600	36000
1 000	33	67	133	400	2000	120000
3 000	100	200	400	1200	6000	360000
10 000	333	667	1333	4000	20000	1200000
30 000	1000	2000	4000	12000	60000	3600000

По количеству одновременно опрашиваемых каналов

По количеству каналов (объектов)

По количеству обрабатываемых измерений

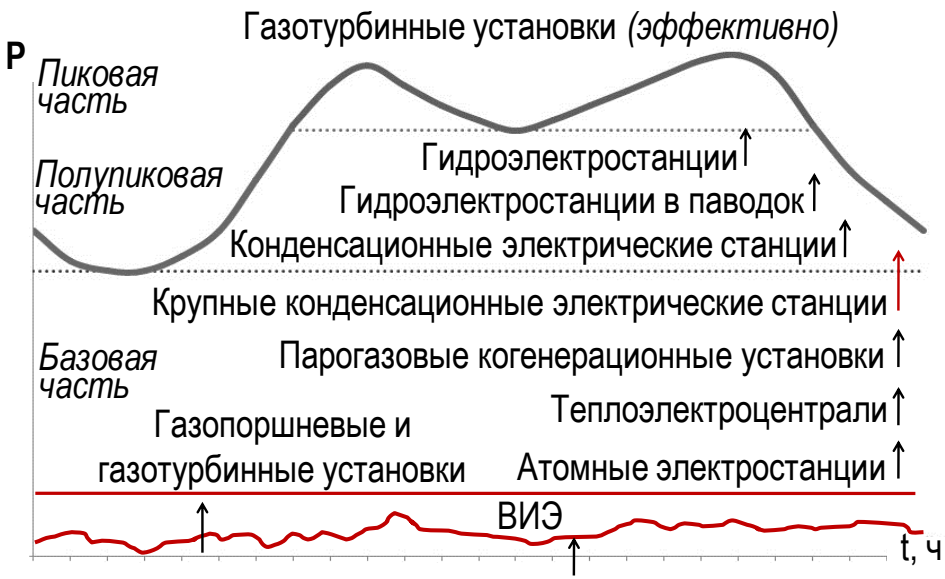
1. Рост информационной загрузки в 130 000 раз, максимально – на 6 порядков;
2. Помимо РГ, необходимо будет учесть подстанции – узлы распределительной сети!

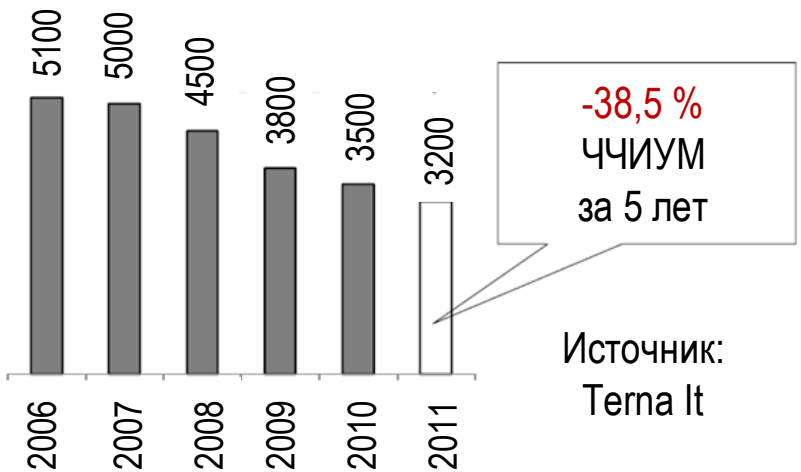
→ Для РГ целесообразен отдельный уровень иерархии оперативно-диспетчерского управления

3. ПОСЛЕДСТВИЯ НЕУЧЁТА ИЛИ КОСВЕННОГО УЧЁТА РГ В БАЛАНСАХ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

ПРИМЕРЫ ВЛИЯНИЯ РГ НА БАЛАНСЫ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ЭС.1

1. Общесистемные эффекты:





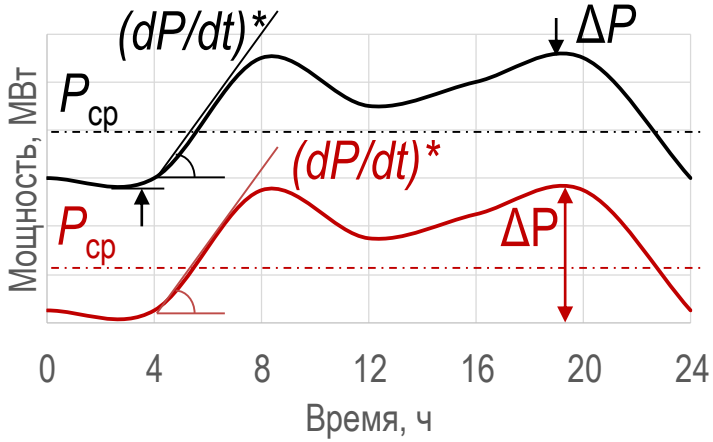
1.5. Снижение ЧЧИУМ крупных электростанций

1.1. Увеличение неравномерности графиков.

1.2. Вытеснение системной генерации из базы

1.3. Увеличение вариации графиков мощности $\frac{\Delta P}{P_{ср}}$

1.4. Увеличение относительной скорости набора/сброса нагрузки $\frac{(dP/dt)_i}{P_i}$

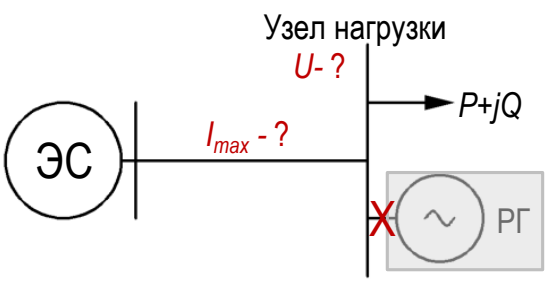


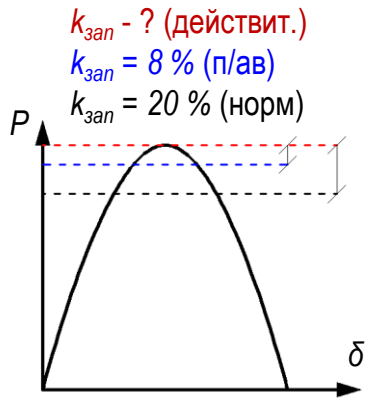
ПРИМЕРЫ ВЛИЯНИЯ РГ НА БАЛАНСЫ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ЭС.2

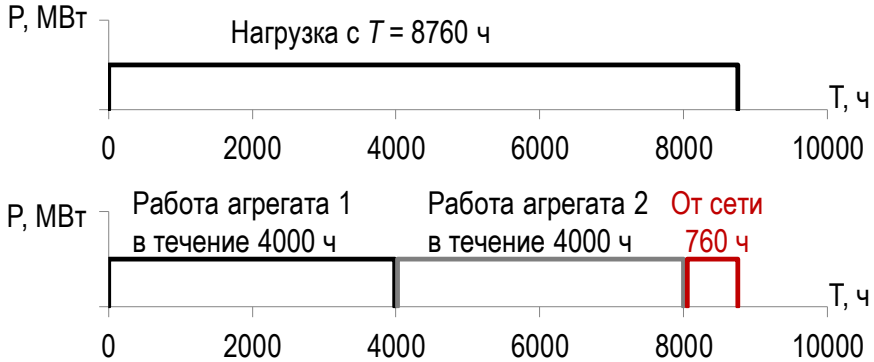
2. Косвенный учет РГ в составе нагрузки при прогнозировании вносит погрешность ввиду:

- нерегулярного характера выработки ЭЭ и мощности;
- различных стратегий её загрузки;
- математического закона распределения величины мощности обмена ПЭ с сетью, отличающегося в общем случае от нормального;
- самостоятельного определения ремонтных графиков и частых простоев;
- малого времени пуска/останова и большой мобильности установок РГ.

3. Локальные эффекты:







«Маскировка нагрузки». Наброcы мощности на сеть и ЭС, погрешности баланса энергии

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

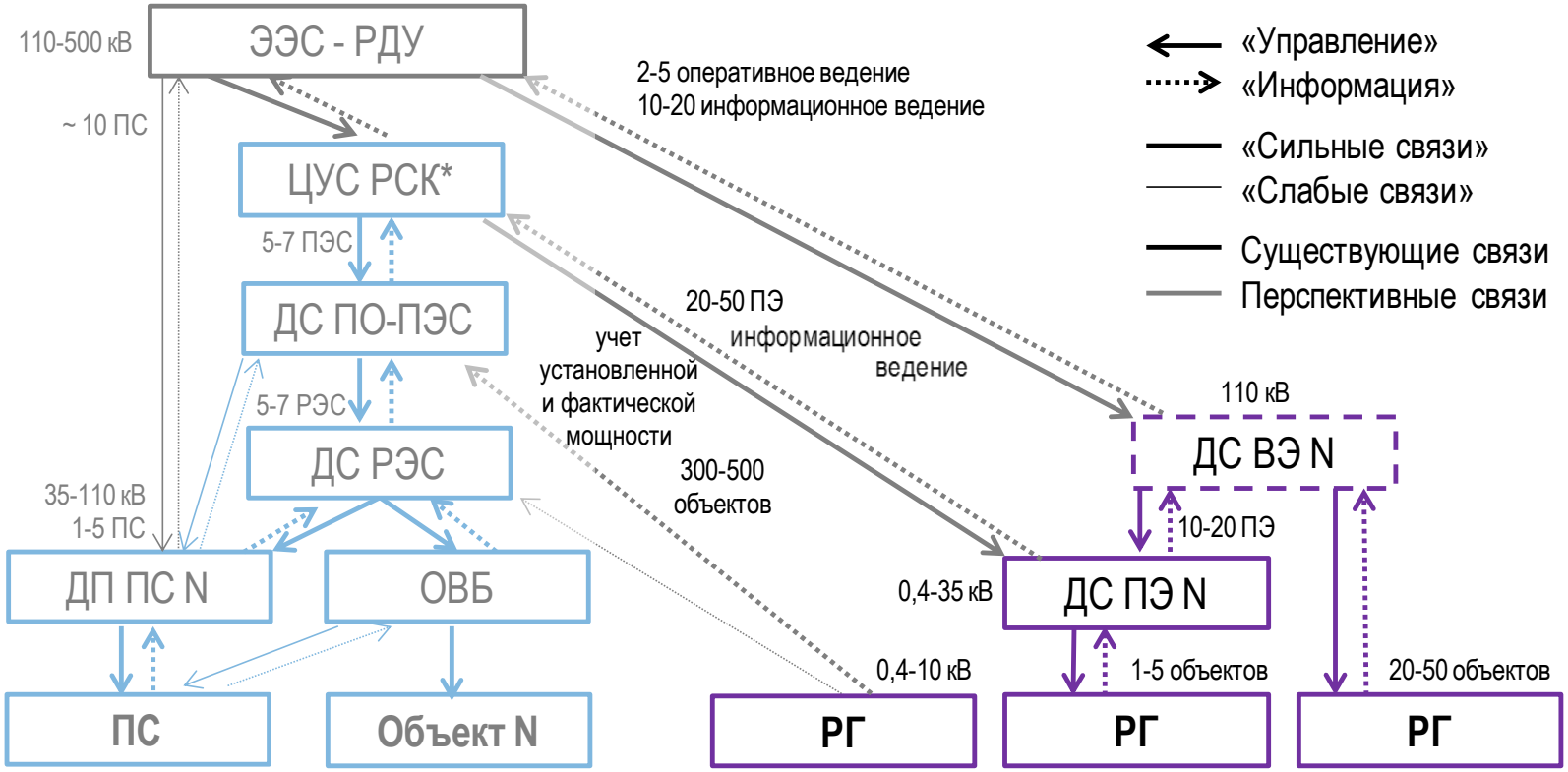
Цель работы – разработка методов обеспечения балансов мощности и энергии электроэнергетических систем с распределенной генерацией.

Ряд **задач работы** включает:

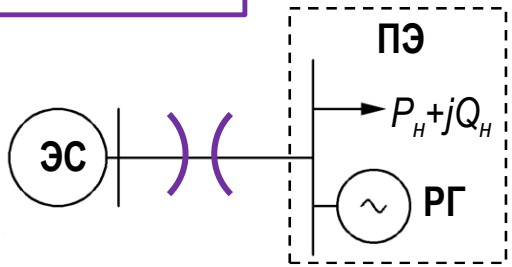
1. Анализ влияния РГ на балансы мощности и энергии ЭС;
2. Исследование влияния диспетчерского и коммерческого интервалов на балансовые и технико-экономические характеристики ПЭ и установок РГ;
3. Разработка и применение методик получения электрических параметров РГ с использованием данных систем учета ЭЭ;
4. Анализ мощности и выработки энергии РГ при работе в составе потребительских энергосистем в зависимости от параметров рынка ЭЭ;
5. Анализ особенностей применения основных информационных систем электроэнергетики для обеспечения балансов мощности и энергии ЭС с РГ (АСДУ-ОИК диспетчера, АСКУЭ, АИИС КУЭ, информационных систем рынков ЭЭ).

4. ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ БАЛАНСОВ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

СУЩЕСТВУЮЩИЕ И НОВЫЕ УРОВНИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РГ



1. Контроль перетока по сечению ЭС-ПЭ;
2. Соблюдение граничных условий;
3. Задание диапазона допустимых значений.

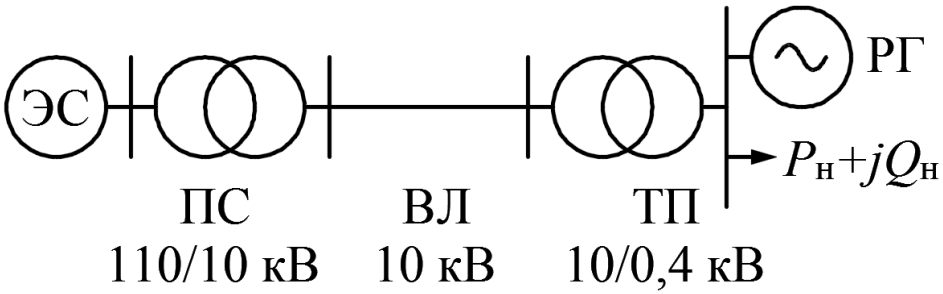


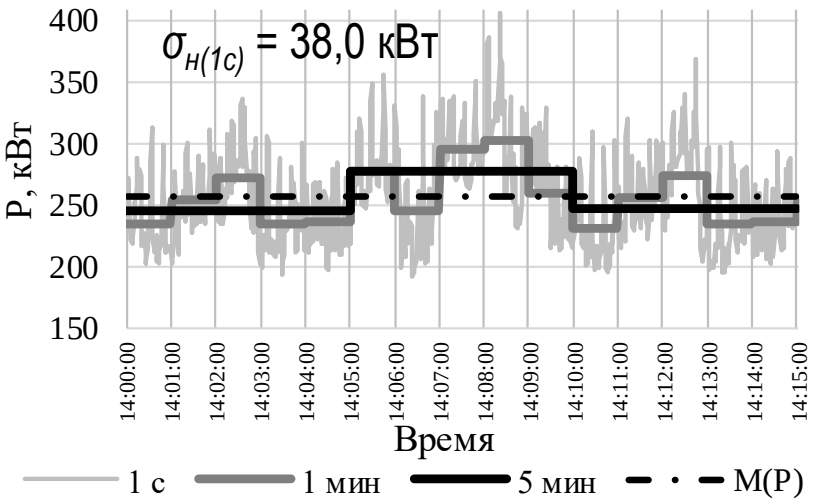
5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БАЛАНСОВ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ ЭС С РГ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ И ВЕДЕНИЯ РГ В РАБОТЕ

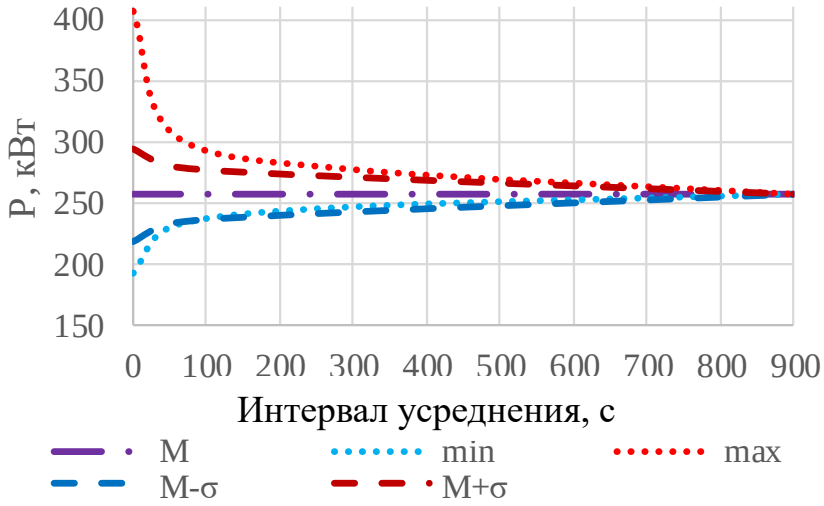
Реального времени:	Диспетчерские:	Краткосрочные:	Долгосрочные:
1. Реализация следования за нагрузкой	1.ЦУС- информационное ведение РГ и ПЭ	1. Формирование графика РГ и её нагрузок в рамках ПЭ	1. Влияние РГ на балансы ЭЭ
2. Уменьшение дисперсии мощности сетевого перетока	2. РДУ- диспетчерское ведение ВЭ		2.Учет установленной мощности РГ
	3. ВЭ- Диспетчерское управление РГ и ПЭ	2. Выбор стратегий загрузки	3. Влияние рыночных сигналов на выбор состава и мощности РГ
Управление:			
Автоматическое	Автоматизированное и автоматическое	Ручное и автоматизированное	Ручное и автоматизированное
Интервал:			
Интервал автоматического управления	Диспетчерский интервал	Диспетчерский и коммерческий интервалы	Отчетный период

УСРЕДНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗОК РГ НА ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕНИ





Объект	Интервал усреднения	Минимум графика нагрузки, %	Эквивалентная скорость изменения $P_н$ на интервале, %	
			1 час	1 сек
ОЭС	1 ч	85,3	4,46	$0{,}22\cdot10^{-6}$
ЭС, ПС 110/10 кВ	30 мин	47,3	28,45	0,01
ТП 10/0,4 кВ	*Требует оценки*	45,1	$1{,}23\cdot10^{5}$	34,25



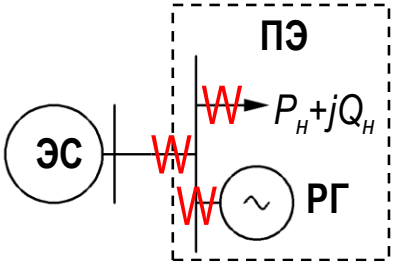
МОДЕЛЬ ПОКРЫТИЯ ГРАФИКА НАГРУЗКИ РГ В ПЭ

1. Стратегии загрузки:

1.1. Следования за нагрузкой $P_g \to P_l$,

1.2. Постоянной базовой загрузки $P_g = \min(P_l)$,

1.3. Постоянной полупиковой (средней) загрузки $P_g = M(P_l)$,



2. Ограничения:

2.1. По маневренности - регулировочному диапазону $n_{P^-} P_{g.r} \le P_g \le P_{g.r}$,

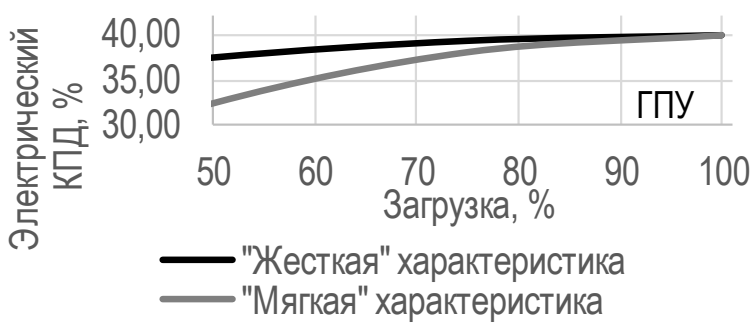
2.2. По мобильности.

2.2.1. По скорости снижения нагрузки $\Delta P^-_{g\,i} \le n_{\Delta P^+\,i} = P_{g.r}$ или $\Delta P^-_{г} \le n_{\Delta P^-}$,

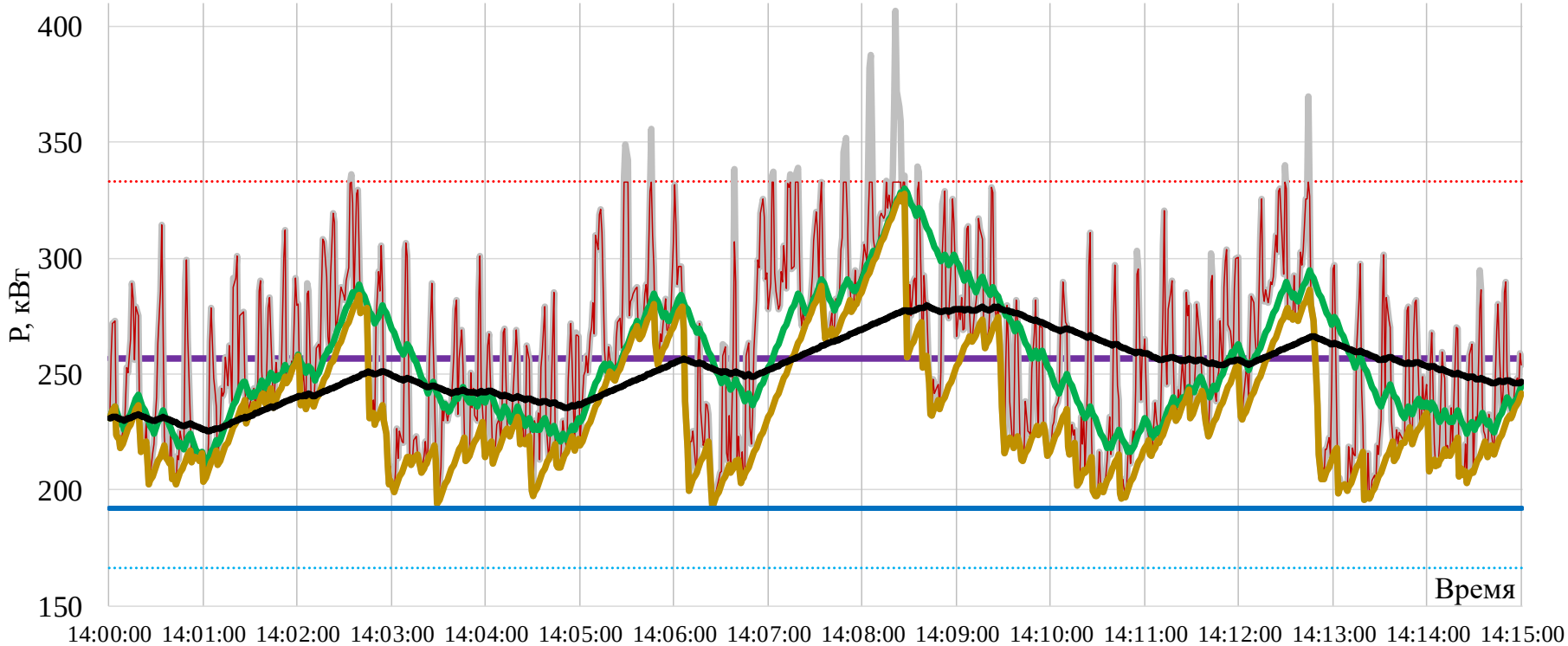
2.2.2. По скорости набора нагрузки $\Delta P^+_{g} \le n_{\Delta P^+}$ или $\Delta P^+_{g\,i} \le n_{\Delta P^+\,i} = f(P_{g\,i})$,

3. Учёт КПД:

$$\eta(P) = \frac{P_i}{aP_i^2 + bP_i + c}$$



ПОКРЫТИЕ НАГРУЗКИ РГ (ИНТЕРВАЛ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ГРАФИКА 1 С)



$P_{g.r}$ = 333 кВт ΔP_g^+ = 2 % / сек или $f(P)$

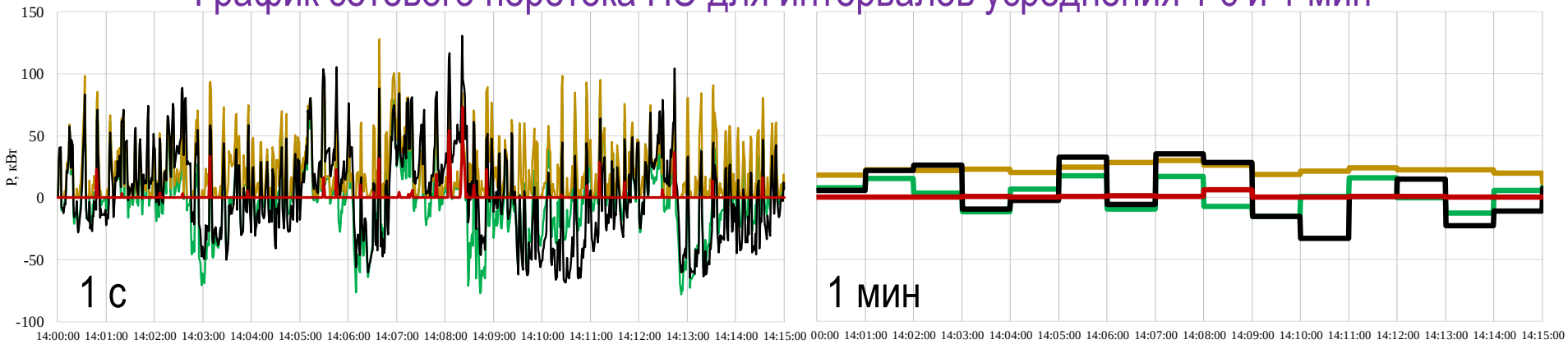
P^- = 50 % ΔP_g^- = 100 или 2 % / сек

- Верхний предел регулировочного диапазона
- Нижний предел регулировочного диапазона
- Мощность генерации при постоянной полупиковой загрузке
- Мощность нагрузки, дискретность 1 с ($\sigma_{Pсетев}$ = 38,0 кВт)
- Мощность генерации при работе с набросами нагрузки ($\sigma_{Pсетев}$ = 5,1 кВт)
- Мощность генерации с учетом ограничений по скорости набора и сброса нагрузки ($\sigma_{Pсетев}$ = 31,7 кВт)
- Мощность генерации с учетом ограничений по скорости набора нагрузки ($\sigma_{Pсетев}$ = 24,9 кВт)
- Мощность генерации при работе с постоянной базовой загрузкой ($\sigma_{Pсетев}$ = 38,0 кВт)
- Мощность генерации с учетом ограничений по скорости набора и сброса нагрузки, Т=200 с ($\sigma_{Pсетев}$ = 36,8 кВт)

ПОГРЕШНОСТЬ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ БАЛАНСОВ ПЭ. 1

1. На уровне ЭС скорость изменения нагрузки и дисперсионная составляющая мощности на коротких интервалах времени незначительны, поэтому целесообразно усреднение электрических параметров на длительных интервалах времени (диспетчерский и коммерческий интервалы в 1 ч).
2. На уровне ПЭ применение длительных интервалов для усреднения электрических параметров приводит к неучету дисперсионной составляющей мощности нагрузки, к наблюдаемым отклонениям в графике РГ в случае следования за нагрузкой.

График сетевого перетока ПЭ для интервалов усреднения 1 с и 1 мин



Небаланс мощности, стратегия работы с учетом ограничений по скорости набора и сброса нагрузки
Небаланс мощности, стратегия работы с учетом ограничений по скорости набора нагрузки
Небаланс мощности, стратегия с учетом ограничений по скорости набора и сброса нагрузки, T=200 с
Небаланс мощности, стратегия работы с набросами нагрузки

ПОГРЕШНОСТЬ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЭ

Расхождение в наблюдаемых параметрах при переходе от интервала автоматического управления 1 с к диспетчерскому интервалу 15 мин

Параметр*	Стратегия загрузки				
	Следование за нагрузкой			Постоянная	
	ограничена скорость набора и сброса нагрузки (T=200 с)	ограничена скорость набора нагрузки	с набросами нагрузки	базовая	полупиковая
A	12,32 (14,33)	9,69	1,98	14,78	14,78
B	95,67 (99,22)	78,25	5,55	99,89	100,00
C	0,84 (1,67)	8,88	0,32	25,16	0,00
D	0,33 (0,33)	1,09	0,31	3,31	0,00
E	1,03 (1,03)	3,43	0,95	10,94	0,00

A. Среднеквадратическая относительная разница между мощностью генерации и нагрузки, %;

B. Доля времени обмена мощностью с сетью, %;

C. Величина небаланса выработанной энергии относительно нагрузки, %;

D. Относительная разница в величине средневзвешенного КПД (жесткая характеристика), %;

E. Относительная разница в величине средневзвешенного КПД (мягкая характеристика), %.

УМЕНЬШЕНИЕ ДИСПЕТЧЕРСКОГО И КОММЕРЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛОВ

Международный опыт показывает, что с ростом доли РГ целесообразно уменьшение коммерческого и диспетчерского интервалов. Целесообразно деление коммерческого интервала для поддержания необходимых интегральных показателей на коммерческом интервале.

Европа: THE ENTSO-E SETTLEMENT PROCESS. VERSION 1.2. 2010-10-08. Диспетчерский интервал 15 мин, коммерческий интервал 15-60 мин.

США: **42886** **Federal Register** / Vol. 81, No. 126 / Thursday, June 30, 2016 /

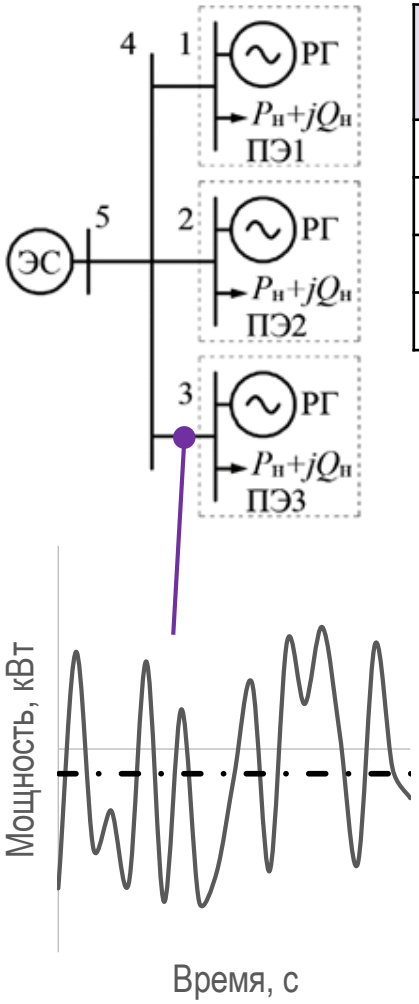
TABLE 1—RTO/ISO DISPATCH AND SETTLEMENT INTERVALS FOR ENERGY

	Real-time dispatch [32] (minutes)	Real-time settlement [33]
CAISO	5	5 minute.
ISO–NE	5	hourly average.
MISO	5	hourly average.
NYISO	5	5 minute.
PJM	5	hourly average.
SPP	5	5 minute.

five-minute clearing price.[35]

25. The PJM Market Monitor explains that, in PJM's regulation market, the offer price includes both the direct short-run marginal cost of providing regulation, which does not vary every five minutes, and the opportunity cost of providing regulation, which varies with five-minute LMPs. The PJM Market Monitor adds that PJM currently updates the opportunity cost every five minutes using five-minute LMP data for the regulation market and recalculates

УМЕНЬШЕНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТИ УСТАНОВКАМИ РГ



Дисперсии мощности по отношению к начальным % при стратегии загрузки	Сечение			
	1-4	2-4	3-4	4-5
Ограничена скорость набора и сброса нагрузки	69,4	36,9	38,5	45,8
Ограничена скорости набора и сброса нагрузки (Т↑)	94,0	62,5	74,3	72,4
Работа с набросами нагрузки	1,8	2,6	22,1	12,8
Ограничена скорости набора нагрузки	43,0	17,0	41,7	39,1

Соотношение термической нагрузки и потерь мощности (энергии) в зависимости от дисперсии мощности:

$$\frac{P_{\sigma_1}^2}{P_{\sigma_2}^2} \approx \frac{I_{\sigma_1}^2}{I_{\sigma_2}^2} = \frac{\Delta P_{\sigma_1}}{\Delta P_{\sigma_2}} = \frac{\Delta W_{\sigma 1}}{\Delta W_{\sigma 2}} = \frac{I_{av}^2+\sigma_1^2}{I_{av}^2+\sigma_2^2} = \boxed{\frac{1+\nu_1^2}{1+\nu_2^2}}; \qquad \frac{I_{\sigma_1}^2}{I_{av}^2} = \frac{\Delta P_{\sigma_1}}{\Delta P_{av}} = \frac{\Delta W_{\sigma 1}}{\Delta W_{av}} = \boxed{\frac{1+\nu_1^2}{1}}$$

Вариация, %	20	30	40	50
Снижение I^2 и ΔW, %	4	9	16	25

→ меньше потерь при том же сечении

→ те же потери при -1 п. номенклатуры сетевого оборудования

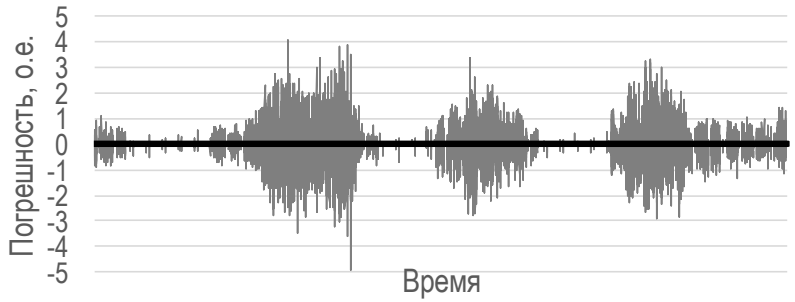
→ Возможно введение рыночной тарификации дисперсионных составляющих для уменьшения вариации графиков нагрузок

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ РГ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Проблемы

1. Дефицит источников информации. Основные - счетчики электроэнергии, АСКУЭ;

2. Увеличение изначально большой погрешности определения фактических потерь ЭЭ при распространении РГ;

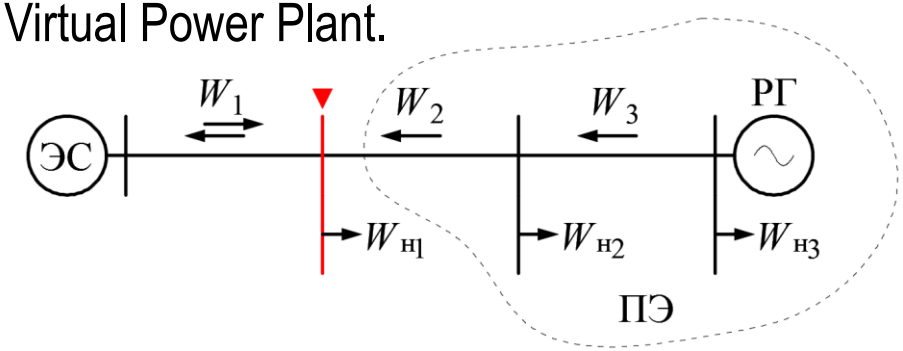


Потери ЭЭ	Сеть	РГ + сеть при стратегии	
		следования за нагрузкой	полупиковой загрузки
Расчетные, кВт	0,174	0,007	0,008
Измеренные, кВт	0,056	-0,021	-0,017
Разница, %	-67,9	-410,0	-344,7

Задачи

1. Введение элементов адресности, определение ответственности за загрузку элементов сети и потери ЭЭ

2. Определение электрических границ потребительских энергосистем и Virtual Power Plant.



ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ РГ

Методика энергораспределения позволяет получить расчетные аналоги для измеренных счетчиками величин электроэнергии и минимизировать невязки.

1. Уравнения балансов.

1.1. По узлам: $$\sum_{j\in\omega_i} W_{ij} + W_i = 0, \quad i = 1, 2, ..., N \quad ,$$

1.2. По ветвям: $$W_{ij} + W_{ji} + \Delta W_{ij} = 0, \quad i = 1, 2, ..., M \quad ,$$

2. Учет потерь.

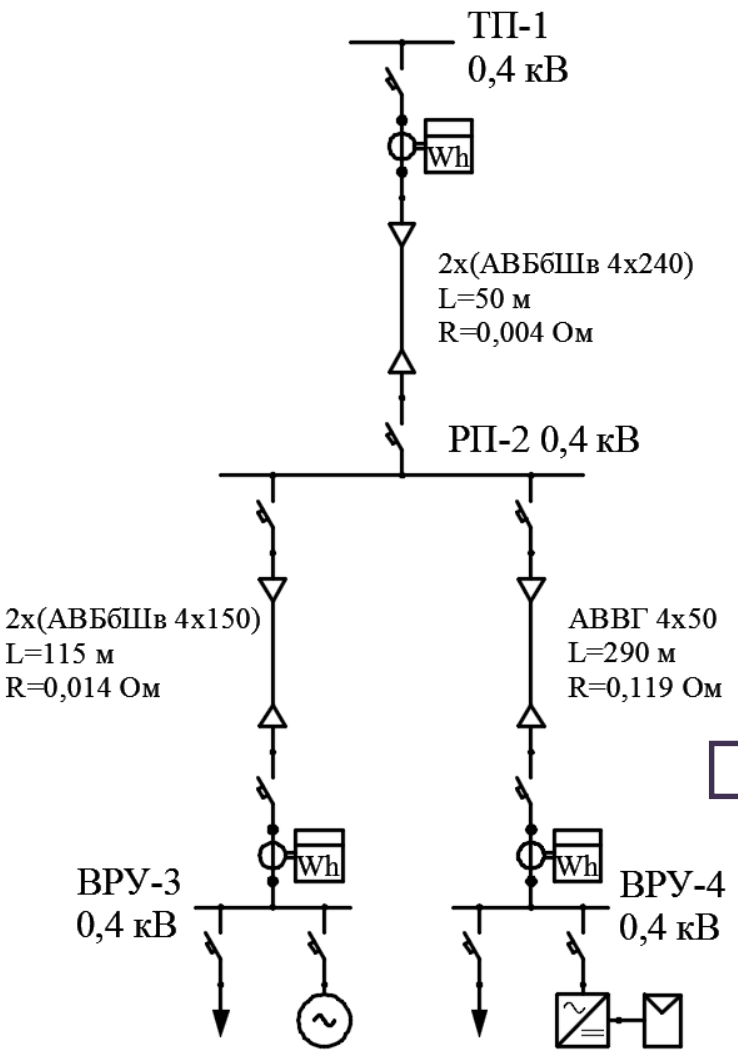
2.1. В шунтах: $$\Delta W_i^g = (\bar{U}_i^2 + \sigma_{Ui}^2) \cdot g \cdot (T - t_{откл})$$

2.2. Нагрузочных: $$\Delta W_{ij}^r = (\bar{I}_{ij}^2 + \sigma_{Iij}^2) \cdot r_{ij} \cdot (T - t_{откл}) \quad ,$$

3. Минимизация невязок : $$F = \sum_{i=1}^{k} r_i \left(\frac{W_i^{изм} - W_i^{расч}}{W_i^{расч}} \right)^2 \to \min \quad ,$$

3.1. Весовые коэффициенты: $$r_i = 1/\delta_i^2 \quad ,$$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

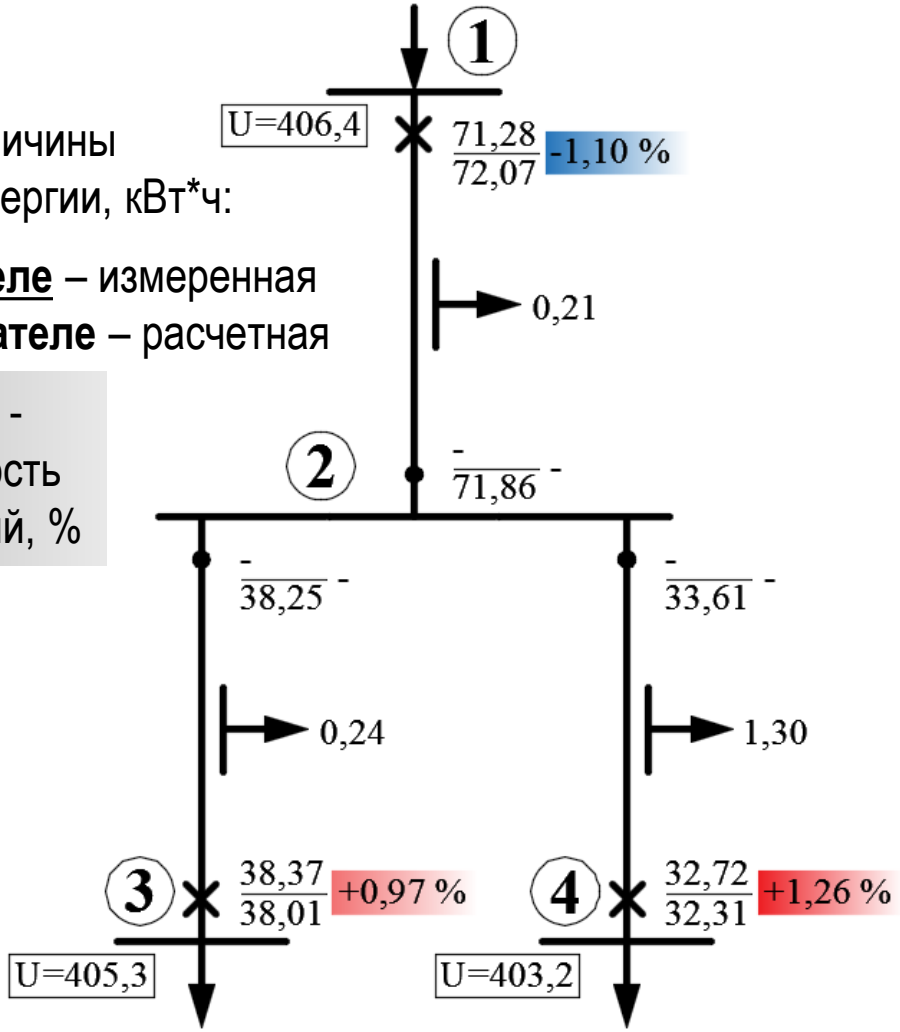


Величины электроэнергии, кВт*ч:

<u>В числителе</u> – измеренная

В знаменателе – расчетная

Градиент - погрешность измерений, %



ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕТОКОВ ЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ НАПРАВЛЕНИЯ

Текущая практика использования сальдо-перетоков обусловлена:

- однонаправленность потоков мощности в радиальных распределительных сетях;
- низкая скорость реверса в кольцевых сетях ВН;
- одинаковая стоимость потерь вне зависимости от направления протекания мощности.

$$\sigma^2_2 > \sigma^2_1$$

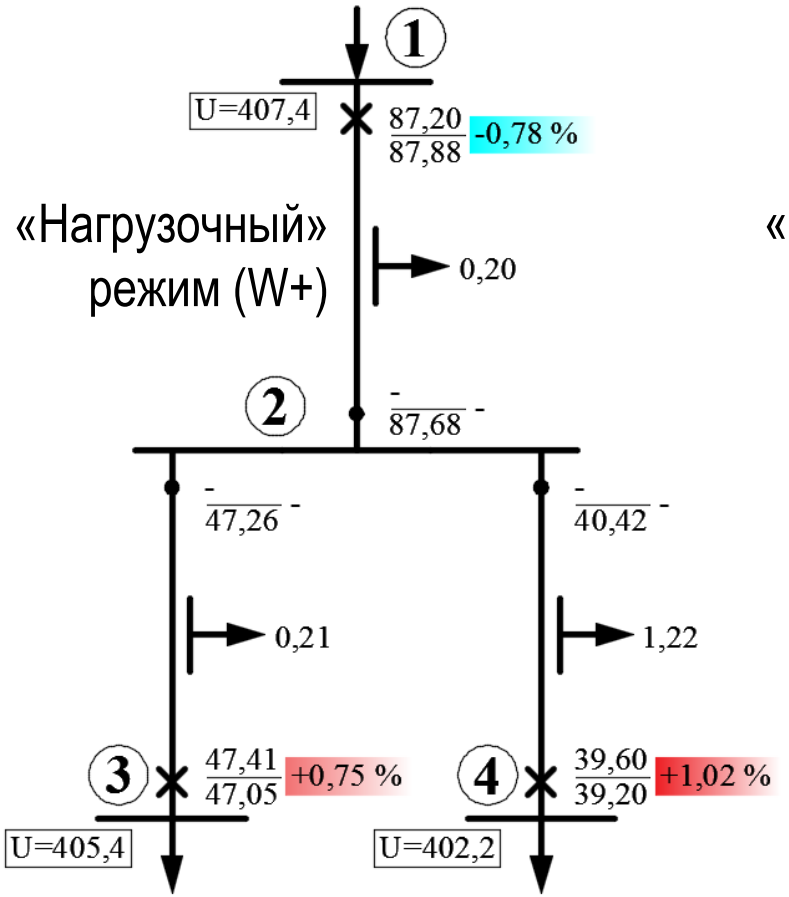
При наличии РГ целесообразен раздельный учет перетоков:

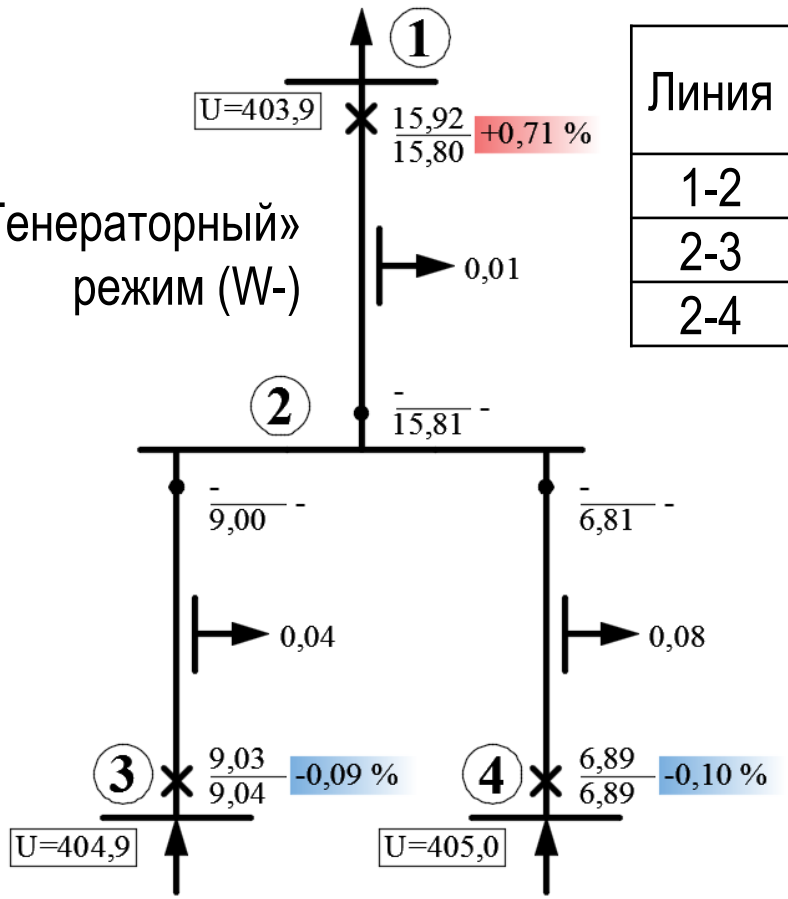
$$\sigma_2^2 = \overline{\sigma}_W^2 + \delta_W^2 \qquad n = \frac{\delta_W^2}{\sigma_2^2} \cdot 100\%$$

$$n > 50\ \%$$

Раздельный учет перетоков мощности позволяет в 2-3 раза более точно получать значения потребления, выдачи и дисперсий ПЭ с РГ.

МОДИФИЦИРОВАННОЕ ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАРИАТИВНОСТИ МОЩНОСТИ





Линия	Потери, %	
	W+	W-
1-2	0,224	0,087
2-3	0,442	0,388
2-4	3,027	1,155

В данном примере выгоднее

→ Модифицированное энергораспределение позволяет представить режим в «концентрированном» виде $W_{ср} \pm w_i$

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ РГ

1. Идентификация исходных данных
↓
2. Выбор суммарной мощности МГ
↓
3. Выбор состава ГО по показателям надежности
↓
4. Выбор состава ГО по технологическим параметрам
↓
5. Оценка технико-экономических параметров рассматриваемых вариантов
→
6. Выбор варианта: состав оборудования, P, W, стратегия загрузки

Типовые электрические параметры, используемых для тарификации нагрузок РГ в моделях рынков ЭЭ (на примере розничного рынка ЭЭ в ЕЭС):

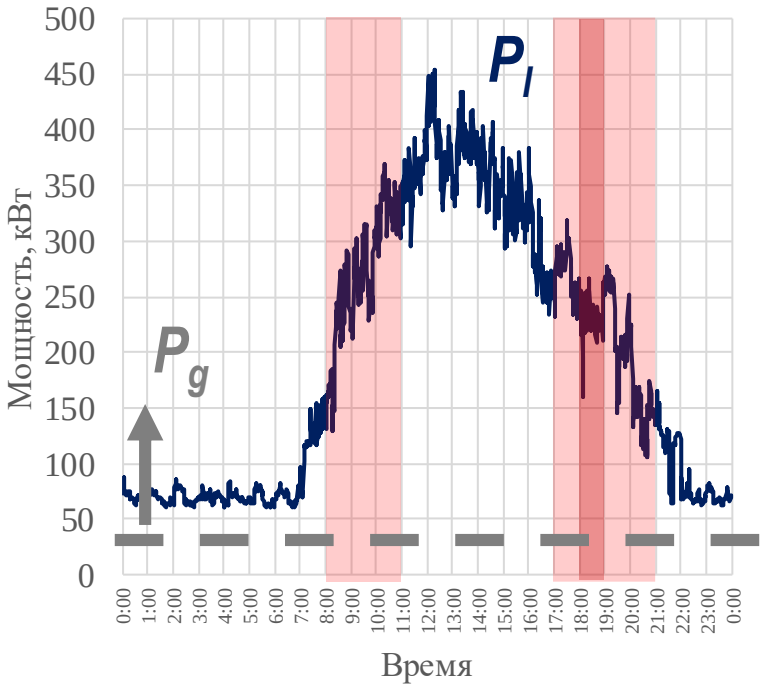
$$C_{VI} = \underbrace{\sum_{i=1}^{L} c_l W_l}_{1} + \underbrace{\frac{c_j}{J}\sum_{j=1}^{J} W_j}_{2.1} + \underbrace{\frac{c_k}{J}\sum_{k=1}^{J} W_k}_{2.2} + \underbrace{\sum_{l=1}^{L} c_{il}\left(W_l - W_i\right)}_{3} \quad ,$$

$$\ldots + C_{\sigma}$$

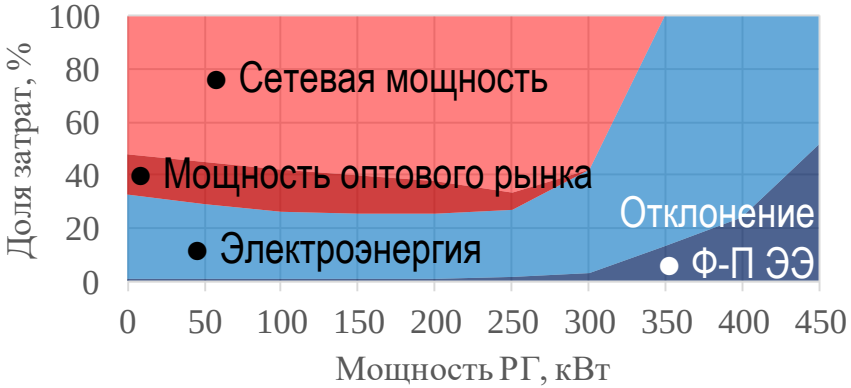
1. Электроэнергия;
2. Мощность:
   - 2.1. Мощность оптового рынка;
   - 2.2. Сетевая мощность;
3. Отклонение фактической величины электропотребления от плановой.

← Алгоритм выбора оптимальных мощности и состава оборудования РГ

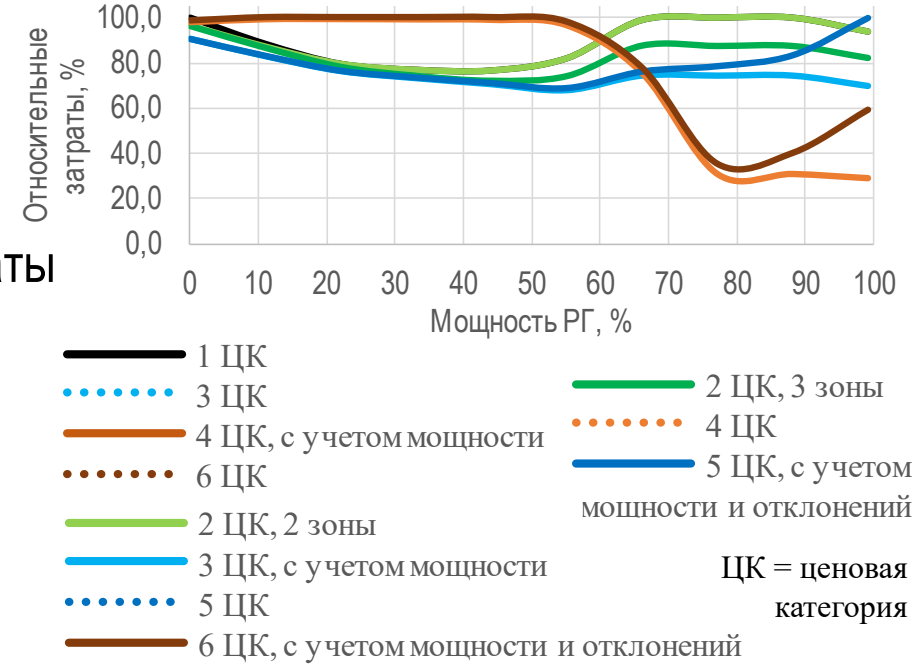
СТРУКТУРА СЕТЕВЫХ ЗАТРАТ ПЭ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МОЩНОСТИ РГ



Структура затрат



Затраты



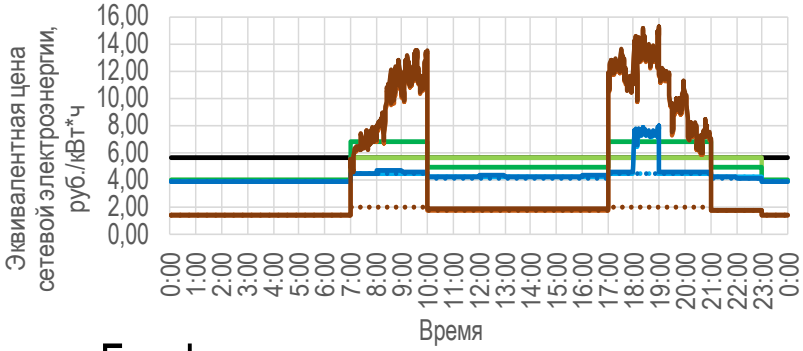


График эквивалентных сетевых цен

МОДЕЛЬ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ МОЩНОСТИ И СОСТАВА ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ПЭ

$$З(P_g) = З_{уст.РГ}(P_g) + З_{раб.РГ}(P_g) + З_{тех.с} + З_с(P_g) - Д_с(P_g) \to \min$$

$З_{уст.РГ}(P_g)$ Капиталовложения в установленную мощность РГ

$З_{раб.РГ}(P_g)$ Затраты на работу установки:

1. На топливо при $c_{gi}<c_i$, $c_{gi}(P_{gi}) = \dfrac{c_{ng}}{Q_{ng} \cdot \eta_{gi}(P_{gi})} \cdot 100\%$,

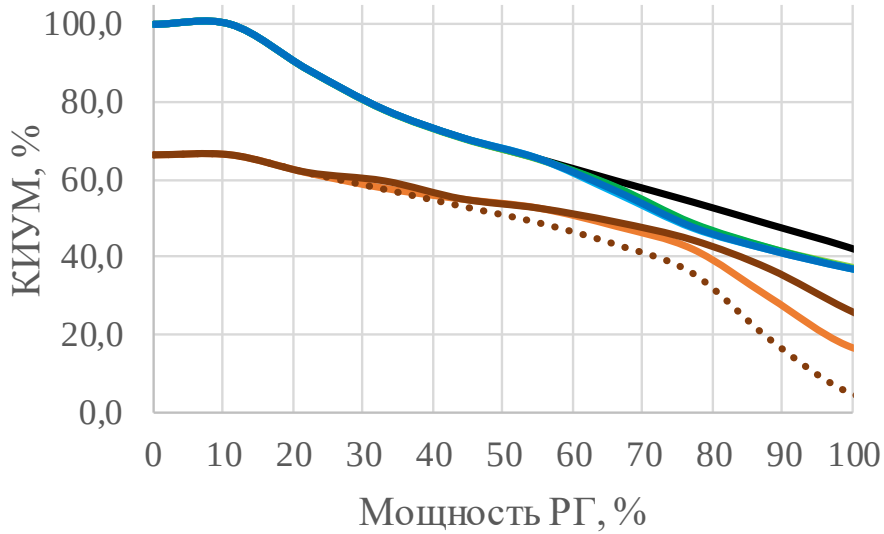
2. На обслуживание РГ:
   - 2.1. Условно-постоянные 5 %;
   - 2.2. Капремонт каждые 60 000 ч стоимостью 50 % от $З_{уст.РГ}(P_g)$;
   - 2.3. Счетчик моторесурса, включая +50 ч за каждый пуск.

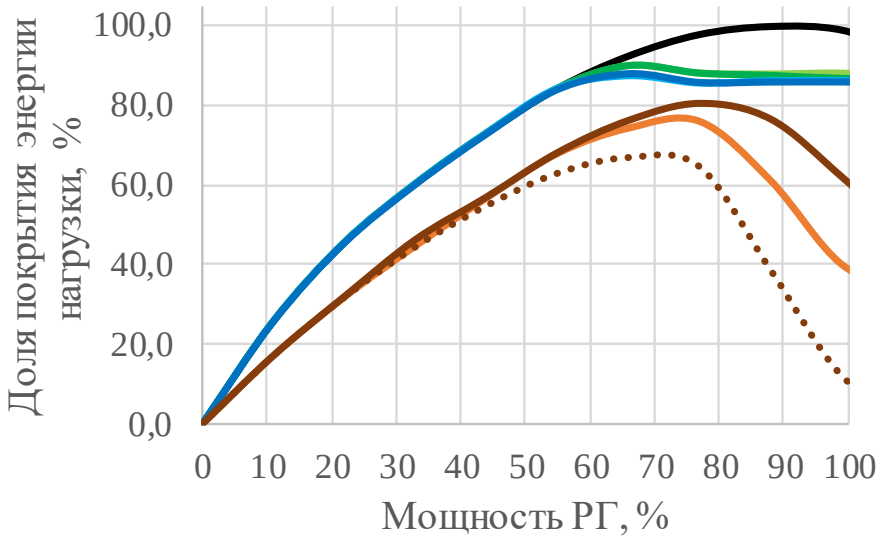
$З_{тех.с}$ Затраты на технологическое присоединение к сети

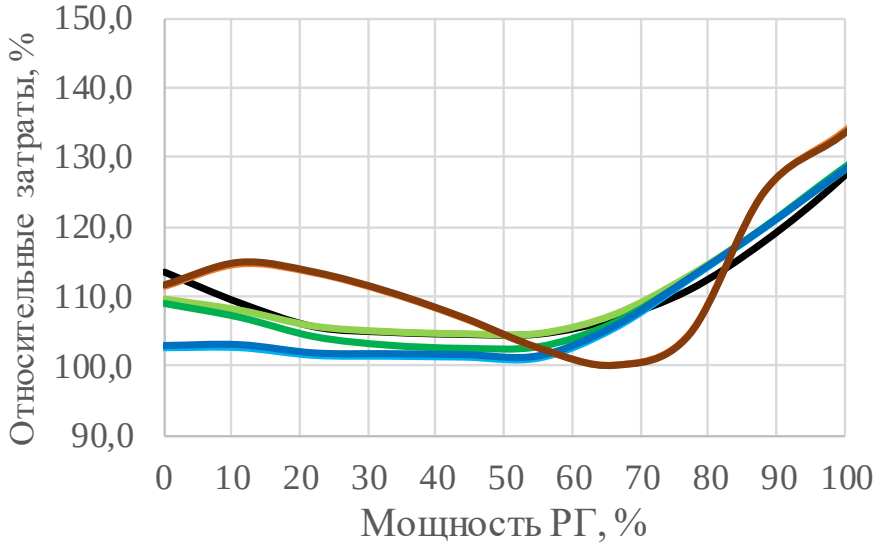
$З_с(P_g)$ Затраты на покупку сетевых энергии и мощности

$Д_с(P_g)$ Доход от продажи для стратегий постоянной загрузки и выдачи в сеть при c_i-c_{gi}

ПАРАМЕТРЫ РГ В СОСТАВЕ ПЭ







- РГ+ 1 ЦК
- РГ+ 2 ЦК 2 зоны
- РГ+ 2 ЦК 3 зоны
- РГ+ 3 ЦК
- РГ+ 4 ЦК
- РГ+ 5 ЦК
- РГ+ 6 ЦК
- РГ+ 6 ЦК без учета мощности

ЦК = ценовая категория

ВЫВОДЫ. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ. 1

1. Показана целесообразность интеграции РГ в процессы планирования и поддержания балансов мощности и энергии при её значительной доле в балансах. Выполнен анализ международного опыта интеграции РГ. Неучёт или косвенный учет РГ в составе нагрузки при формировании балансов мощности и энергии может приводить к вытеснению системной генерации из базовой части графика нагрузки, снижению её КИУМ, ухудшению условий её работы с точки зрения маневренности и мобильности; набросам мощности на сечения распределительной сети, погрешностям расчетов балансов энергии.

2. Выполнен анализ текущих организационно-технические препятствий для учета РГ в балансах мощности и энергии ЕЭС. Обосновано информационное ведение РГ и планирование её параметров на новых уровнях структурной иерархии управления: уровне потребительских энергосистем, уровне диспетчерских служб сетевых компаний, уровне виртуальной энергосистемы;

ВЫВОДЫ. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ. 2

3. Показан неучет значимых дисперсионных составляющих мощности нагрузки РГ, а также фактических параметров работы РГ при использовании длительных интервалов усреднения нагрузки – коммерческого и диспетчерского. Обоснована целесообразность уменьшения диспетчерского интервала при росте доли РГ с 1 ч до 5-15 мин;

4. Предложено использование стратегий следования РГ за нагрузкой для уменьшения вариации графиков нагрузки. Предложено использование РГ для снижения дисперсионных составляющих перетоков мощности, а также механизм стимулирования со стороны заинтересованных сетевых и энергосбытовых компаний;

5. Обоснована целесообразность использования величин ЭЭ на коротких интервалах времени для информационного ведения РГ в распределительных сетях ввиду широкого распространения источников измерительной информации в виде электрических счетчиков. Обосновано уменьшение интервала измерения коммерческих систем учета электроэнергии;

ВЫВОДЫ. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ. 3

6. Предложено использование методики энергораспределения для повышения достоверности измерительной информации о перетоках энергии в распределительных сетях при наличии РГ, для определения электрических границ ПЭ. Разработана модифицированная методика энергораспределения с применением метода наложения для определения определения влияния РГ на потоки и потери ЭЭ, представления режима в «концентрированном» виде;

7. Разработана методика выбора оптимальных мощности и выработки ЭЭ, состава оборудования, стратегии загрузки РГ при проектировании и решении вопросов перспективного развития ЭС в зависимости от типовых электрических составляющих, используемых для тарификации нагрузок РГ: 1) электроэнергия; 2) мощность; 3) отклонение фактической величины электропотребления от плановой. Обоснована целесообразность ее использования для поиска вариантов РГ с необходимыми балансовыми свойствами, в т.ч. стратегией следования за нагрузкой и пиковым режимом работы.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

Самойленко Владислав Олегович

«РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЛАНСОВ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ»

Специальность 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Екатеринбург, 2017