

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт энергетики

АНАЛИЗ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ ГИБКОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЕЁ ПОВЫШЕНИЮ

Докладчик:

**Косьмина Евгения Владимировна,
ukolovaevgenija@yandex.ru**

тел. 89086644069

Цель

детальный сопоставительный обзор публикаций за последние годы в части анализа основных причин снижения гибкости ЭЭС и мероприятий по ее повышению. На основании этого анализа формирование задач исследований по рассматриваемой проблеме.

Гибкость ЭЭС

Свойство системы сохранять нормальное состояние (режим) при воздействии внутренних (внезапные изменения и флуктуации генерирующих источников, нагрузок, потоков по линиям) и внешних (внезапные внешние возмущения различного происхождения) случайных (неопределенных) факторов.

Выводы по таблице: причины снижения гибкости ЭЭС

№ п/п	Причины снижения гибкости ЭЭС					Мероприятия по повышению гибкости ЭЭС				
	Флуктуации выдачи мощности и активных мощностей в соответствии с графиком	Неопределенность активной нагрузки	Снижение регулирующих эффектов нагрузки генерации	Снижение неопределенности ЭЭС	Влияние изоляции	Настройка электросети	Резервирование сети	Управление активной нагрузкой	Обеспечение баланса мощности, резервирование	Управление мощностью генерации
1										
10										
12										
13										
14										
43										
3										
24										
25										
28										
53										
15										
11										
17										
40										
4										
33										
6										
7										
9										
26										
11										
54										
36										
35										
46										
2										
38										
30										
42										
61										
5										
62										
19										
51										
21										
23										
48										
44										
47										
60										
63										
39										
46										
18										
32										
22										
48										
20										
29										
34										
37										
50										
31										
58										
59										
27										
41										
45										
16										

73% – флуктуации выдачи мощности ветроагрегатами и солнечными станциями.

20% - неопределенность нагрузки активных потребителей.

15% снижение регулирующих эффектов нагрузки по напряжению и частоте и частотных характеристик генерации

Выводы по таблице: причины снижения гибкости ЭЭС

№ п/п	Причины снижения гибкости ЭЭС					Мероприятия по повышению гибкости ЭЭС				
	Флуктуации нагрузки и колебания частоты	Масштаб нагрузки, наличие нагрузки	Снижение инерционности и жесткости генерации	Снижение инерционности ЭЭС	Выделение возмущения	Наличие аварийных ситуаций	Резервирование систем	Управление частотой нагрузки	Обеспечение баланса мощности и резервирование	Технологическое и рыночное управление
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
[10]										
[12]										
[13]										
[14]										
[43]										
[9]										
[24]										
[25]										
[26]										
[53]										
[15]										
[11]										
[17]										
[40]										
[4]										
[33]										
[9]										
[7]										
[8]										
[26]										
[1]										
[54]										
[36]										
[35]										
[46]										
[2]										
[38]										
[30]										
[42]										
[61]										
[5]										
[62]										
[19]										
[51]										
[21]										
[23]										
[49]										
[44]										
[47]										
[60]										
[63]										
[39]										
[46]										
[16]										
[32]										
[22]										
[48]										
[20]										
[29]										
[34]										
[37]										
[50]										
[31]										
[58]										
[59]										
[27]										
[41]										
[45]										
[16]										

Подключение к ЭЭС генераторов через выпрямительно-инверторные блоки, а также малые постоянные инерции роторов малых генерирующих установок снижают инерционность и, следовательно, гибкость ЭЭС.

Влияние внешних возмущений как фактора снижения гибкости ЭЭС исследовалось напрямую в незначительном количестве работ.

Выводы по таблице: мероприятия по повышению гибкости ЭЭС

№ п/п	Причины снижения гибкости ЭЭС					Мероприятия по повышению гибкости ЭЭС				
	Флуктуации выработки и потребления и солнечная генерация	Изменение мощности активной нагрузки	Сильные колебания в режиме работы ЖФУ (генерация и передача)	Сильные колебания мощности ЭЭС	Высокие возмущения	Накопители электроэнергии	Реконфигурация сети	Управление активной нагрузкой	Обеспечение баланса мощности и резервирование	Технологическое и рыночное управление
1										
[10]										
[12]										
[13]										
[14]										
[43]										
[9]										
[24]										
[25]										
[26]										
[53]										
[15]										
[11]										
[17]										
[40]										
[4]										
[33]										
[9]										
[7]										
[8]										
[26]										
[1]										
[54]										
[36]										
[35]										
[46]										
[2]										
[38]										
[30]										
[42]										
[61]										
[5]										
[62]										
[19]										
[51]										
[21]										
[23]										
[49]										
[44]										
[47]										
[60]										
[63]										
[39]										
[46]										
[16]										
[32]										
[22]										
[48]										
[20]										
[29]										
[34]										
[37]										
[50]										
[31]										
[58]										
[59]										
[27]										
[41]										
[45]										
[16]										

66% - Управление активной нагрузкой

55% - обеспечение баланса мощности за счет аварийного отключения нагрузки, и резервирование активной мощности

37% - использование накопителей электроэнергии

25% - технологическое и рыночное управление

12% - реконфигурация электрической сети

Вывод

Особенности рассмотрения проблемы гибкости ЭЭС, прежде всего в части причин снижения гибкости, определяются спецификой исследуемых систем. Что касается мероприятий по повышению гибкости, превалирует их **КОМПЛЕКСНОЕ** применение – два и более мероприятий (72% случаев).

В качестве объекта исследований принята СЭС, в общем случае включающая:

- ✓ подстанцию внешнего электроснабжения, либо традиционный генератор;
- ✓ ВЭС;
- ✓ накопитель электроэнергии;
- ✓ зарядную станцию электромобилей;
- ✓ активный потребитель.

Все эти установки подключены к распределительной электрической сети СЭС.

Основные положения методики исследований:

Проблема исследований состоит в главной особенности средств гибкости ЭЭС – их **случайный** характер.

Цель: определить требования к параметрам накопителя электроэнергии (мощность и емкость)

режимы работы ВЭС, зарядной станции электромобилей, накопителя электроэнергии, а также активных потребителей, подвержены влиянию случайных факторов.

Основные положения методики исследований:

- Для каждого из этих случайных факторов задаются законы распределения вероятностей.

Композиция этих случайных состояний формирует случайное состояние СЭС, соответствующее одному расчетному интервалу суточного графика нагрузки, для которого определяется оптимальное потокораспределение в распределительной электрической сети по критерию минимума электрических потерь при учете ограничений по уровням напряжений в узлах и токов в ветвях.

- Формирование случайных состояний осуществляется методом Монте-Карло.
- Для накопителя электроэнергии и зарядной станции электромобилей учитывается связь между интервалами графика нагрузки в соответствии с учетом энергоемкости этих элементов

Минимизация потерь активной мощности в СЭС

Уравнение, описывающее распределение пока по концам ветвей распределительной электрической сети:

Y^k – матрица собственных проводимостей ветвей электрической сети;

I^k – токовая нагрузка по ветвям;

S^k – полная мощность, передаваемой по линии;

U^k – напряжение по концам ветвей.

Критерии минимизации потерь состоят в формировании условий снижения токовой загрузки линий электропередач распределительной системы с учетом поддержания номинального напряжения в сети.

Ограничение по выдаваемой активной мощности и потребляемой мощности активной нагрузки:

Формирование ограничений по отклонению номинального напряжения в распределительной системе:

Формирование ограничений работе СНЭЭ по режиму разряда:

$$\min P_{nom}^k$$

$$\left[\begin{array}{cccc} \cdot & & & \\ & \cdot & & \\ & & \cdot & \\ & & & \cdot \end{array} \right]$$

$$\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array}$$

$$\begin{cases} 0 \leq P_{\Gamma}^k \leq P_{\Gamma}^{\max k} \\ 0 \leq P_H^k \leq P_H^{\max k} \end{cases}$$

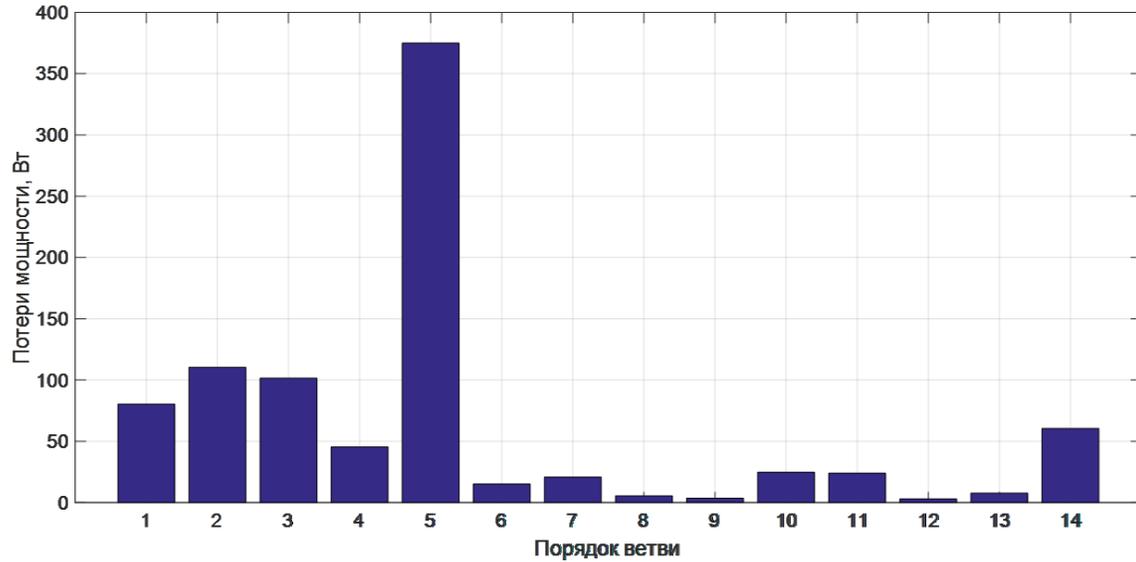
$$\begin{cases} U_i^{\min k} \leq U_i^k \leq U_i^{\max k} \\ I_{ij}^k \leq I_i^{\max k} \end{cases}$$

$$\mathcal{E}_H^{k-1} + \Delta P_H^k \Delta t \leq \mathcal{E}_H^{\max}$$

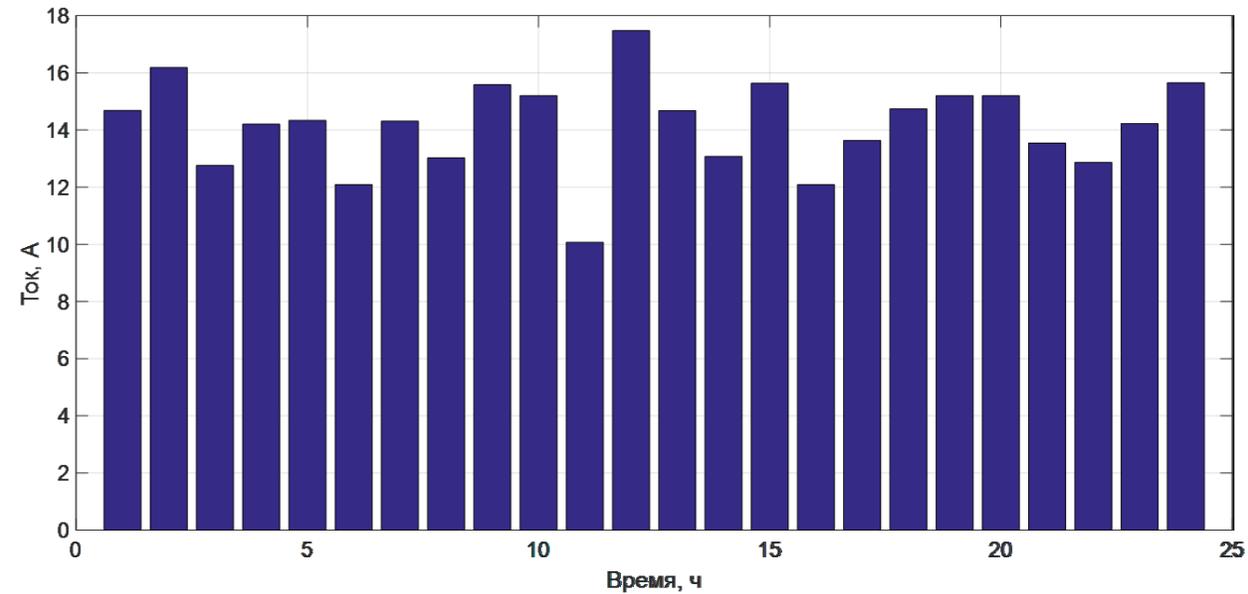
Смоделированные нагрузки по узлам, кВА

		S10	S13	S14	S15	S5	S7	S8
Часы	1	107,86	133,65	123,17	198,87	53,60	85,80	165,19
	2	107,91	128,79	131,68	155,14	52,63	102,82	173,79
	3	102,73	132,72	118,66	166,76	51,47	49,10	168,94
	4	105,20	129,16	113,64	115,59	55,56	90,06	152,71
	5	101,81	136,07	113,48	127,97	45,92	82,93	162,12
	6	102,07	131,54	128,53	132,08	65,39	61,58	145,09
	7	104,98	134,13	123,29	160,87	62,47	73,06	171,48
	8	109,02	132,44	123,14	131,97	58,93	83,24	139,43
	9	102,97	134,67	135,86	152,54	58,83	125,71	140,66
	10	105,97	132,29	126,98	94,72	53,82	115,09	144,74
	11	104,40	135,16	126,24	130,38	65,74	61,03	111,12
	12	107,93	135,81	137,18	120,51	58,19	118,58	180,15
	13	102,14	138,36	118,35	104,69	54,37	88,27	162,61
	14	105,08	133,36	130,17	148,47	67,93	77,92	145,60
	15	106,45	128,26	131,26	143,73	57,58	88,13	179,07
	16	107,88	131,67	122,76	138,51	55,19	76,06	130,54
	17	109,05	137,42	126,38	109,80	57,13	77,12	155,88
	18	105,22	131,05	115,50	161,48	53,50	98,30	153,69
	19	101,08	136,39	115,64	145,16	51,71	97,24	162,52
	20	103,05	134,19	125,51	131,53	75,64	97,35	162,42
	21	102,21	137,64	130,37	138,29	69,92	87,56	143,87
	22	111,16	128,72	145,04	132,30	61,08	62,90	157,02
	23	103,38	133,35	119,43	101,05	50,81	88,16	154,90
	24	106,96	130,70	126,16	131,81	53,38	100,14	167,38

Тестовая схема



Потери мощности сети



Расчет токовой загрузки самого загруженного участка (5-ая ветвь)

Параметры ВЭУ

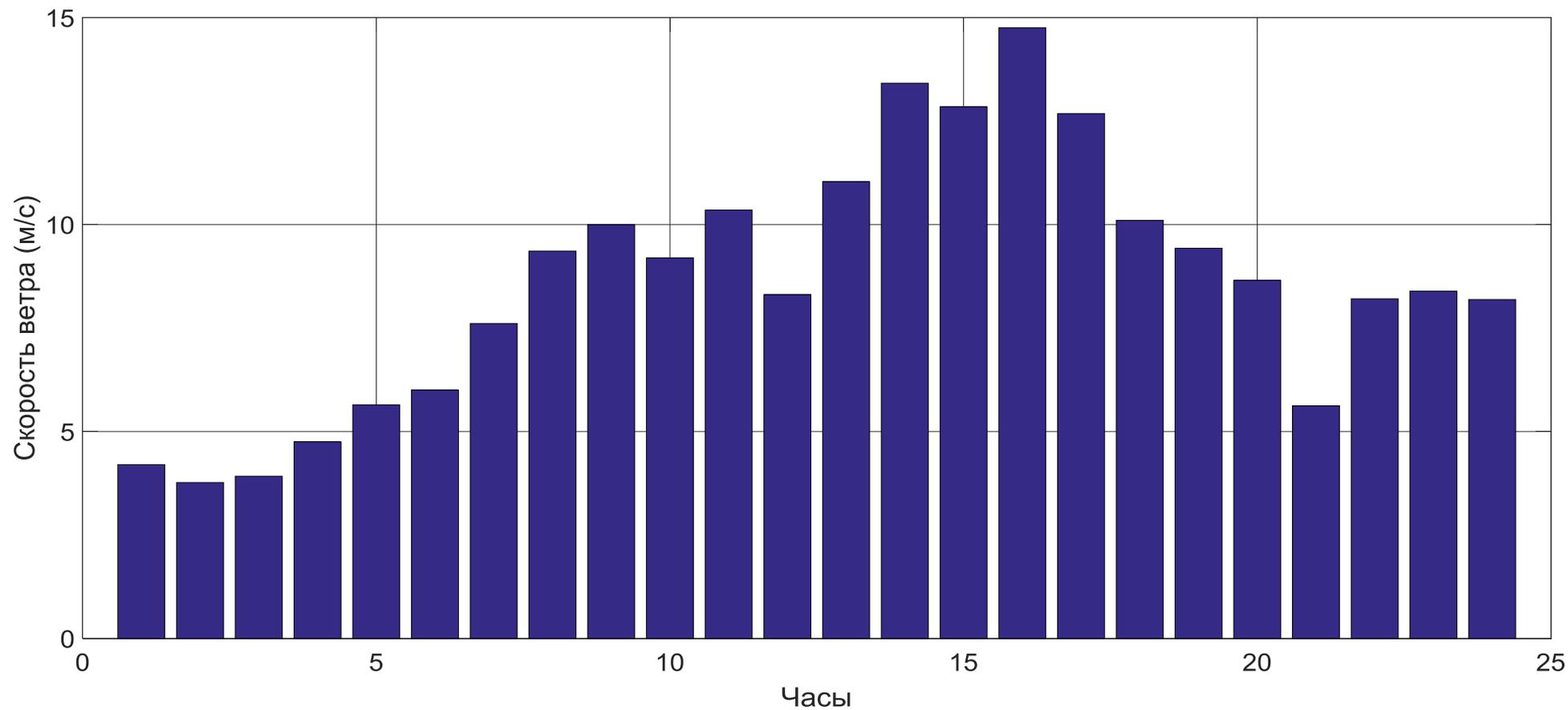
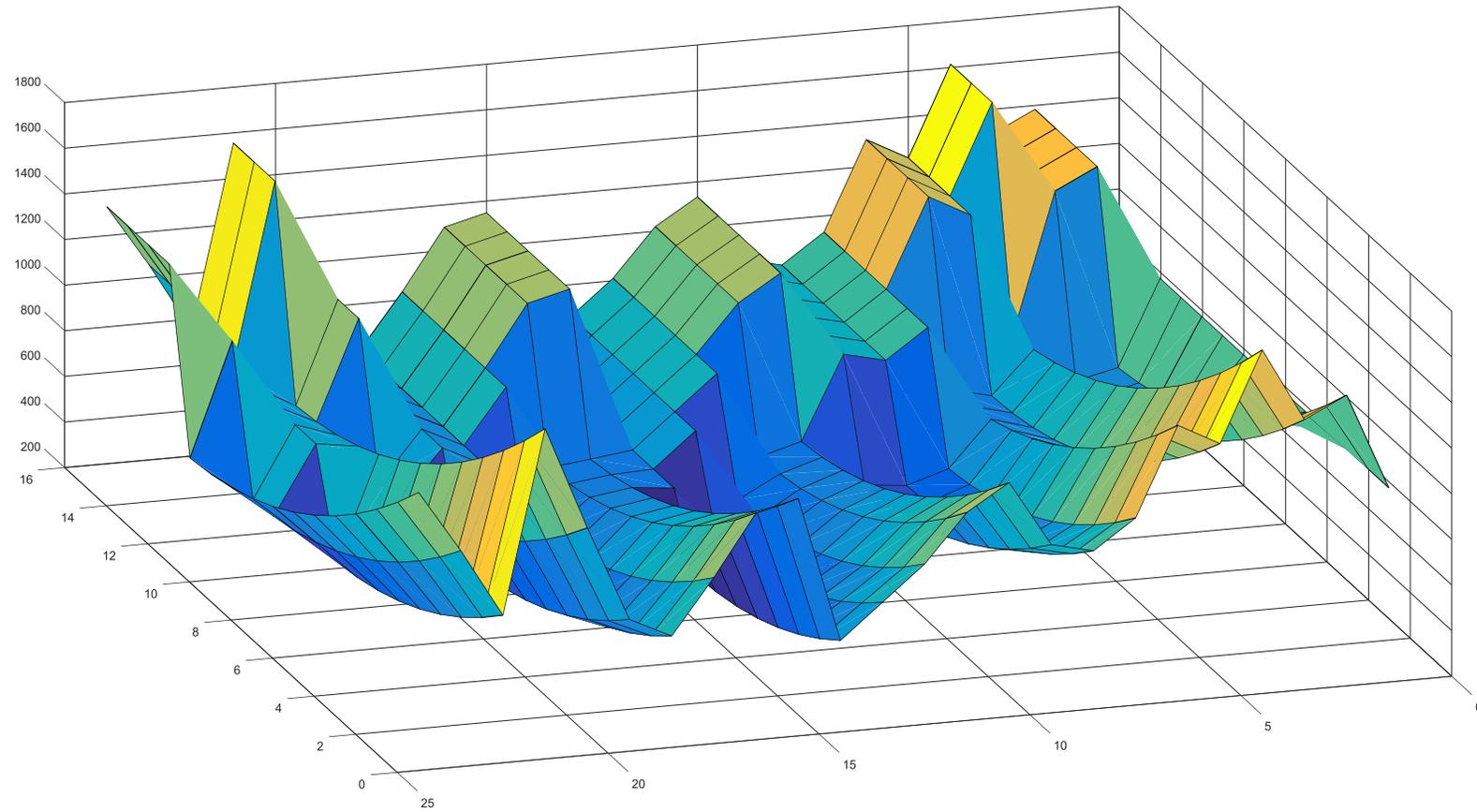


График ветровой активности

Расчет



Потери на самой загруженной ветви с учетом ВЭУ и составом СНЭЭ по 24 часам

Заключение

Анализ результатов исследований за последние годы проблем гибкости ЭЭС позволил выявить основные причины снижения гибкости, связанные со случайными флуктуациями выдачи мощности возобновляемых источников электроэнергии, и рекомендуемые мероприятия по повышению гибкости. Этот анализ, с учетом специфики российских условий, позволил сформулировать задачи исследований гибкости СЭС. Рассмотрены основные положения имитационного алгоритма определения необходимых мощности и электроемкости накопителя электроэнергии для компенсации неравномерности выдачи мощности ВЭС при учете основных влияющих случайных факторов.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт энергетики

Спасибо за внимание!

**АНАЛИЗ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ ГИБКОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И
МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЕЁ ПОВЫШЕНИЮ**

Докладчик:

Косьмина Евгения Владимировна,

ukolovaevgenija@yandex.ru

тел. 89086644069