

УДК 621.311

КАЧЕСТВО ЧАСТОТЫ В СИСТЕМЕ ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ.**МУСТАФАЕВ Р.И., МИРОНОВ Г.А., МИРОНОВ Р.Г.***АзНИИ Энергетики и Энергопроектирования.*

В статье приводятся результаты непрерывной автоматической регистрации частоты энергосистемы, работающей автономно и в параллель с более мощной системой. Оценены пределы суточных и сезонных колебаний частоты при автономной работе, определены статистические параметры отклонений частоты, построены регрессионные зависимости отклонений частоты от нагрузки системы. Такие же оценки сделаны для параллельной работы.

Напряжение и частота – основные показатели качества электроэнергии. Значение этих показателей возрастает с появлением электропотребителей с повышенными требованиями к качеству – телекоммуникационных систем, компьютерных сетей, сложной бытовой техники. Так, например, если устройство АЧР в энергосистеме имеет уставку 49,4 Гц с выдержкой времени, то устройства бесперебойного питания телекоммуникационных систем срабатывают при «быстрых» отклонениях частоты до значения - 49,5 Гц.

Известно, что чем мощнее система, тем менее она чувствительна к сезонным и суточным колебаниям нагрузки, коммутациям мощных электроприемников, коротким замыканиям и повреждениям в системе электроснабжения.

В системе ограниченной мощности суточные колебания частоты следуют за суточными изменениями нагрузки, совпадая по форме с суточным графиком изменения напряжения – относительно стабильная частота днем, понижение частоты во время вечернего максимума нагрузки и возрастание частоты после прохождения максимума – рис.1.

Изменение частоты системы $F(t)$ ограниченной мощности в течение суток можно описать выражением:

$$F(t) := \begin{cases} F_0 & \text{if } t_0 \leq t \leq t_1 \\ \left[F_0 - (F_0 - F_{\min}) \cdot \sin\left(\pi \frac{t-t_1}{T_{\min}}\right) \right] & \text{if } t_1 \leq t \leq t_2 \\ \left[F_0 + (F_{\max} - F_0) \cdot \sin\left(\pi \frac{t-t_2}{T_{\max}}\right) \right] & \text{if } t_2 \leq t \leq t_0 + 24 \end{cases}$$

$$t_1 := t_0 + 24 - T_{\max} - T_{\min}$$

$$t_2 := t_0 + 24 - T_{\max}$$

Здесь: F_0 – частота системы в дневное время,

F_{\min} – минимальная частота во время вечернего максимума нагрузки,

F_{\max} – максимальная частота во время ночного минимума нагрузки,

T_{\min} – продолжительность вечернего максимума нагрузки,

T_{\max} – продолжительность ночного минимума нагрузки,

Рис.1. Частота системы 25-26.04.02.

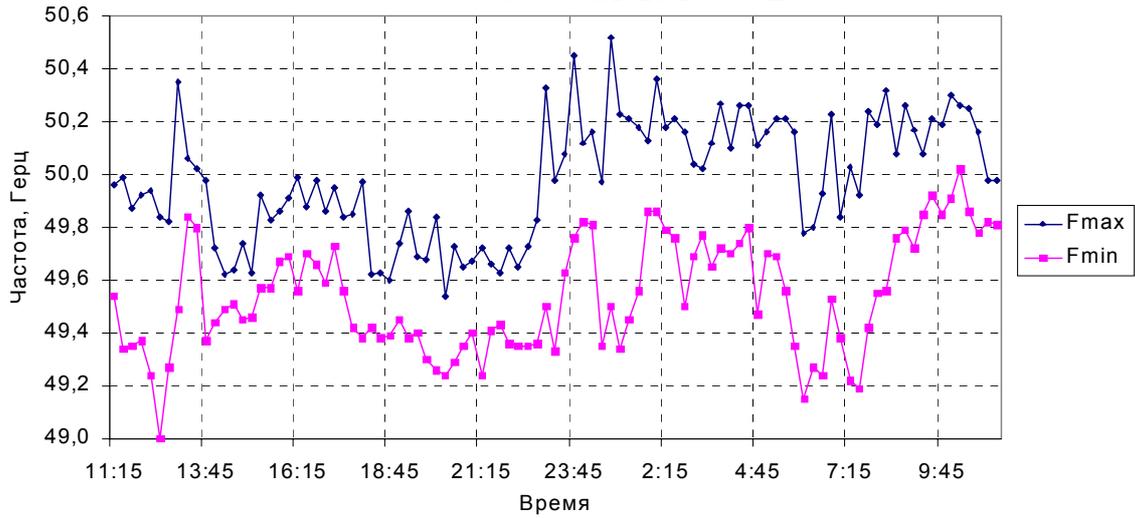


Рис.2. Частота системы 26-29.11.99 г.

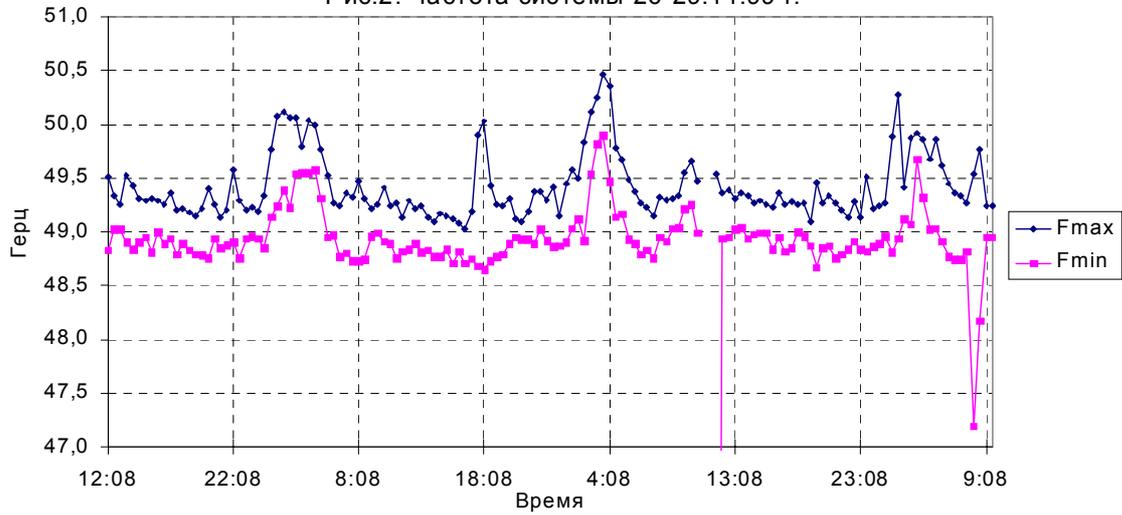
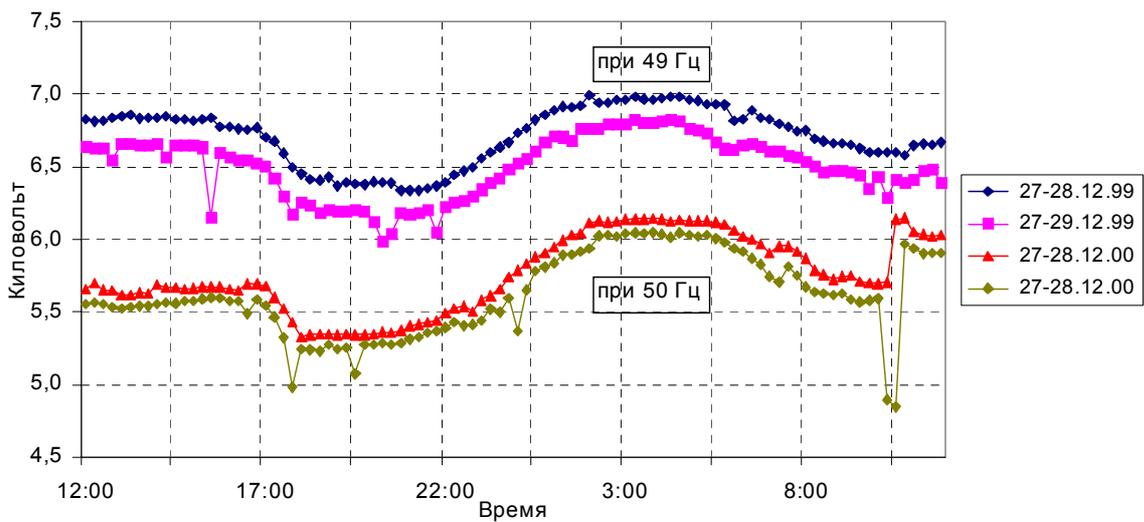


Рис.3. Напряжение 27-28.12.99 при 49 Гц и 27-28.12.2000 при 50 Гц.



t_0 , t_1 , t_2 – точки отсчета на оси времени суточного графика изменения частоты, соответствующие началам дневного, вечернего и ночного периодов времени.

Все эти параметры при автономной работе энергосистемы имеют сезонную зависимость в соответствии с сезонными колебаниями нагрузки.

Особенно сильно проявляется нестабильность частоты при резких изменениях нагрузки, например, при плановых ограничениях электропотребления в зимнее время – рис.2. При сбросе нагрузки возможны выбросы частоты от 50 Гц до 51 Гц и более.

При сезонном, зимнем удвоении нагрузки автономной системы ограниченной мощности имеют место глубокие понижения напряжения и частоты, либо, в лучшем случае, одной из составляющих E , U , θ , в соответствии с выражением:

$$P = \frac{EU}{X} \sin \theta .$$

определяющем величину вырабатываемой генераторами мощности, /Л.1/. Как видно из диаграммы – рис.3, поддержание в энергосистеме при зимнем максимуме нагрузки стабильной частоты 50 Гц осуществляется при пониженном напряжении. Повышение напряжения при максимуме нагрузки приводит к снижению частоты – диаграммы на рис.2 и 3.

Для исследования сезонной зависимости частоты системы ограниченной мощности при автономной ее работе, в зимний период 1999-2000 г.г. с интервалом 15 минут производились регистрации максимальных и минимальных значений частот F_{max} и F_{min} в этом диапазоне. Затем на основании обработки более 2500 значений для каждой из гр

аничных частот построены временная диаграмма частот – рис.4, и кривая распределения вероятностей максимальных и минимальных частот в зимнее время – рис.7.

Как видно из рис.4, в период зимнего максимума нагрузки автономной системы отклонения частоты от номинального значения превышают допустимые $\pm 0,5$ Гц. Ниже в таблице 1 представлены статистические параметры отклонений частоты системы ограниченной мощности, работающей автономно:

Таблица 1.

№	Граничные частоты	Среднее значение, Гц.	Стандартное отклонение, Гц.	50%-ный диапазон $F_{max} - F_{min}$, Гц.
1	Максимальная F_{max}	49,3872	0,3476	0,4533
2	Минимальная F_{min}	48,9339	0,5018	

Кривые распределения вероятностей - рис.7, построены по экспериментальным данным и могут быть использованы для оценки вероятности отклонения частоты автономной системы от номинального значения, которое может произойти, по крайней мере, 1 раз в течение 15-ти минутного интервала времени.

Качество частоты при автономной работе энергосистемы зависит от степени загрузки эффективной мощности системы. Зная сезонное использование пиковой мощности системы и ее отношение к эффективной мощности системы, можно для диапазона частот 48,5 – 50,5 Гц построить уравнение регрессии, определяющее зависимость частоты системы от степени использования эффективной мощности:

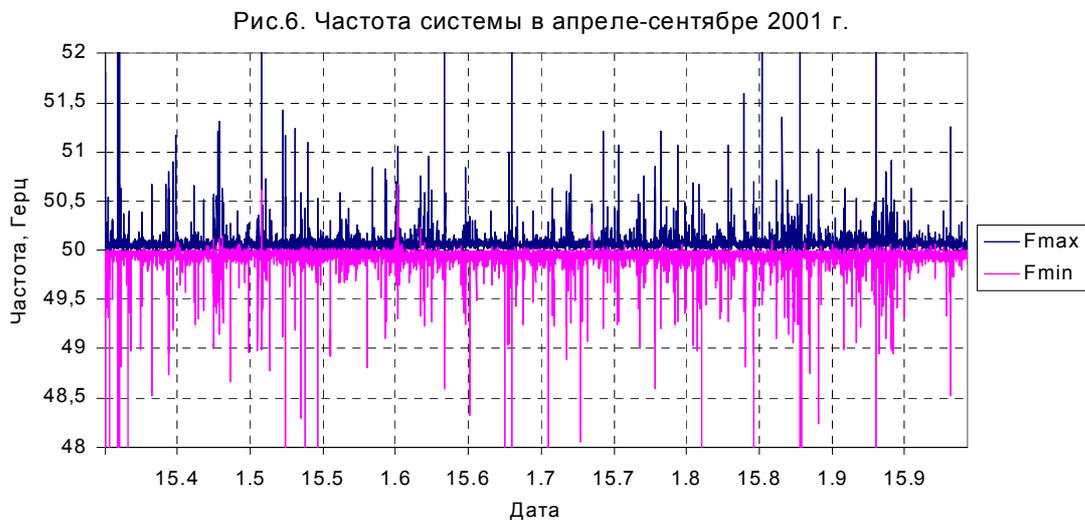
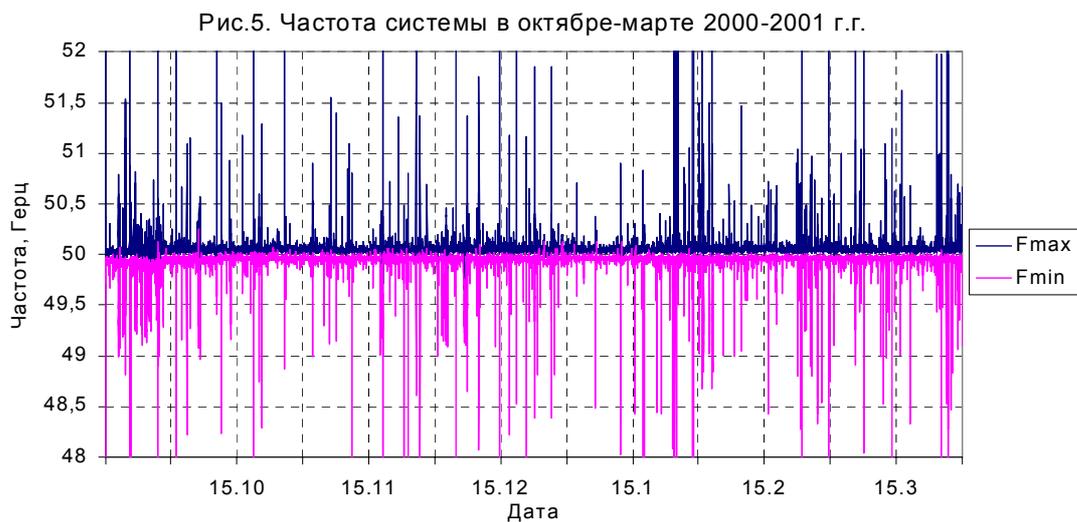
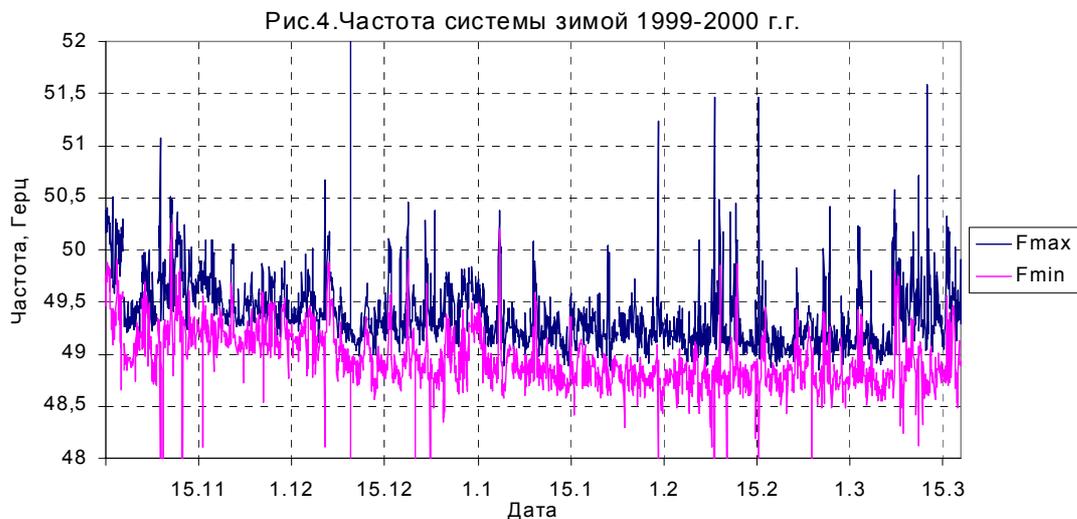
$$F(P/P_0) = 54,041 - 18,074*(P/P_0) + 28,562*(P/P_0)^2 - 16,186*(P/P_0)^3$$

Здесь: F – частота системы, Гц,

P – пиковая мощность системы,

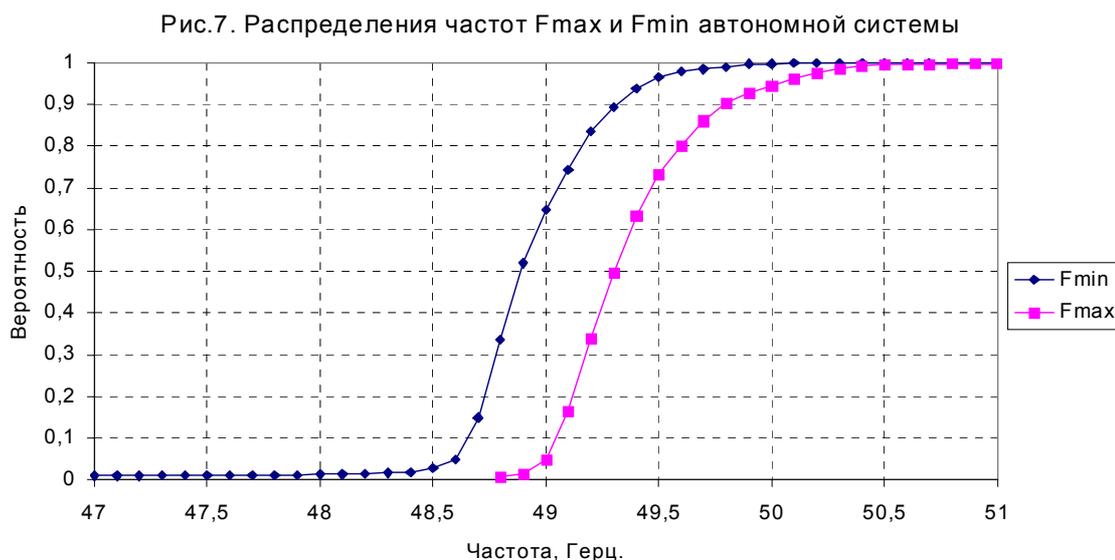
P_0 – эффективная мощность системы.

Как видно из рис.4, в период максимальной нагрузки система имеет низкое качество частоты, несовместимое с техническими требованиями электроснабжения современных компьютерных и телекоммуникационных систем.



В целях обмена мощностями, а также передачи через Республику в Грузию и Иран потоков электроэнергии, с 2000 г. «Азерэнержи» возобновила параллельную работу с

Российской энергосистемой. Объединение с мощной системой стабилизирует частоту, ограничивая колебания в пределах российского стандарта $\pm 0,1$ Гц. Для исследования качества частоты при параллельной работе в течение года, с октября 2000 г. по октябрь 2001 г., с интервалом 15 мин регистрировались пределы отклонений частоты. Для сравнительного анализа, весь диапазон регистрации разбит на 2 массива – зимний и летний – рис.5,6. Как видно, каждый массив содержит медленные колебания частоты мощной системы в пределах порядка $\pm 0,1$ Гц, средние колебания отдельных блоков электростанций порядка $\pm 0,5$ Гц и быстрые колебания – более 1 Гц, обусловленные свободными колебаниями при коммутациях в энергосистеме.



Для всей совокупности данных (каждый массив - более 18000 интервалов времени продолжительностью 15 мин.) построены экспериментальные кривые распределения вероятностей огибающих частот системы при параллельной ее работе с мощной системой – рис.8 и 9.

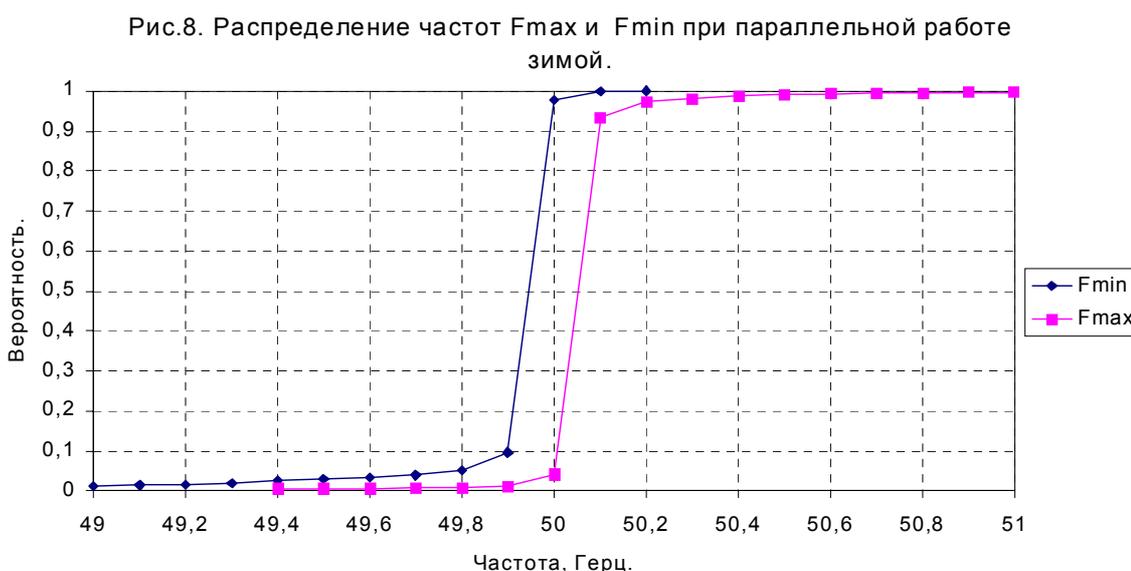
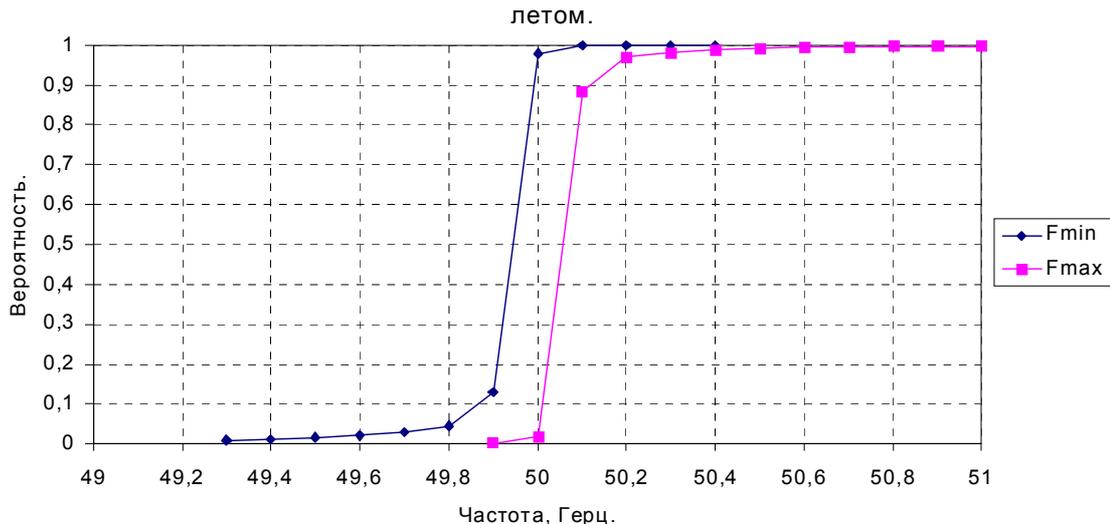


Рис.9. Распределения частот Fmax и Fmin при параллельной работе летом.



Статистические параметры отклонений частоты, построенные для всей совокупности данных, представлены в таблице 2:

Таблица 2.

№	Граничные частоты	Среднее значение, Гц.	Стандартное отклонение, Гц.	50%-ный диапазон Fmax – Fmin, Гц.
Лето 2001 г.				
1	Максимальная Fmax	50,0728	0,1075	0,1446
2	Минимальная Fmin	49,9282	0,2440	
Зима 2000-2001 г.г.				
3	Максимальная Fmax	50,0740	0,7655	0,1440
4	Минимальная Fmin	49,9300	0,3397	

Как видно из таблицы, средние значения Fmax и Fmin для летнего и зимнего диапазонов совпадают с большой точностью, что говорит о высоком качестве регулирования частоты в РАО ЭС. Стандартные отклонения частот летнего и зимнего диапазонов различны, причем большие рассеяния имеют место для зимы, что свидетельствует о более напряженном режиме работы системы в зимнее время из-за аварий, перегрузок, отключений. Диапазон суточных отклонений частоты при параллельной работе меньше допустимых $\pm 0,1$ Гц.

Кривые распределения вероятностей – рис.7-9, построены для всей совокупности отклонений частот, включающих как колебания системы, так и свободные колебания при коммутационных процессах. При этом на рис.8-9 имеется большая неопределенность в распределении частот в диапазоне 49,9 – 50,1 Гц. Для устранения этой неопределенности проведено более подробное исследование распределений частот в вышеуказанном диапазоне. Для четырех выборок частот, каждая из которых содержит более 16000 значений, найдено, что распределение вероятностей каждой из граничных частот в диапазоне 49,9 – 50,1 Гц достаточно хорошо описывается нормальным законом распределения с параметрами, представленными в таблице 3.

Таблица 3.

№	Частота	Объем выборки	Диапазон выборки, Гц.	Среднее Значение, Гц.	Стандартное отклонение, Гц	50%-ный диапазон Fmax-Fmin
Параллельная работа летом.						
1	Fmax	17792	50,00-50,15	50,058	0,024	0,103
2	Fmin	15999	49,90-50,05	49,955	0,026	
Параллельная работа зимой.						
1	Fmax	17308	50,00-50,15	50,048	0,023	0,085
2	Fmin	16695	49,90-50,05	49,963	0,020	

Кривые распределения частот в диапазоне 49,9 – 50,1 Гц для параллельной работы системы представлены на рис.10-11.

Рис.10. Нормальное распределение частот Fmax и Fmin для зимы.

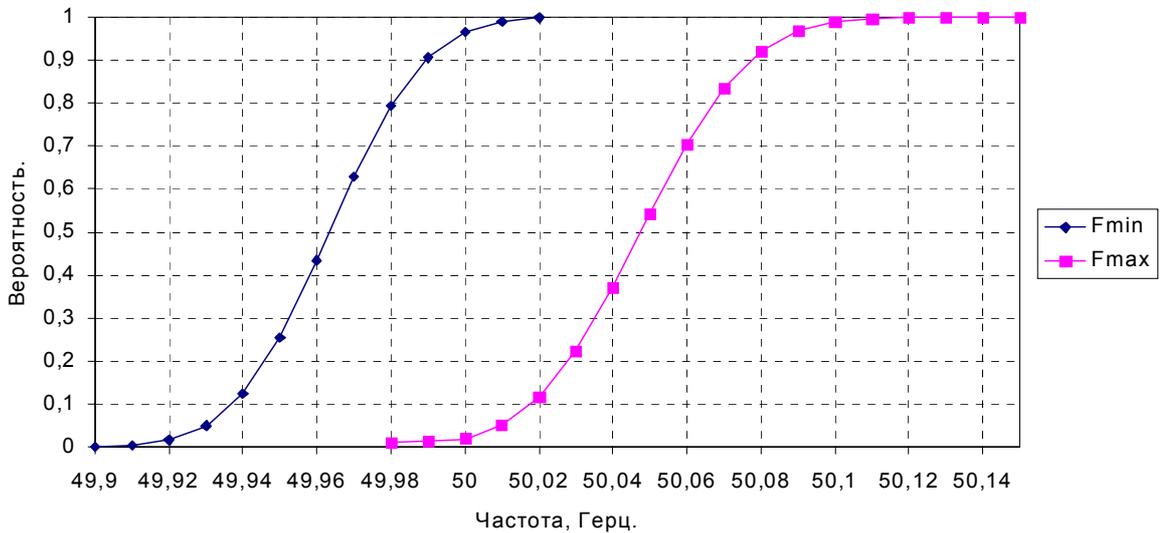
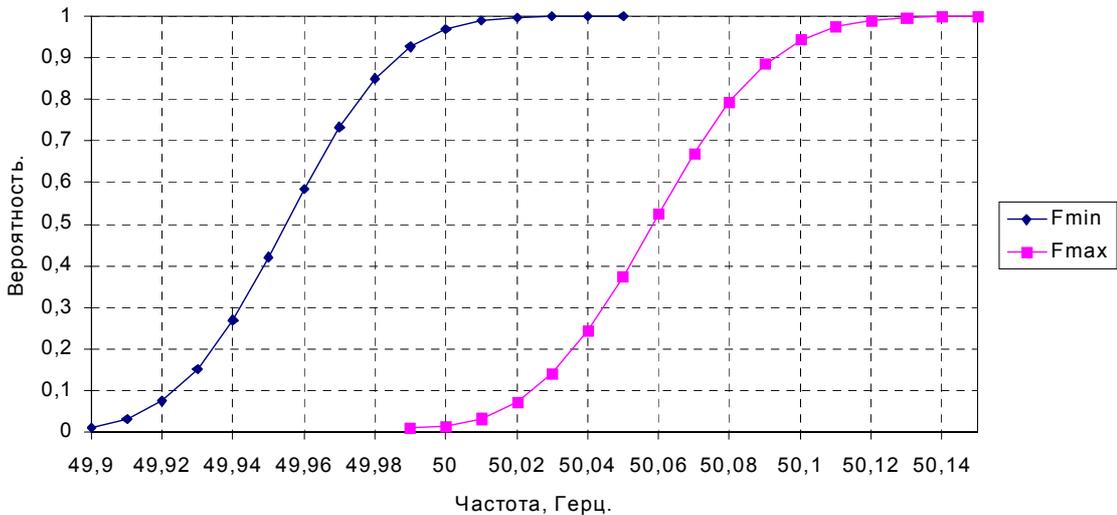
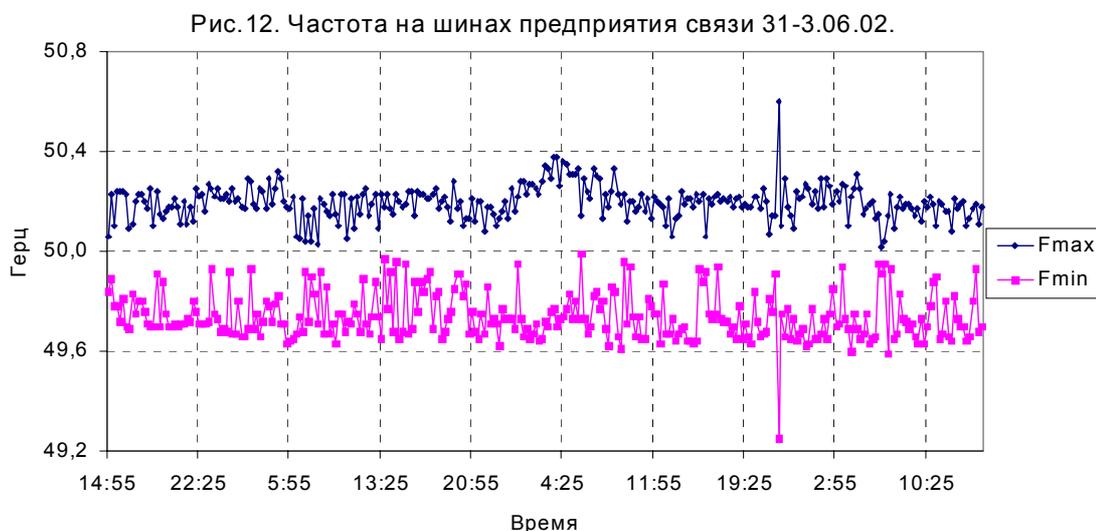


Рис.11. Нормальное распределение частот Fmax и Fmin для лета.



Сравнение диапазонов частот и их распределений для автономной системы ограниченной мощности и параллельной работы с мощной системой говорит, естественно, в пользу преимущества объединенной работы, обеспечивающей выполнение требований к частоте самых ответственных потребителей.

Результаты обработки дают возможность по кривым распределения вероятностей оценить вероятность выброса частот из допустимого интервала, и сопоставить его, например, с высокой надежностью телекоммуникационных систем, оцениваемой величиной порядка 0,999. Здесь, правда, следует заметить, что предприятия, предъявляющие высокие требования к качеству частоты, например, предприятия связи из-за генерируемых ими в технологическом процессе гармоник промышленной частоты, сами являются источниками локальных «загрязнений» частоты. Как видно, например, из диаграммы 12, при отклонениях частоты системы в пределах $\pm 0,1$ Гц диапазон колебаний частоты на шинах предприятия связи составляет $\pm 0,4$ Гц. Еще большие искажения частоты заре-



гистрированы на шинах сталелитейного завода – до $\pm 0,7$ Гц при колебаниях частоты системы в пределах $\pm 0,1$ Гц.

Заметим также, что продолжительная работа в параллель с мощной энергосистемой не гарантирует сохранения высокого качества частоты при отделении системы, что видно, например, из сопоставления диаграмм - рис. 1 и 2, полученных при автономной работе системы до и после объединения ее с мощной энергосистемой.

РЕЗЮМЕ:

1. Автономная система ограниченной мощности при дефиците мощности в зимнее время не может обеспечить качества частоты в допустимых пределах.

Суточное изменение частоты зависит от нагрузки и совпадает по форме с суточным графиком изменения напряжения. В этой связи для поддержания частоты стабильной следует использовать возможности регулирования графиков нагрузки.

2. Найденные распределения вероятности отклонений частот дают возможность оценить вероятность выброса частоты из допустимых пределов и могут служить обоснованием гарантированного качества частоты при автономной работе и работе в параллель, в частности, при заключении договоров с потребителями на пользование электроэнергией.

3. В связи с тем, что в ближайшее время мощность системы существенно не возрастет, а параллельная работа с РАО ЭС зависит от конъюнктурных условий, найденные статистические зависимости отклонений частот могут быть использованы для прогнозирования качества частоты энергосистемы.

4. При дефиците генерируемой мощности и необходимости ограничения электропотребления, при плановых отключениях необходимо учитывать возможные выбросы частоты после сброса нагрузки.

5. Найденные статистические зависимости могут быть использованы при настройке систем регулирования частоты энергосистемы.

Пелисье Р. Энергетические системы. М. «Высшая школа». 1982 г. 650 с.

MƏHDUD GƏRGİNLİK SİSTEMİNDƏ TEZLİYİN KEYFİYYƏTİ

MUSTAFAYEV R.İ., MIRONOV G.A., MIRONOV R.G.

Məqalədə daha güclü sistemlə əlaqəli və paralel işləyən enerji sisteminin ardıcıl və avtomatik qeydiyyatının nəticələri göstərilmişdir. Belə avtonom iş vaxtı gündəlik və fəsillər üzrə tezliyin normadan kənar dəyişməsinin statik parametrləri dəqiqləşdirilmiş və onun sistemin yükündən reqression asılılığı qurulmuşdur. Bütün bu qiymətlər paralel iş üçün də təyin olunmuşdur.

FREQUENCY QUALITY IN LIMITED POWER SYSTEMS

MUSTAFAYEV R.I., MIRONOV G.A., MIRONOV R.G.

The results of continuous automatic frequency control of energetic system working separately and parallel to more powerful system were considered. Day and season frequency changing were valuated in operating mode, statistic characteristics of frequency were also found and regressive dependence of frequency tolerance for different system load was created. The same valuation was made for parallel mode.