

**Кафедра «Электрические станции и энергетические системы»**

**Дисциплина: «Электрические сети и системы»**

**Лекция №10 «Режимы работы электроэнергетических систем»  
(1 час)**

**Содержание лекции:**

- 1) Баланс активной мощности;**
- 2) Регулирование частоты в изолированной электроэнергетической системе;**
- 3) Регулирование частоты в электроэнергетической системе.**

**Цель лекции: изучение режимов работы электроэнергетических систем**

## Баланс активной мощности

Характерной особенностью установившегося режима работы ЭЭС является одновременность процессов генерирования и потребления одного и того же количества мощности. В любой момент установившегося режима ЭЭС суммарная мощность, вырабатываемая генераторами электростанций, равна суммарной потребляемой мощности в этот же момент времени. Такое соотношение вырабатываемой и потребляемой мощностей называется балансом активной мощности.

Уравнение баланса активной мощности для ЭЭС имеет вид :

$$\Sigma P_{\Gamma} = \Sigma P_{\text{H}} + \Sigma P_{\text{сн}} + \Delta P_{\Sigma} = \Sigma P_{\text{п}},$$

где  $\Sigma P_{\Gamma}$  – суммарная генерируемая активная мощность в ЭЭС, включая активную мощность, получаемую из соседних ЭЭС;

$\Sigma P_{\text{H}}$  – суммарная активная мощность потребителей в ЭЭС, включая активную мощность, передаваемую в соседние ЭЭС;

$\Sigma P_{\text{сн}}$  – суммарная мощность собственных нужд электростанций;

$\Delta P_{\Sigma}$  – суммарные потери активной мощности;

$\Sigma P_{\text{п}}$  – суммарное потребление активной мощности.

Баланс активной мощности в ЭЭС составляется для периода прохождения годового максимума нагрузки. Величина суммарной активной мощности потребителей  $\Sigma P_{\text{H}}$  при эксплуатационных расчетах определяется суммированием максимальных мощностей узлов нагрузок с учетом коэффициента разновременности максимумов кра. При проектировании развития ЭЭС величина  $\Sigma P_{\text{H}}$  рассчитывается на основании проектных данных и прогнозирования роста нагрузок.

Потери активной мощности в ЭЭС зависят от протяженности линий электрических сетей, числа трансформаций от источников питания до потребителей и составляют 10...15% от суммарной активной мощности потребителей  $\Sigma P_{\text{H}}$ .

Мощность собственных нужд электростанций  $\Sigma P_{сн}$  зависит от типа станции, ее оборудования и вида используемого топлива. Для тепловых станций эта величина составляет 5...12% от мощности станции, для гидроэлектростанций – 0,5...1% .

При выполнении равенства (1) частота в ЭЭС неизменна и определяется частотой вращения турбин генераторов. Любое изменение генерируемой или потребляемой мощности приводит к изменению частоты в ЭЭС.

Увеличение потребляемой мощности или уменьшение генерируемой мощности равнозначно уменьшению впуска энергоносителя (пара, воды) в турбины генераторов. В этом случае турбины генераторов начнут тормозиться, приводя к уменьшению частоты в ЭЭС. В соответствии со статическими характеристиками нагрузки снижение частоты в ЭЭС вызовет уменьшение потребляемой мощности.

Уменьшение потребляемой мощности или увеличение генерируемой мощности равнозначно дополнительному впуску энергоносителя в турбины генераторов. В этом случае турбины генераторов начнут разгоняться, приводя к увеличению частоты в ЭЭС. В соответствии со статическими характеристиками нагрузки повышение частоты в ЭЭС вызовет увеличение потребляемой мощности.


Причины изменения частоты в ЭЭС могут быть самыми различными: **аварийное отключение генератора на электростанции, аварийное отключение линии или трансформатора связи между отдельными частями ЭЭС, резкое увеличение мощности потребителей и т.п.**

Отклонение частоты  $f$  от ее номинального значения  $f_{ном}=50$  Гц:

$$\Delta f = f - f_{ном}$$

**как один из показателей качества электроэнергии регламентируется ГОСТ, который устанавливает нормально допустимые (+ 0,2 Гц) и предельно допустимые (+0,4 Гц) отклонения частоты.**





**САМОСТОЯТЕЛЬНО!  
НАЙТИ, ПОСМОТРЕТЬ И ЗНАТЬ  
ГОСТ РК, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЙ  
ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ!!!!!!!!!!!!!!**

Достаточно жесткие требования к поддержанию частоты обусловлены значительным ее влиянием на технологические производственные процессы, на производительность механизмов потребителей и в особенности на производительность механизмов собственных нужд электростанций, от режима работы которых в значительной мере зависит надежность работы электростанций и выдаваемая ими мощность.

Повышение частоты, обусловленное избытком генерируемой мощности в ЭЭС, устраняется, как правило, уменьшением впуска энергоносителя в турбины или отключением части генераторов в ЭЭС.

Более сложной задачей является поддержание частоты на требуемом уровне при ее понижении, обусловленном дефицитом генерируемой мощности в ЭЭС. В этом случае увеличивают впуск энергоносителя в турбины, при недостаточности такого увеличения включают резерв мощности.

При дальнейшем снижении частоты в ЭЭС и недостаточной мощности резерва выполняется автоматическое ограничение снижения частоты. Эта системная автоматика выполняется с таким расчетом, чтобы при любом возможном дефиците генерируемой мощности, включая и аварийные режимы, снижение частоты ниже уровня 45 Гц было бы исключено полностью. Время работы с частотой ниже 47 Гц не должно превышать 20 с, а с частотой 48,5 Гц – 60 с. **Одной из основных функций автоматического ограничения снижения частоты является автоматическая частотная разгрузка (АЧР).**

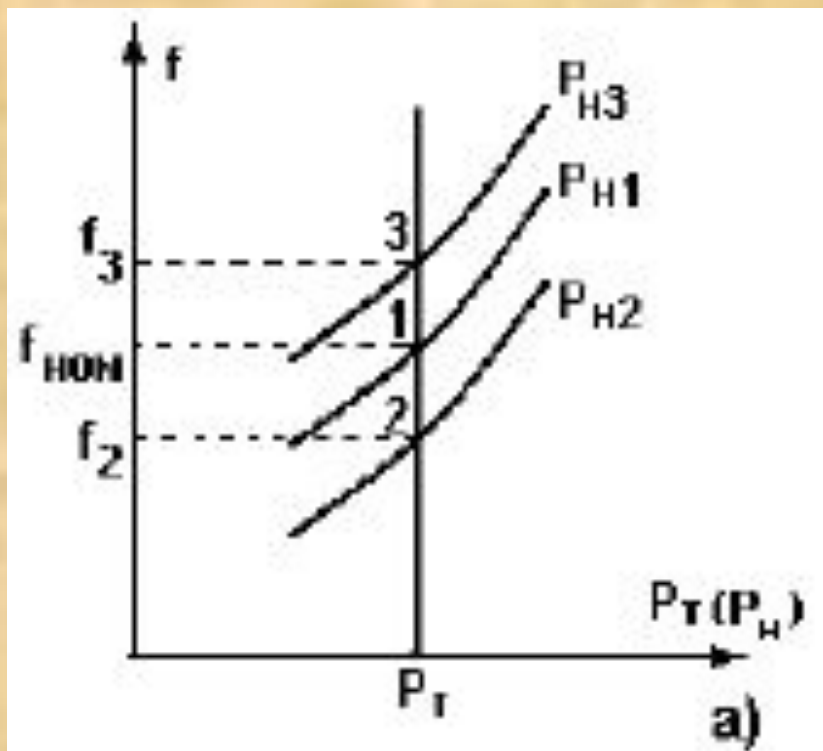
**АЧР предусматривает дискретное отключение потребителей по мере снижения частоты в ЭЭС. Комплекты АЧР устанавливаются, как правило, на подстанциях электрической сети. Реле частоты, входящее в комплект АЧР, дает сигнал на отключение части линий, питающих потребителей, при снижении частоты в ЭЭС до величины уставки этого реле.**

Очередность отключения потребителей выбирается по условию минимального ущерба от перерыва электроснабжения.

# Регулирование частоты в изолированной электроэнергетической системе

В установившемся режиме работы ЭЭС частота в ней определяется частотой вращения турбин генераторов электростанций. Для понимания процесса регулирования частоты рассмотрим характеристики турбины на примере простейшей ЭЭС, состоящей из одного агрегата (турбина-генератор), работающего на выделенную нагрузку.

Случай нерегулируемой турбины показан на рисунке, а. Впуск энергоносителя в турбину постоянный и, следовательно, мощность турбины неизменна  $P_T = \text{const}$ . Характеристика такой турбины представляет собой вертикальную прямую. Статические характеристики нагрузки по частоте показаны кривыми  $P_{H1}$ ,  $P_{H2}$  и  $P_{H3}$ . Причем  $P_{H3} < P_{H1} < P_{H2}$ .



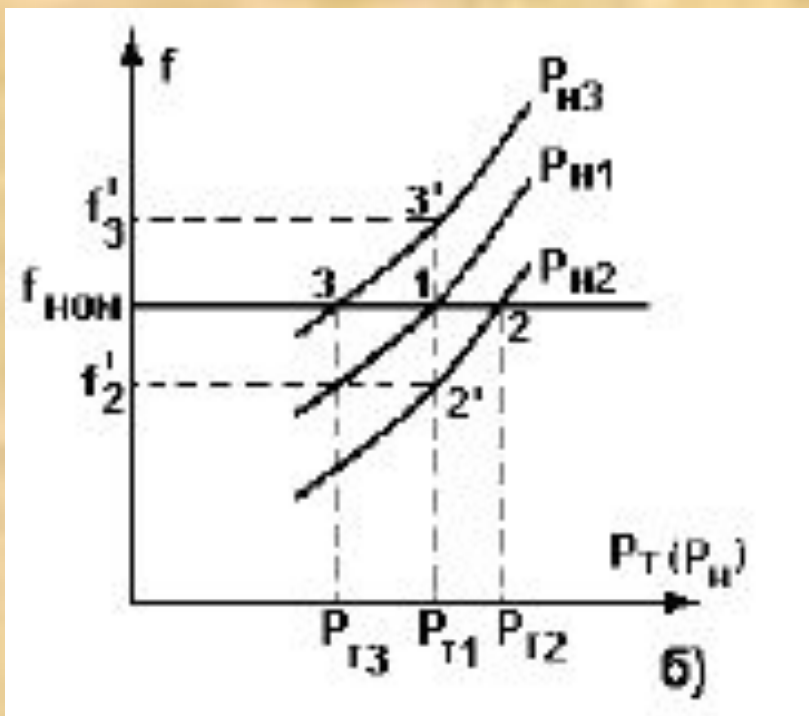
При мощности нагрузки  $P_{H1} = P_T$  (точка 1, рисунок, а) частота в ЭЭС равна  $f_{ном}$ . При увеличении мощности нагрузки до значения  $P_{H2}$  (точка 2, рисунок, а) частота в ЭЭС уменьшается до значения  $f_2$ . При уменьшении мощности нагрузки до значения  $P_{H3}$  (точка 3, рисунок, а) частота в ЭЭС увеличится до значения  $f_3$ .

Характеристики турбины



Рассмотрим случай, когда турбина имеет регулятор, изменяющий впуск энергоносителя в турбину в зависимости от нагрузки. Если при изменении нагрузки регулятор восстанавливает частоту в ЭЭС до номинального значения, то такое регулирование называется астатическим. Характеристика турбины с таким регулятором представляет собой горизонтальную прямую (рисунок,б).

При мощности нагрузки  $P_{H1}=P_T$  (точка 1, рисунок,б) частота в ЭЭС равна  $f_{ном}$ . При увеличении нагрузки до значения  $P_{H2}$  частота понижается до значения  $f_2'$  (точка 2'). Регулятор увеличивает впуск энергоносителя в турбину, увеличивая мощность турбины до значения  $P_{T2} = P_{H2}$ , и восстанавливает номинальную частоту в ЭЭС (точка 2).



Процесс восстановления частоты при уменьшении нагрузки до значения  $P_{H3}$  происходит аналогично (точки 1, 3' и 3). В этом случае регулятор уменьшает впуск энергоносителя в турбину.

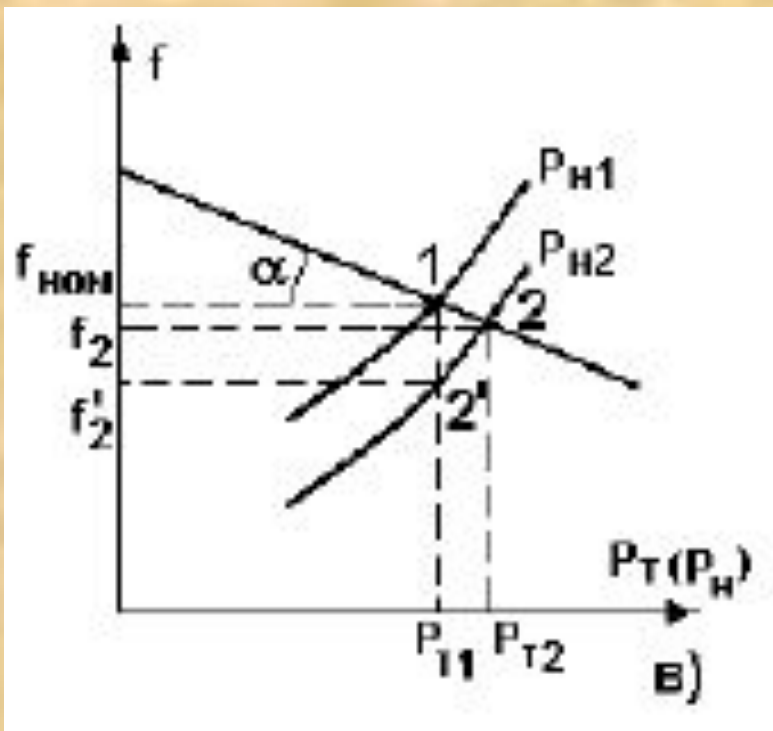
Характеристики турбины

Если при изменении нагрузки регулятор восстанавливает частоту в ЭЭС до значения близкого к номинальному, то такое регулирование называется статическим.

Характеристика турбины со статическим регулятором представляет собой наклонную прямую (рисунок,в). Тангенс угла наклона этой прямой представляет собой коэффициент статизма регулятора турбины

$$k_{ст} = \operatorname{tg} \alpha$$

При мощности нагрузки  $P_{н1} = P_t$  (точка 1, рисунок,в) частота в ЭЭС равна  $f_{ном}$ . При увеличении нагрузки до значения  $P_{н2}$  частота понижается до значения  $f_2'$  (точка 2'). Регулятор увеличивает впуск энергоносителя в турбину, увеличивая мощность турбины до значения  $P_{т2} = P_{н2}$ , и увеличивает частоту в ЭЭС до значения  $f_2$  (точка 2), меньшего  $f_{ном}$ .



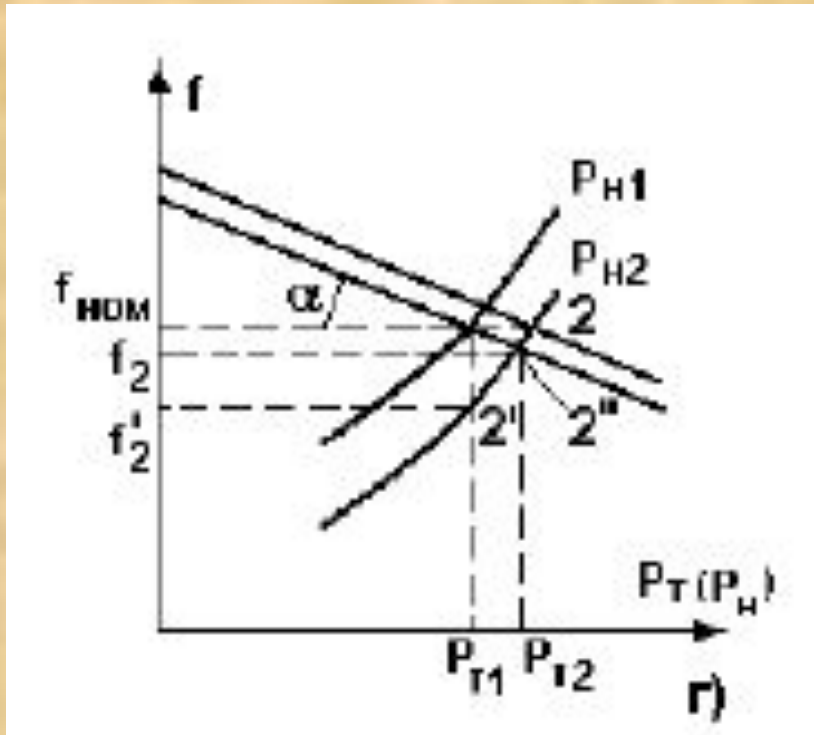
Такой процесс регулирования частоты при изменении нагрузки называют первичным регулированием частоты. Турбины с реальными регуляторами имеют статическую характеристику. Коэффициент статизма реальных турбин составляет  $k_{ст} = 0,03 \dots 0,06$ .

Характеристики турбины



Корректировка частоты при изменении нагрузки, т.е. доведение частоты до номинального значения  $f_{ном}$ , осуществляется с помощью вторичного регулирования частоты. Этот процесс иллюстрируется рисунком, г.

При увеличении нагрузки до значения  $P_{н2} > P_{н1}$  сначала осуществляется первичное регулирование частоты, которому отвечает точка 2'', соответствующая мощности турбины  $P_{т2}$  и частоте  $f_2$ . В результате вторичного регулирования дополнительно увеличивается выпуск энергоносителя в турбину, мощность турбины увеличивается, ее статическая характеристика перемещается параллельно самой себе. В точке 2 мощность турбины достигнет значения  $P_{т2}'$ , а частота в ЭЭС – номинального значения  $f_{ном}$ .



Первичное регулирование осуществляется, как правило, автоматически. Вторичное регулирование может осуществляться как автоматически, так и дежурным персоналом электростанции.

Характеристики турбины

# Регулирование частоты в электроэнергетической системе

ЭЭС включает в себя большое количество электростанций, работающих параллельно на общую электрическую сеть. При изменении потребляемой активной мощности частота в энергосистеме меняется. Если дежурный персонал каждой электростанции начнет регулировать частоту, то частота в ЭЭС не сможет быть восстановлена на уровне номинального значения из-за несогласованных действий персонала различных станций.

Поэтому задача регулирования частоты в ЭЭС возлагается не на все, а на одну или несколько электростанций с суммарной мощностью, достаточной для покрытия всех возможных изменений потребляемой мощности в ЭЭС. Такие станции называются балансирующими по частоте.

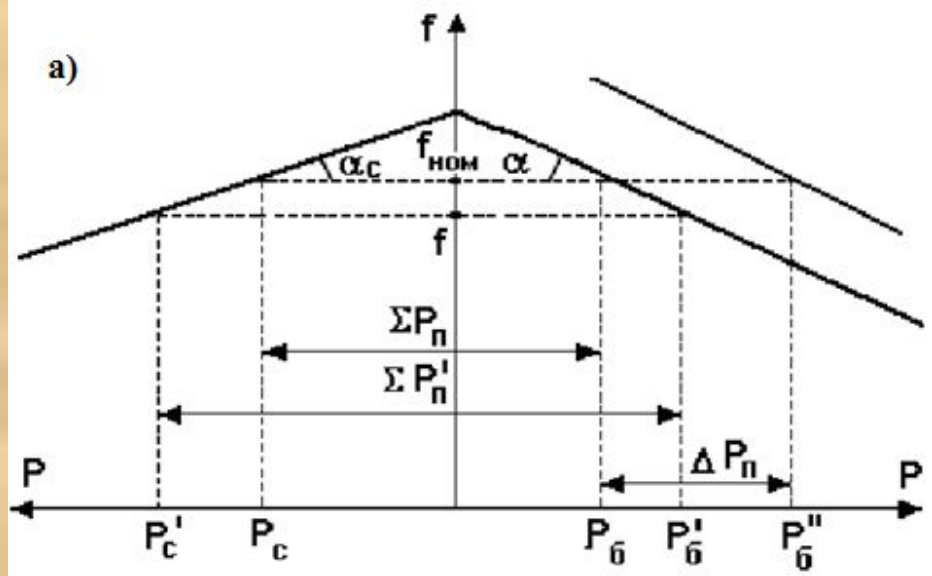
Рассмотрим сначала случай, когда в ЭЭС для регулирования частоты выделена одна балансирующая станция. Остальные электростанции ЭЭС работают с заданной постоянной мощностью.

Статические характеристики балансирующей станции и остальных станций ЭЭС приведены на рисунок, а соответственно справа и слева от вертикальной оси. При суммарной потребляемой мощности  $\Sigma P_n$  значения мощностей балансирующей станции и остальных станций характеризуются величинами  $P_b$  и  $P_c$  соответственно. В ЭЭС имеет место баланс активной мощности  $P_b + P_c = \Sigma P_n$ , а частота в ЭЭС имеет номинальное значение  $f_{ном}$ .

При увеличении суммарной потребляемой мощности до значения  $\Sigma P_n'$  в результате первичного регулирования частота в ЭЭС уменьшится до значения  $f$ , а мощности балансирующей станции и остальных станций ЭЭС увеличатся до значений  $P_b'$  и  $P_c'$  соответственно. В ЭЭС вновь будет баланс мощности  $P_b' + P_c' = \Sigma P_n'$ , но при частоте  $f$ , отличающейся от номинальной  $f_{ном}$ .

На балансирующей станции вступает в действие вторичное регулирование частоты, увеличивается впуск энергоносителя в турбину и характеристика станции перемещается параллельно самой себе до положения, при котором весь прирост суммарной потребляемой мощности

ложится на генераторы балансирующей станции. Мощность этой станции увеличится до значения  $P_b''$ . Мощность остальных станций в ЭЭС восстановится до исходного значения  $P_c$ , а частота в ЭЭС – до номинального значения  $f_{ном}$ .



Регулирование частоты в ЭЭС с одной балансирующей станцией



В мощных ЭЭС, как правило, недостаточно одной станции для покрытия возможных колебаний потребляемой активной мощности. В этом случае для регулирования частоты выделяются две или более балансирующие станции. **Рассмотрим случай, когда в ЭЭС для регулирования частоты выделены две балансирующие станции.**

Статические характеристики двух балансирующих станций 1 и 2 показаны на рисунке,б. При суммарной потребляемой в ЭЭС мощности  $\Sigma P_n$  частота равна номинальной  $f_{ном}$ , станция 1 имеет нагрузку  $P_{б1}$ , а станция 2 – нагрузку  $P_{б2}$ . Нагрузка остальных станций составляет  $P_c$ .

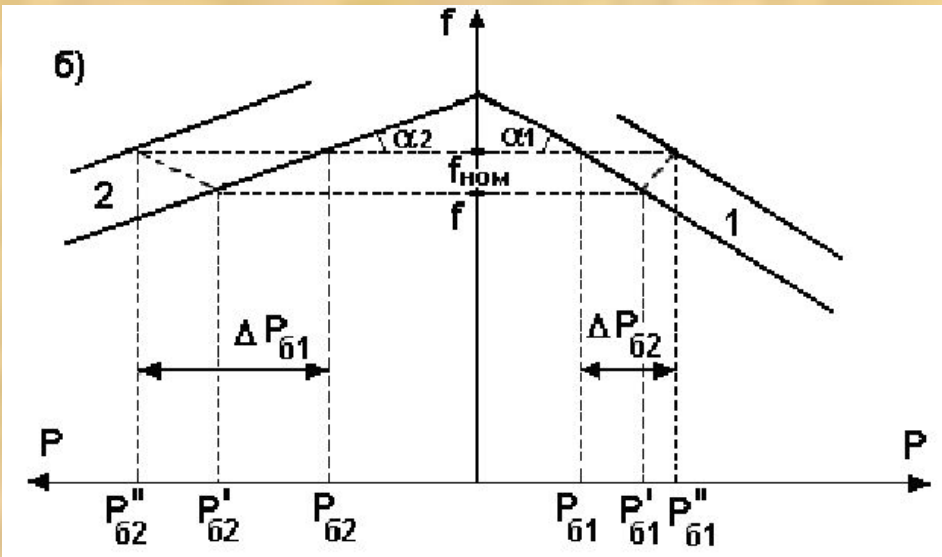
Суммарная потребляемая активная мощность в ЭЭС увеличивается до значения  $\Sigma P'_n$ . В результате первичного регулирования частота в ЭЭС уменьшится до значения  $f$ , а мощности балансирующих станций увеличатся до значений  $P'_{б1}$  и  $P'_{б2}$  соответственно. Нагрузка остальных станций ЭЭС увеличится до значения  $P'_c$ .

В результате вторичного регулирования частоты характеристики балансирующих станций будут смещаться параллельно самим себе до достижения  $f_{ном}$ . При этом мощность электростанций, кроме балансирующих, уменьшится до исходной мощности  $P_c$ , а балансирующие станции примут на себя все увеличение потребляемой в ЭЭС мощности

$$\Sigma P_n - \Sigma P'_n = \Delta P_{б1} + \Delta P_{б2}.$$

Загрузка этих станций будет  $P''_{б1}$  и  $P''_{б2}$ . Из рисунка,б видно, что приращения мощностей балансирующих станций обратно пропорциональны коэффициентам статизма их регуляторов

$$\Delta P_{б1} / \Delta P_{б2} = k_{ст2} / k_{ст1} = \text{tg} \alpha_2 / \text{tg} \alpha_1.$$



Регулирование частоты в ЭЭС с двумя балансирующими станциями

Чем меньше статизм регуляторов турбин балансирующей станции, тем большую мощность возьмет на себя эта станция при увеличении суммарной потребляемой мощности. И наоборот, чем больше статизм регуляторов турбин балансирующей станции, тем меньшую мощность возьмет на себя станция при увеличении суммарной потребляемой мощности.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**