

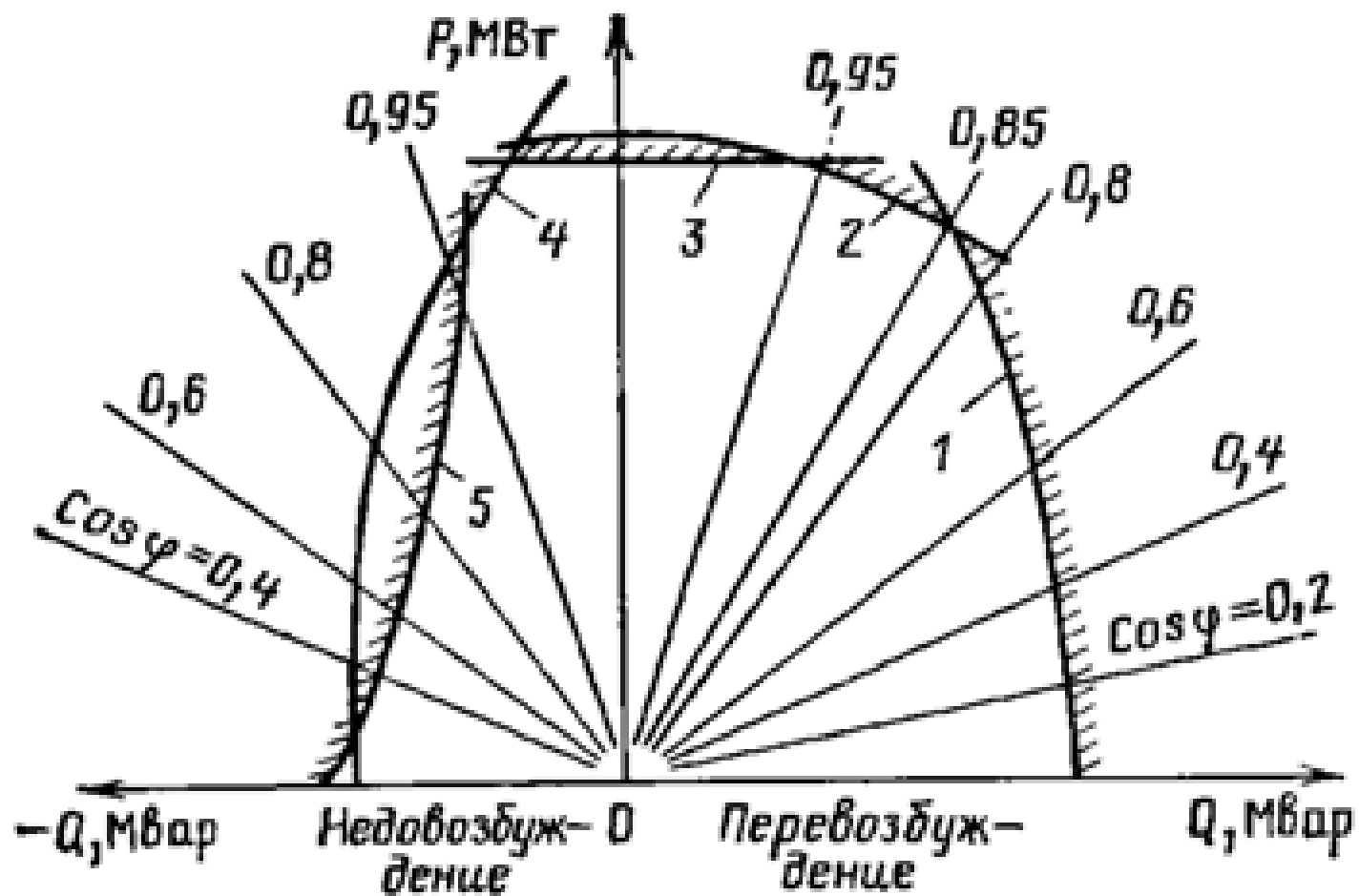
# Рабочие режимы ТГ и ГГ

Под рабочими режимами работы генератора подразумевают такие режимы, в которых он может работать длительное время. К ним относятся режимы работы машин с различными нагрузками от минимально возможной по технологическим условиям до допустимой по условию нагрева, а также режимы с переменной регулируемой нагрузкой при условии, что в процессе изменения нагрузки основные параметры генератора не отклоняются за допустимые пределы.

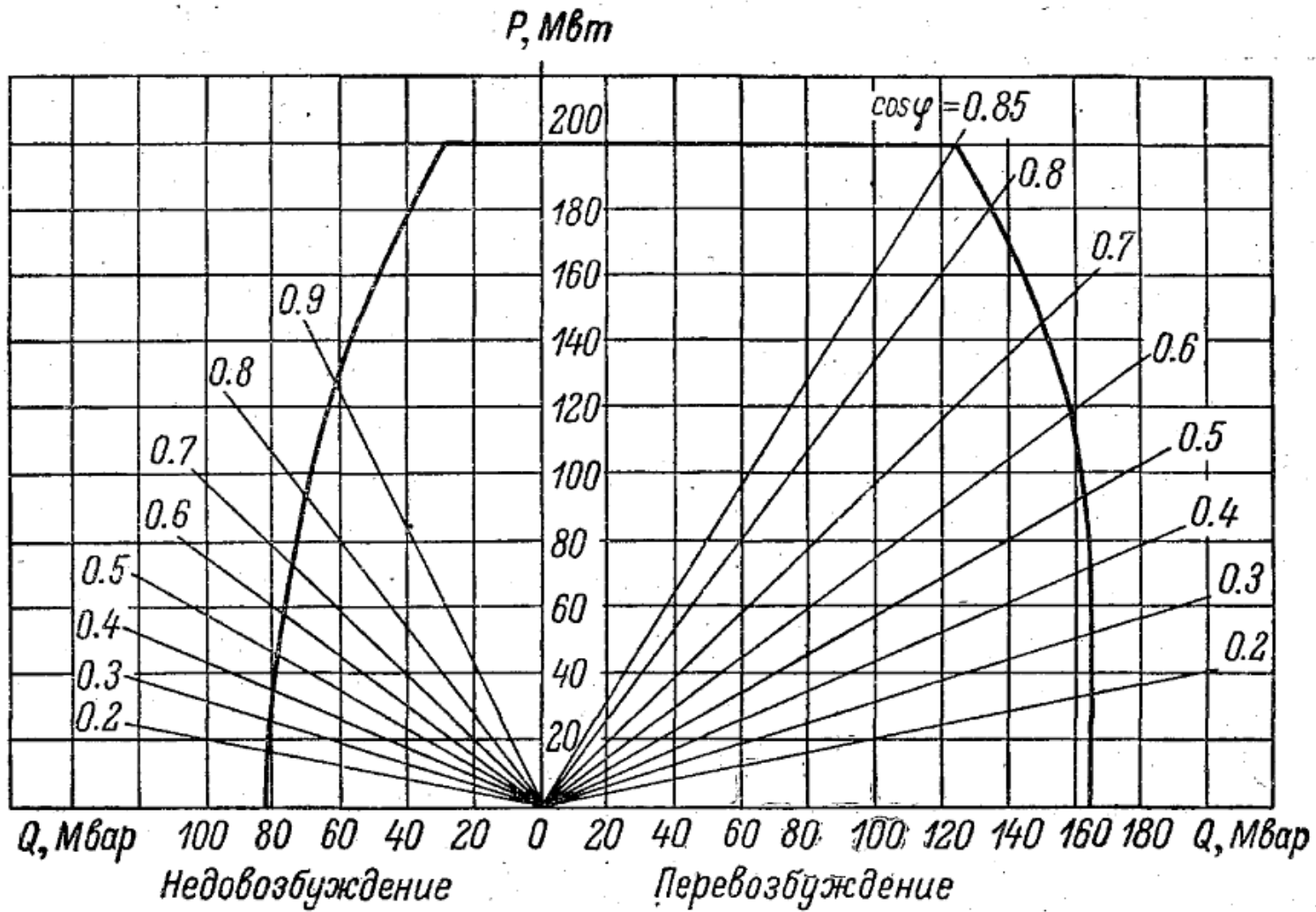
Допустимые границы отклонения параметров при рабочих режимах лимитируются нагревом различных частей синхронных машин (обмоток статора и ротора, конструктивных элементов и т.д.) и указываются в ГОСТ, ПТЭ и в инструкциях заводов изготовителей.

Для определения диапазона изменения нагрузок генераторов используют диаграммы мощностей, которые получают из векторных диаграмм напряжений.

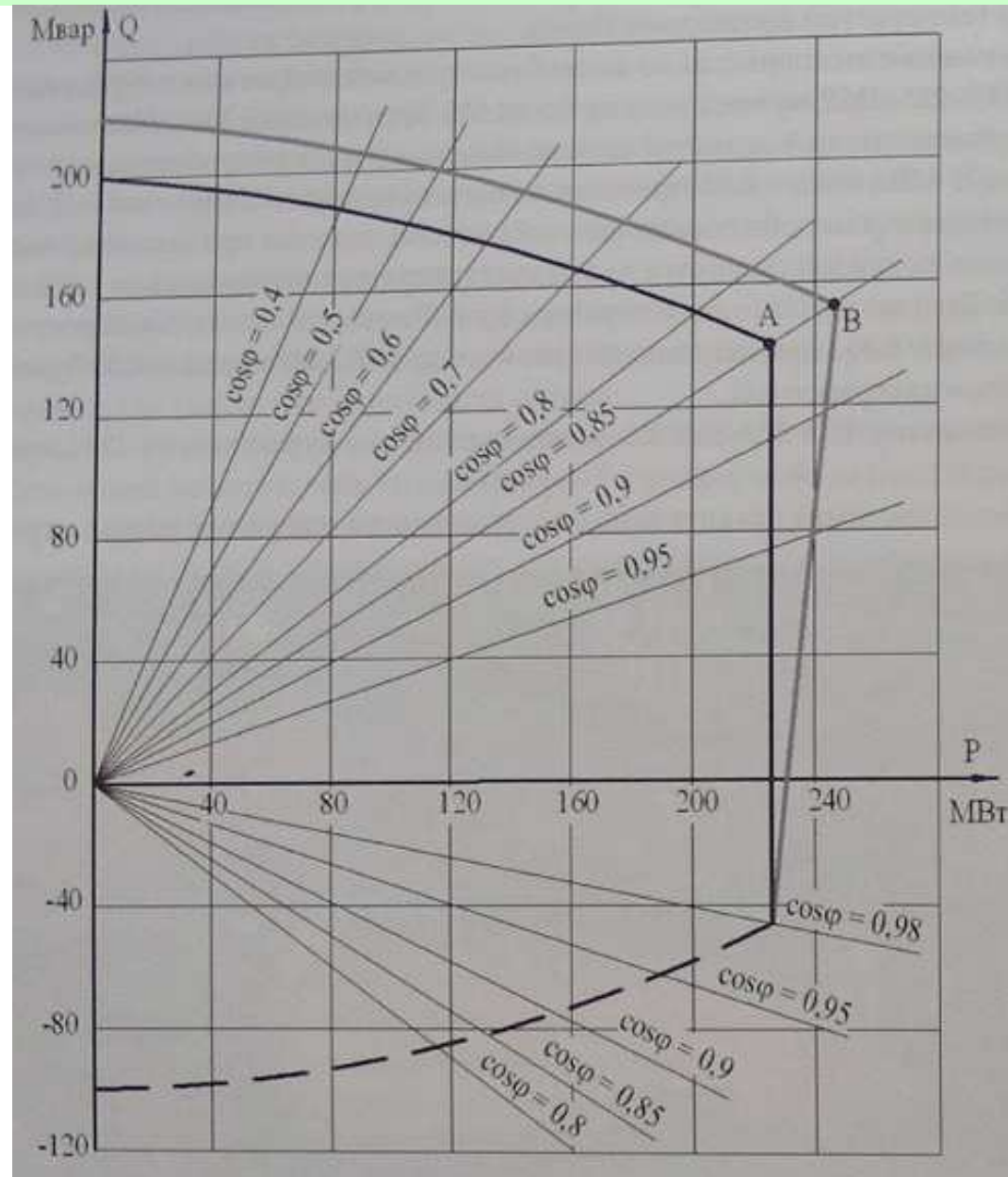
# Диаграмма мощности



# Диаграмма мощности



# Диаграмма мощности



# Номинальный режим

Номинальный режим генератора это такой режим, при котором он развивает номинальную мощность и в нормальных условиях должен работать в течение установленного заводом изготовителем срока службы. Под нормальными условиями здесь понимается, прежде всего, соблюдение расчетных условий охлаждения машины, поскольку длительность установившегося режима работы генератора ограничивается главным образом его нагревом.

При длительном установившемся номинальном режиме все основные параметры должны поддерживаться практически неизменными. Параметры считаются практически неизменными в том случае, если их изменения, неизбежные в эксплуатации, находятся в заданных пределах отклонений, практически не влияющих на режим генератора.

## Номинальный режим

Например, нагрузка генератора считается неизменной, если отклонения токов и напряжений статора от установившегося значения находятся в пределах  $\pm 3\%$ , а отклонения тока возбуждения и частоты – в пределах  $\pm 1\%$ . Температуру меди и стали генератора считают неизменной, если ее отклонения от установившегося значения не превышают  $1^\circ\text{C}$  в течение 1ч. Температура охлаждающей среды также, чтобы считаться неизменной, не должна отклоняться более чем на  $1^\circ\text{C}$  за 1ч для газа и на  $0,5^\circ\text{C}$  за 1ч для жидкости (ГОСТ 533-2000).

# Нормальные режимы

В электрической системе постоянно происходят различные изменения – в первую очередь это изменения нагрузки и как следствие изменения напряжения, частоты, коэффициента мощности и т.д. Кроме того, постоянно изменяются внешние условия, от которых зависит режим работы генераторов. К ним относятся, прежде всего, условия охлаждения (в частности, температура охлаждающей воды, которая подается в теплообменники для отвода тепла, обусловленного потерями в генераторе). Поэтому обычно генератор работает в режимах, отличных от номинального, но в рамках нормального режима.

Под нормальным режимом генератора подразумевают такой режим, в котором он может работать без ограничения по времени. К нормальному следует отнести режимы работы машин с различными нагрузками от минимально возможной по технологическим условиям до номинальной (указанной на щитке генератора), а также режимы с переменной регулируемой нагрузкой при условии, что основные параметры генератора не превысят номинальных значений.

## Нормальные режимы

Температура входящей в газоохладитель воды и выходящего из него газа (воздуха или водорода), а также — в случае непосредственного охлаждения — температура охлаждающей жидкости (дистиллята или масла) должна соответствовать нормам (у дистиллята 33, у масла 40°C). Также должны соответствовать заводским требованиям избыточное давление водорода и его чистота (98%). При отклонении температуры и давления охлаждающей среды в сторону ухудшения охлаждения длительно допустимые токи статора и ротора должны быть уменьшены настолько, чтобы тепловой режим генератора остался неизменным, а температура его отдельных элементов практически сохранила свое установившееся значение.



## Нормальные режимы

Напряжение генератора должно быть практически симметричным и синусоидальным. Это значит, что напряжение обратной последовательности не должно превышать 1%, а коэффициент синусоидальности — 5%. Отклонения напряжения статора допускается в пределах  $\pm 5\%$ . При этом генератор должен длительно работать с полной номинальной мощностью, хотя для достижения этой мощности при 95% напряжения повышается ток статора, а при 105% — соответственно ток ротора.

Допустимость понижения напряжения больше чем на 5% обязательно проверяется с точки зрения устойчивости. Если при этом генератор будет обладать достаточным запасом устойчивости (не менее 10%), то все равно мощность его должна быть снижена, поскольку ток статора по условиям нагрева обмотки статора не следует повышать сверх 105% номинального.

## Нормальные режимы

Повышение напряжения сверх 105% опасно. Иначе, вследствие насыщения стали, в современных генераторах даже незначительный подъем напряжения выше допустимого приводит к возрастанию магнитной индукции, резкому (в несколько раз) увеличению потоков рассеяния и появлению в ребрах корпуса генератора и в других конструктивных элементах очень больших паразитных токов, вызывающих дополнительный нагрев и даже оплавление этих элементов. Вследствие этого нагрузка генератора при повышении напряжения сверх 105% должна понижаться.

Некоторые типы генераторов допускают сохранение полной нагрузки при изменении напряжения до 110%. Однако, эта возможность должна быть обязательно проверена специальными испытаниями на дополнительные потери в роторе и статоре и на нагрев активной стали. До таких испытаний рекомендуется изменять нагрузку генератора при отклонениях напряжения в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

# Нормальные режимы

На практике возникает необходимость работать с отклонениями напряжения более чем на 5%. Такая работа возможна только при снижении мощности турбогенератора в соответствии с таблицей. Предельно допустимые отклонения напряжения установлены на  $\pm 10\%$  для всех турбогенераторов

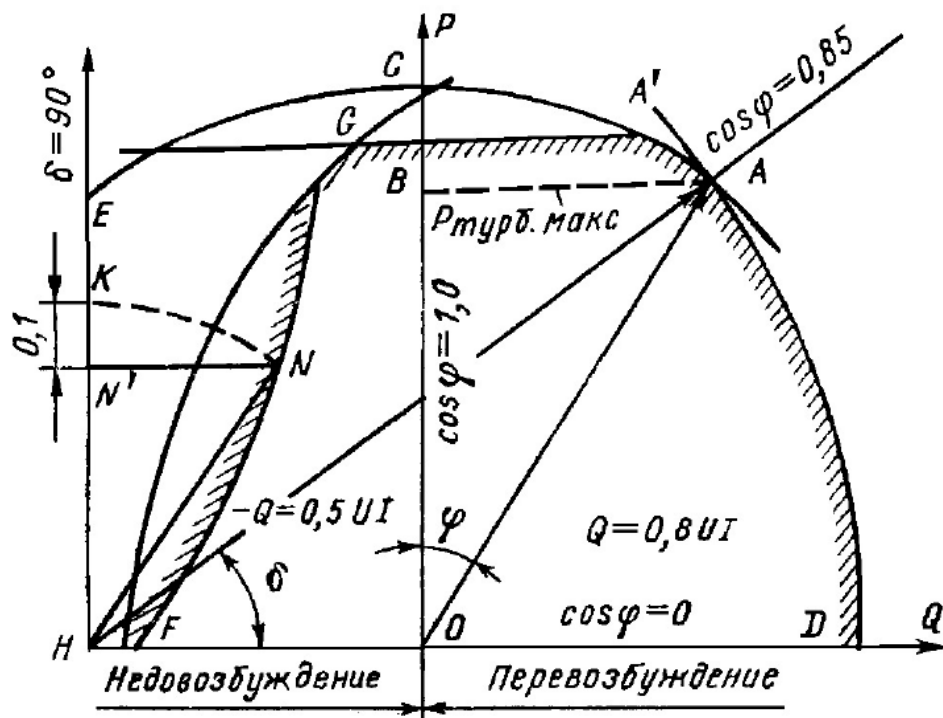
Параметры	Напряжение, %									
	110	109	108	107	106	105	100	95	90	85
Полная мощность, %	88	91	93,5	96	98	100	100	100	94,5	89
Ток в статоре, %	80	83,5	87,5	90	92,5	95	100	105	105	105

## Нормальные режимы

**Влияние изменений частоты** на потери и нагрев генератора сказываются лишь при значительных отклонениях частоты от нормы (больше  $\pm 2,5\%$ ). При понижении частоты потери в стали уменьшаются. Но одновременно с этим снижается и частота вращения ротора, снижается эффективность вентиляции и, как следствие, ухудшается охлаждение водородом, что может привести к необходимости понижения мощности генератора из-за повышения нагрева. При повышении частоты растут потери в стали, но одновременно улучшаются условия охлаждения, поэтому только при значительных повышениях частоты (2...3%) возникла бы необходимость уменьшения мощности машины.

# Нормальные режимы

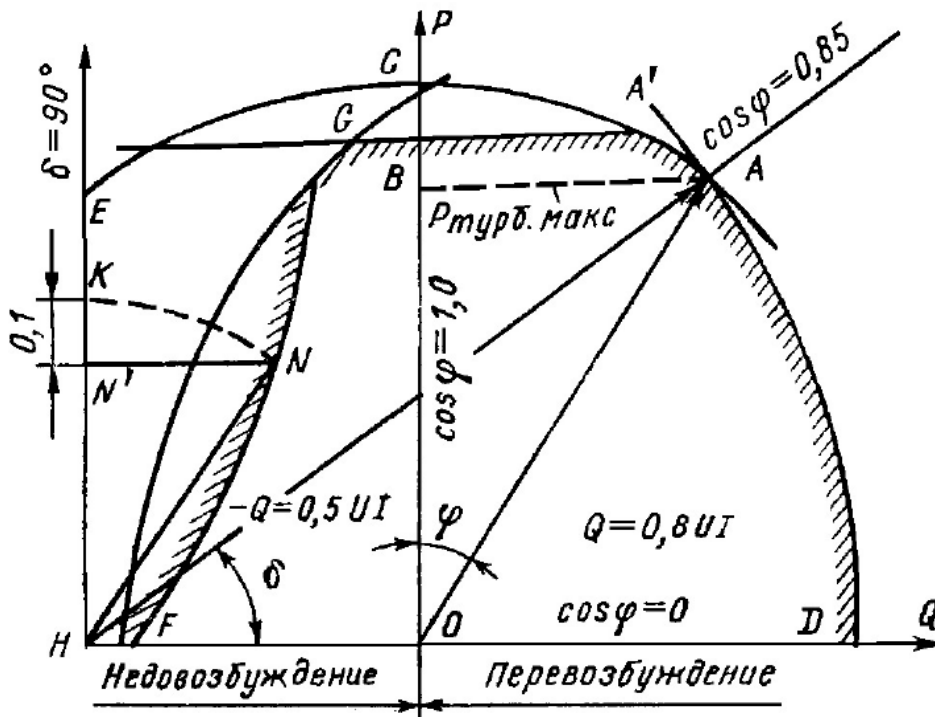
Большое влияние на полную и активную мощность генератора оказывает **изменения коэффициента мощности.**



На участке  $AD$  при понижении коэффициента мощности от номинального до нуля полная мощность уменьшается, так как для удержания режима в рамках номинальных параметров необходимо ток возбуждения, а значит и ЭДС поддерживать номинальными. Поэтому конец вектора полной мощности перемещается по окружности с центром в точке  $H$ . Таким образом, в чисто компенсаторном режиме генератор способен развивать лишь около 70% полной мощности.

# Нормальные режимы

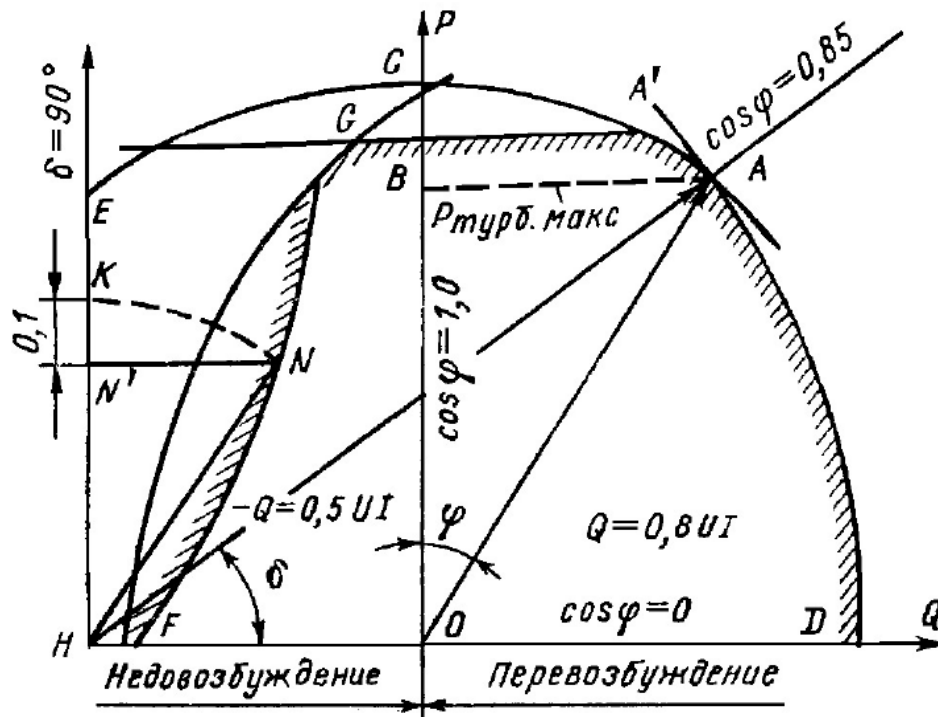
При работе с **повышенными коэффициентами мощности** (от номинального до единицы) полная мощность генератора ограничена мощностью турбины.



Поэтому конец вектора OA перемещается при изменении  $\cos \varphi$  по прямой AB. Если турбина способна повышать свою мощность сверх номинальной, то в области режимов при повышенных коэффициентах мощности генератор сможет работать при номинальной полной мощности (участок диаграммы AA').

# Нормальные режимы

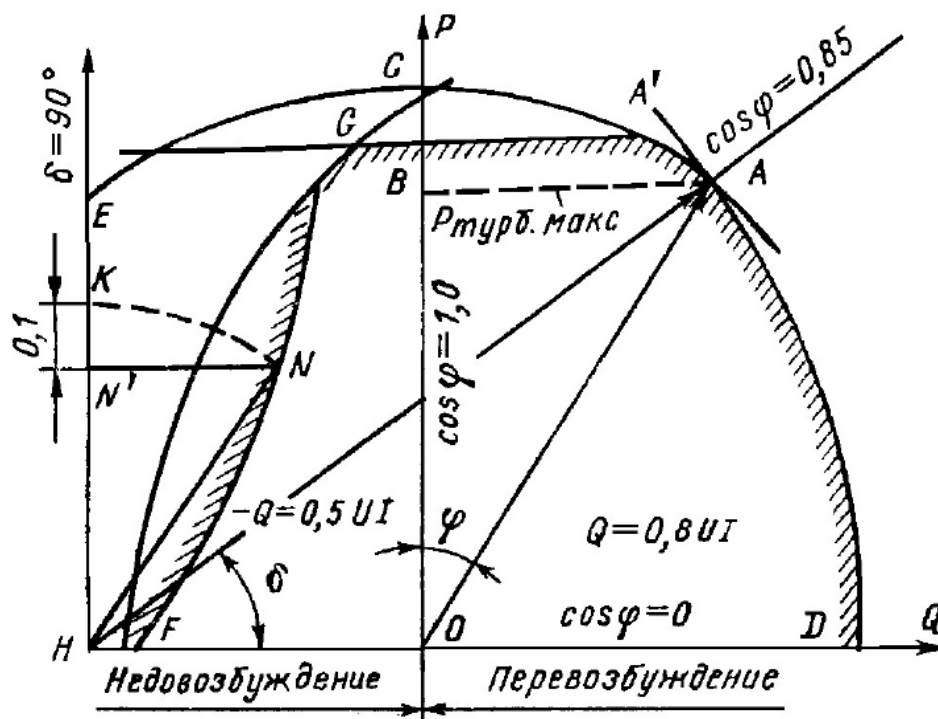
При работе в емкостном квадранте в режимах с **недовозбуждением** (влево от прямой  $OB$ ) активная мощность генератора ограничивается устойчивостью его работы.



Работа в режиме недовозбуждения практикуется в часы провала нагрузки из-за избытков реактивных мощностей и невозможности кратковременных остановок крупных генераторов. Такой режим осуществим только при автоматическом регулировании возбуждения, эффективном при работе с опережающим током статора. Но при этом условии требуется уменьшение активной нагрузки генератора для обеспечения устойчивости в области низких  $\cos \varphi$  (участок диаграммы мощности  $GF$ ).

# Нормальные режимы

В крупных турбогенераторах режимы с **недовозбуждением ограничиваются еще, дополнительно**, нагревом крайних пакетов активной стали и конструктивных элементов торцевых зон статора.



Этот дополнительный нагрев обусловлен повышенной результирующей индукцией в торцевых зонах, что объясняется слабой магнитной связью обмоток статора и ротора в этих зонах и недостаточной компенсацией потока рассеяния статора потоком ротора. Магнитная связь обеих обмоток слабее здесь потому, что поля, образуемые лобовыми частями обмоток статора и ротора, вынуждены замыкаться большей частью по воздуху.



## Допустимые перегрузки

Кратковременные перегрузки статора и ротора по отношению к длительно допустимому току статора  $I_{ст.дл}$  и ротора  $I_{в.дл}$ , необходимость в которых возникает довольно часто при работе автоматики, форсировке возбуждения, в асинхронных режимах и т.п., допускаются в довольно широких пределах

При определении допустимых перегрузок учитывают систему охлаждения машины, ее конструктивные особенности и необходимость сохранения электрических и механических свойств изоляции. Для генераторов с непосредственным охлаждением обмоток статора и ротора учитывается еще недопустимость вскипания охлаждающей воды или теплового разложения масла при повышенных нагревах, сопровождающих перегрузки. Для роторной обмотки очень важно также не превысить наибольшую разность температур между медью обмотки и сталью бочки ротора, при которой могут возникнуть остаточные деформации стержней и повреждение изоляции обмотки ротора.

## Допустимые перегрузки

Допустимая длительность полуторной перегрузки для генераторов с косвенным охлаждением обмотки статора и ротора по ГОСТ составляет 2 мин.

У генераторов с непосредственным охлаждением потери в обмотках от тока значительно выше, чем у машин с поверхностным охлаждением. При определении допустимых перегрузок для этих машин учитывают неравномерный подогрев охлаждающей среды в каналах стержней, а также увеличение постоянной времени нагрева. Кроме того, обмотки с непосредственным охлаждением более чувствительны к смещениям при их нагреве. Поэтому допустимая длительность их перегрузки током 1,5 номинального снижена до 30 с. Для турбогенераторов ТГВ, ТВВ и ТВМ ГОСТ устанавливает длительность полуторной перегрузки одну минуту

## Допустимые перегрузки

Для генераторов с поверхностным охлаждением одновременно с перегрузкой по току статора допустима при этом перегрузка по току ротора. При форсировке возбуждения двукратная к номинальному току ротора перегрузка разрешается в течение 50 с.

Для роторов с непосредственным охлаждением установлена допустимая длительность двукратной перегрузки 20 с.

Для ротора турбогенератора 800 МВт установлена длительность двукратной перегрузки 15 с.

**Меньшая перегрузочная способность генераторов с непосредственным охлаждением по сравнению с генераторами с косвенным охлаждением объясняется более высокими номинальными плотностями тока в их обмотках и неравномерностью нагрева обмотки при перегрузках из-за подогрева охлаждающей среды в каналах.**

## Допустимые перегрузки

Перегрузка обмоток током даже при разрешенной продолжительности приводит к возрастанию их температуры сверх допустимой, что вызовет ускоренное старение изоляции. Поэтому кратковременные перегрузки генераторов допускаются только при авариях в энергосистеме. Снятие перегрузки роторов с непосредственным охлаждением должно, как правило, производиться автоматически.

Если задаться условием сохранения равенства дополнительного превышения температуры обмотки при разных перегрузках и принять, что выделенное в обмотке тепло полностью пойдет только на ее нагрев, то допустимая длительность перегрузки генераторов  $\tau_{\text{доп.н}}$  при известной длительности  $\tau_{\text{доп.1}}$  заданной перегрузки (обычно двойной или полуторной) будет

$$\tau_{\text{доп.н}} = \tau_{\text{доп.1}} \cdot \frac{k_{j1}^2 - 1}{k_{jn}^2 - 1}.$$

## Допустимые перегрузки

*Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей регламентируют следующие допустимые перегрузки синхронных генераторов:*

*Длительная перегрузка генераторов по току сверх значения, допустимого при данных температуре и давлении охлаждающей среды, не допускается.*

*В аварийных условиях генераторы разрешается кратковременно перегружать по токам статора и ротора согласно инструкциям завода-изготовителя, техническим условиям и государственным стандартам. Если в них соответствующие указания отсутствуют, при авариях в энергосистемах допускаются кратковременные перегрузки генераторов по току статора при указанной в табл. кратности тока, отнесенной к номинальному значению.*

# Допустимые перегрузки

Допустимая кратность перегрузки генераторов и синхронных компенсаторов по току статора

Продолжительность перегрузки, мин, не более	Косвенное охлаждение обмотки статора	Непосредственное охлаждение обмотки статора	
		водой	водородом
60	1,1	1,1	–
15	1,15	1,15	–
10	–	–	1,1
6	1,2	1,2	1,15
5	1,25	1,25	–
4	1,3	1,3	1,2
3	1,4	1,35	1,25
2	1,5	1,4	1,3
1	2,0	1,5	1,5

## Допустимые перегрузки

*Допустимая перегрузка по току возбуждения генераторов с косвенным охлаждением обмоток определяется допустимой перегрузкой статора. Для турбогенераторов с непосредственным водородным или водяным охлаждением обмотки ротора допустимая перегрузка по току возбуждения должна быть определена кратностью тока, отнесенной к номинальному значению тока ротора.*

*Допустимая кратность перегрузки турбогенераторов по току ротора*

Продолжительность перегрузки, мин, не более	Турбогенераторы	
	ТВФ, кроме ТВФ-120-2	ТГВ, ТВВ (до 500 МВт включительно), ТВФ-120-2
60	1,06	1,06
4	1,2	1,2
1	1,7	1,5
0,5	2,0	–
0,33	–	2,0