

ЛЕКЦИЯ 6

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ НЕРАБОТАЮЩЕГО ПОТРЕБИТЕЛЯ ПРИ ФОРС-МАЖОРНЫХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ

6.1 Определение мощности и выбор автономного источника энергии

Мощность АИЭ определяется двумя основными факторами: расчетной максимальной нагрузкой электроприемников АБ предприятия или группы предприятий и возможностью запуска наиболее мощного электродвигателя, входящего в состав АБ.

Мощность АИЭ выбирается по неравенству:

$$P_{АИЭ} \geq P_{аб}, \quad (12)$$

где $P_{аб}$ – мощность АБ электроснабжения одного предприятия – при выборе индивидуального АИЭ (определяется по (9)), нескольких предприятий – при выборе группового АИЭ (определяется по (13)).

При выборе группового АИЭ суммарная мощность АБ определяется как сумма мощностей отдельных предприятий с учетом коэффициента одновременности максимумов нагрузки:

$$P_{аб} = k_o \sum_1^n P_{абi}, \quad (13)$$

где k_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузки, принимается равным 0,85-0,95 (меньшее значение при $n > 3$ или при коэффициенте неравномерности ГЭН отдельных предприятий менее 0,8); n – количество предприятий, входящих в группу.

Следует различать номинальную и эксплуатационную для данного типа источника мощность АИЭ. **Номинальная мощность электростанции** – мощность, при которой станция надежно и длительно работает в условиях окружающей среды, соответствующих расчетным для данного типа АИЭ. **Эксплуатационная мощность** – мощность, которую электростанция может развивать в течение длительного времени в условиях окружающей среды, отличающихся от расчетных для данного типа АИЭ. То есть, если номинальная мощность АИЭ составляет, например, N кВт при температуре воздуха $+20^\circ\text{C}$, то при температуре $+30^\circ\text{C}$ его эксплуатационная мощность составит $N \cdot k$, где величина снижения мощности k зависит от типа АИЭ.

Мощность АИЭ, выбранная по условию покрытия нагрузки АБ, проверяется по условию пуска наиболее мощного электродвигателя, входящего в состав АБ. Такая проверка выполняется по специальной методике, в основе которой заложены следующие принципы:

- нормальная работа подавляющего большинства электромагнитных реле и коммутационной аппаратуры не нарушается при кратковременном снижении напряжения в сети до 20 %;

- допускается понижение напряжения до 25 % номинального при редком (не чаще одного раза в смену) пуске электродвигателей, если такое понижение не приводит к нарушению работы других электроприемников, питающихся от шин этого же источника.

Если мощность АИЭ, выбранная по условию (12), не может обеспечить нормальный пуск электродвигателей, то необходимо рассмотреть следующие пути облегчения пуска:

- возможность пуска наиболее мощного электродвигателя от незагруженного генератора;
- усиление питающей линии (увеличение сечения, прокладка дополнительных линий);
- параллельная работа питающих линий.

Если такими методами не удастся добиться необходимого результата, то принимают АИЭ следующего типоразмера по мощности и повторно выполняют проверку по пуску.

6.2 Режимы работы автономных источников энергии

Основное назначение АИЭ – обеспечение предприятия энергией (электрической и тепловой) при отсутствии централизованного электроснабжения от энергосистемы. Поэтому при возникновении чрезвычайных, а в некоторых случаях и аварийных (когда существует значительный и продолжительный дефицит мощности в энергосистеме) ограничений электроснабжения АИЭ полностью включается в работу. Его загрузка зависит от запаса мощности, который был заложен при выборе источника, из чего следует, что если АИЭ выбирался для обеспечения только нагрузок АБ и ТБ, то его загрузка будет близка к номинальной.

Однако могут быть и другие решения относительно определения мощности генерирующего источника, например, для всей потребности в мощности и энергии, если планируется работа предприятия на полную производственную мощность даже при возникновении чрезвычайных ограничений электроснабжения. В этом случае режим функционирования АИЭ будет зависеть от конфигурации группового ГЭН предприятия, формирующегося работой большего количества электроприемников.

При нормальном функционировании предприятия есть несколько вариантов работы АИЭ. Один из них – когда генерирующий источник находится в резерве, то есть при наличии централизованного электроснабжения не используется. В этом случае целесообразность применения АИЭ определяется только значительным снижением ущерба при возникновении ограничений электроснабжения.

Второй вариант – функционирование АИЭ параллельно энергосистеме, то есть он практически обеспечивает нужды предприятия в тепловой и электрической энергии, а ее недостающую часть (если она есть) оно получает от централизованного источника. В этом случае генерирующий источник работает постоянно с номинальной загрузкой, а при оценке эффективности учитываются взаиморасчеты с энергосистемой за купленную (проданную) электрическую и тепловую (если избыток тепла, его можно продать) энергию, что требует анализа графиков электрических и тепловых нагрузок.

Третий вариант – автономная работа генерирующего источника, когда его использование по электричеству и теплу определяется графиками нагрузки потребителей данного предприятия, тарифами на покупную электрическую и тепловую энергию, а при оценке эффективности полностью учитываются капитальные затраты на сооружение энергоустановки и стоимость топлива.

Существует также так называемый "смешанный" вариант, когда предприятие получает от АИЭ только тепловую энергию в необходимом объеме, а электроэнергия поставляется энергосистемой. Здесь также источник работает в течение года, однако путем его регулирования добиваются получения максимального количества тепла.

При любом варианте выбор соответствующего режима работы АИЭ должен выполняться путем проведения технико-экономического сравнения вариантов, а финансовая оценка проектов таких установок должна помочь выбрать такие их тип и мощность, чтобы получить гарантированную выгоду.

6.3 Автономные источники энергии для обеспечения аварийной брони электроснабжения

В качестве АИЭ для обеспечения АБ электроснабжения предприятий используются следующие типы источников, выпускаемые серийно или под заказ промышленными компаниями:

1. Двигатели внутреннего сгорания (ДВС газовые и дизельные)

Двигатель приводит во вращение электрический генератор, а тепло уходящих газов и водяного охлаждения двигателя используется для обеспечения тепловых нагрузок. Мощность их составляет от десятков до тысяч киловатт, коэффициент полезного действия при мощности в диапазоне 260...3000 кВт по электричеству достигает порядка 35...40%, по теплу – 47...53 %, общий – около 85...91%.

ДВС могут работать на жидких (легкие и средние сорта топливной нефти) и газообразных видах топлива, а также на тяжелом нефтяном топливе (мазуте) – дизели большой мощности. Двигатели, работающие на природном газе, требуют меньших затрат на обслуживание по сравнению с двигателями, работающими на топливной нефти. Ресурс – 200000 часов (25 лет при 8000 часах работы двигателя в год). ДВС работают при неизменной частоте вращения (обычно она составляет от 1000 до 1500 об/мин.) с целью обеспечения постоянства частоты тока генерируемой электрической энергии. В Украине газовые двигатели выпускает ОАО "Первомайскдизельмаш", из зарубежных – фирмы "ELTECO", "JENBACHER", "DEUTZ", "Wjartsila", "Sparc", "TEDOM" и др.

Следует учесть, что для дизельных электростанций превышение мощности источника над его расчетной нагрузкой не должно быть значительным, так как большой недогруз является тяжелым режимом работы для дизелей.

2. Газовые турбины (ГТ)

ГТ состоит из трех основных компонентов: компрессора, камеры сгорания и расширительной турбины (рис.2). Компрессор сжимает входной воздух, что вызывает повышение его температуры. Затем этот воздух подается в камеру сгорания вместе с горючим, далее горячие газы при температуре около 1000°C выводятся из ГТ через расширительную турбину, вал которой соединен с компрессором и с электрическим генератором. Конечная температура уходящих

газов при выходе из ГТ – 400...600°C. Примерно 65% вырабатываемой энергии используется для привода компрессора. ГТ имеет три потенциальных источника теплоты: выхлопные газы, система охлаждения масла, потери с поверхности. Практически утилизируется только тепло выхлопных газов, для чего применяется котел-утилизатор.

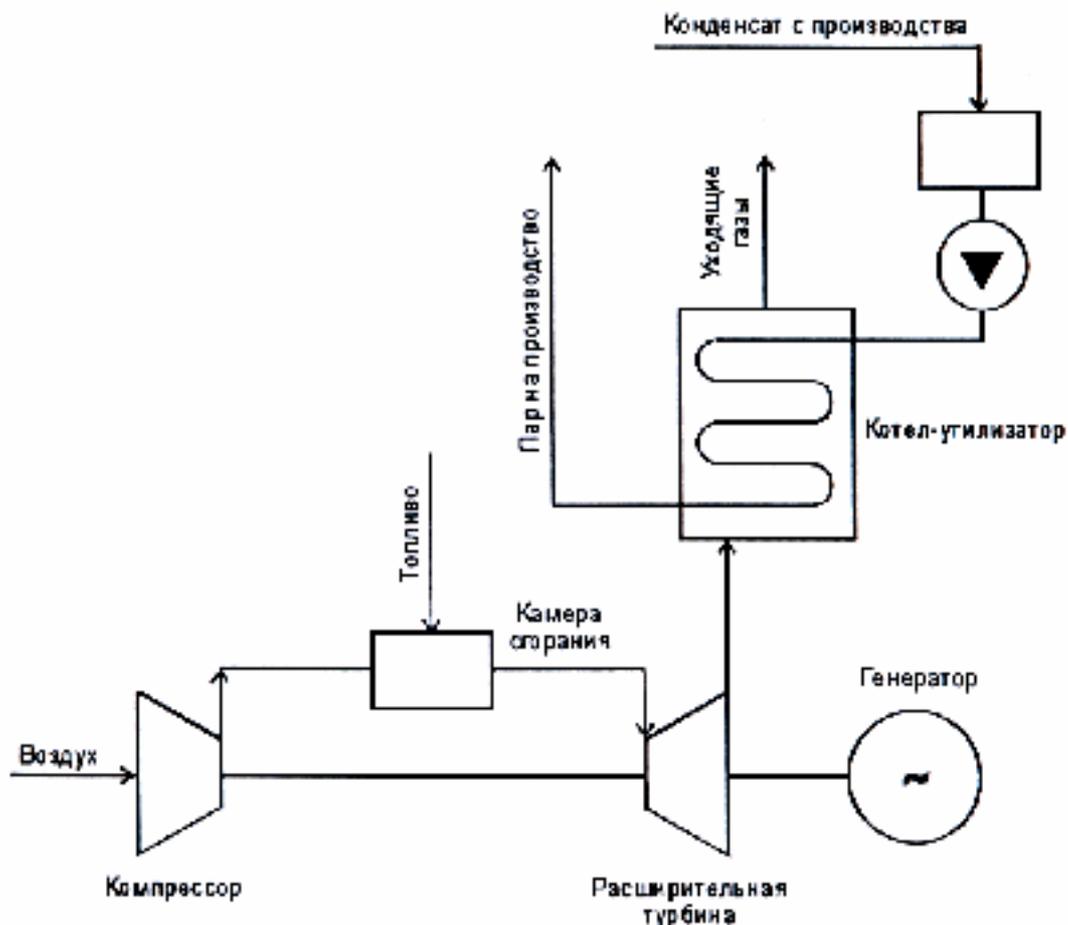


Рис.2. Схема газовой турбины

ГТ могут работать как на газообразном виде топлива, так и некотором жидком. Более крупные турбины могут также работать на среднем нефтяном топливе, а в некоторых случаях – и на тяжелом (мазуте). При использовании более тяжелых нефтяных видов топлива возрастает объем технического обслуживания из-за загрязнения лопаток турбины золой, несгоревшими углеводородами и следами металлов.

Большинство ГТ для генерирования электроэнергии выполняются на основе конструкций транспортных двигателей, что предопределяет их высокую надежность и небольшие габариты. Срок службы газовой турбины зависит от рабочего режима, качества топлива, чистоты воздуха в камере сгорания и обычно составляет 15 – 20 лет, а для турбин, разработанных на базе авиационных двигателей, в лучшем случае – до 30 лет. Однако они могут работать непрерывно в течение 8000 и более часов.

3. Паровые турбины (ПТ)

Для системы с **паровой турбиной** (см. рис.3) пар вырабатывается в отдельном котле, где температура 200...500°C, давление 10...60 бар. Затем этот пар проходит

через ПТ, которая механически связана с генератором переменного тока. Такие системы имеют сравнительно низкий КПД выработки электрической энергии, поэтому с целью экономичности в них используют низкосортное первичное топливо, например, уголь или отходы. Один из основных показателей ПТ – **давление отработавшего пара**. Для получения максимального КПД при генерировании электроэнергии отработавший пар должен иметь минимально возможные давление и температуру.

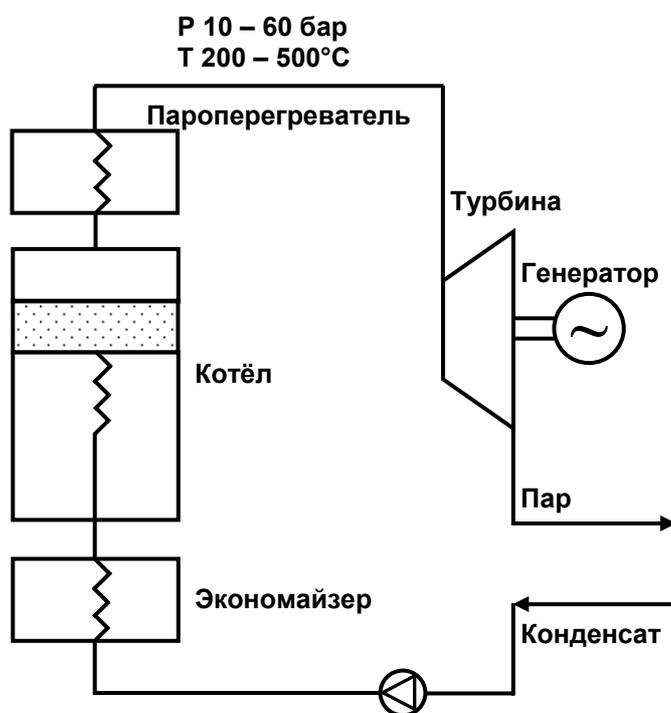


Рис.3. Паровая турбина с противодавлением

Существующие ПТ имеют мощность от 100 кВт до 500 МВт и более. Более мощные турбины применяются в электроэнергетике на КЭС. Поскольку топливо сжигают в отдельном котле, то для выработки пара можно применять любой его вид, в том числе отработавшие газы, полученные при любом высокотемпературном процессе.

Существуют **конденсационные турбины с промежуточными отборами** (см. рис.4), где только часть пара с выхода турбины используется для технологических целей, остальной же пар расширяется до низкого давления (0,05 бар) и поступает в конденсатор. Такая конструкция турбины обеспечивает большую гибкость, однако капитальные затраты более высокие по сравнению с ПТ с противодавлением.

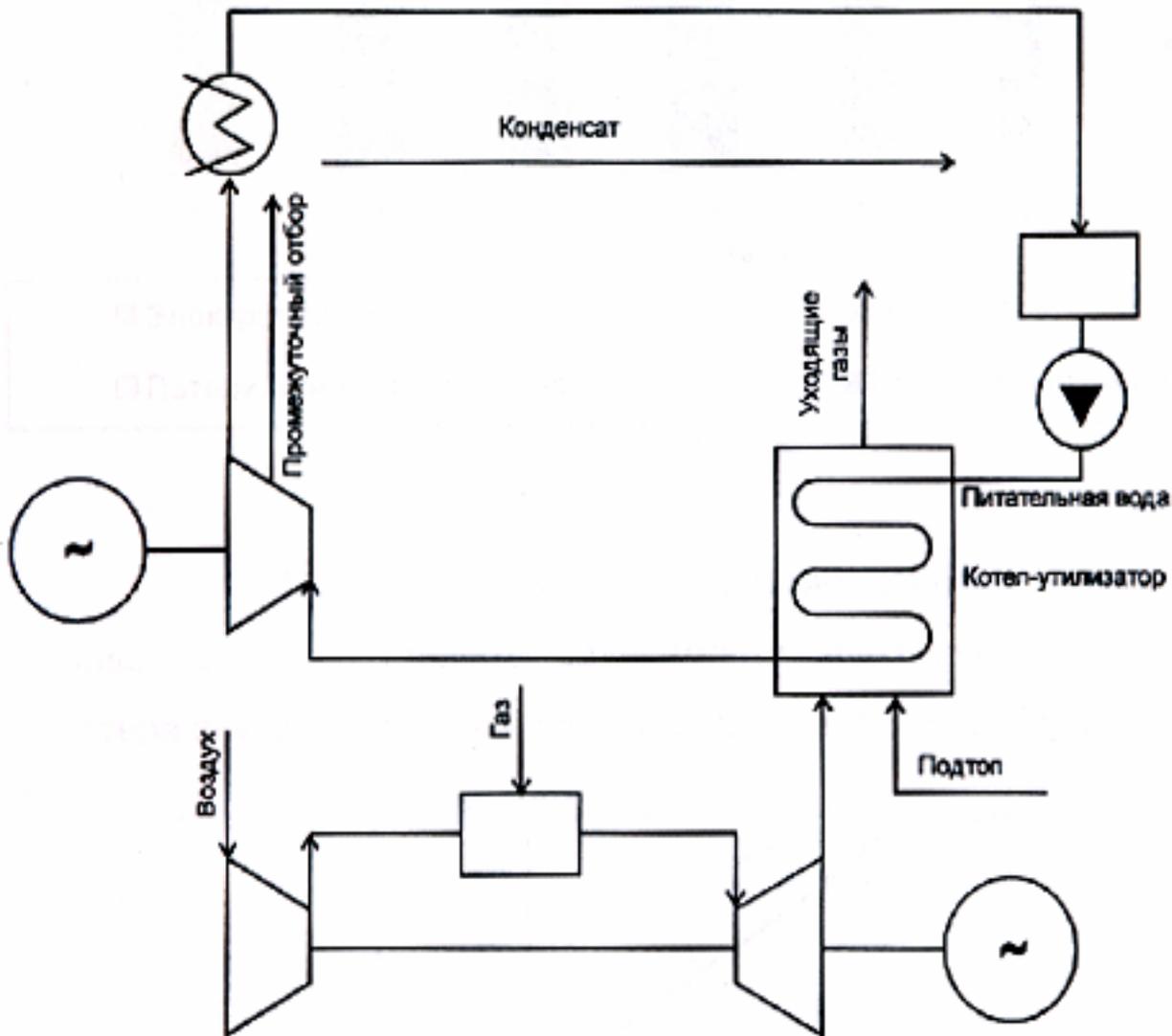


Рис.4. Схема конденсационной турбины с промежуточными отборами

Эффективно применение технологической схемы энергетической установки с **комбинированным циклом**, когда открытый цикл ГТ и закрытый цикл ПТ объединены. За счет комбинирования газо и паротурбинного процессов образуется **парогазовая установка (ПГУ)**, где достигаются как высокие температуры как на входе (1200°C), так и низкие на выходе (25°C). При этом горячие отработавшие газы газовой турбины с температурой около 600°C направляются в котел-утилизатор. Здесь остаточная тепловая энергия горячих газов применяется для выработки пара для паровой турбины. Благодаря обоим тепловым перепадам (с 1200 до 600°C и с 600 до 25°C) коэффициент полезного действия достигает 60% (см. рис.5).

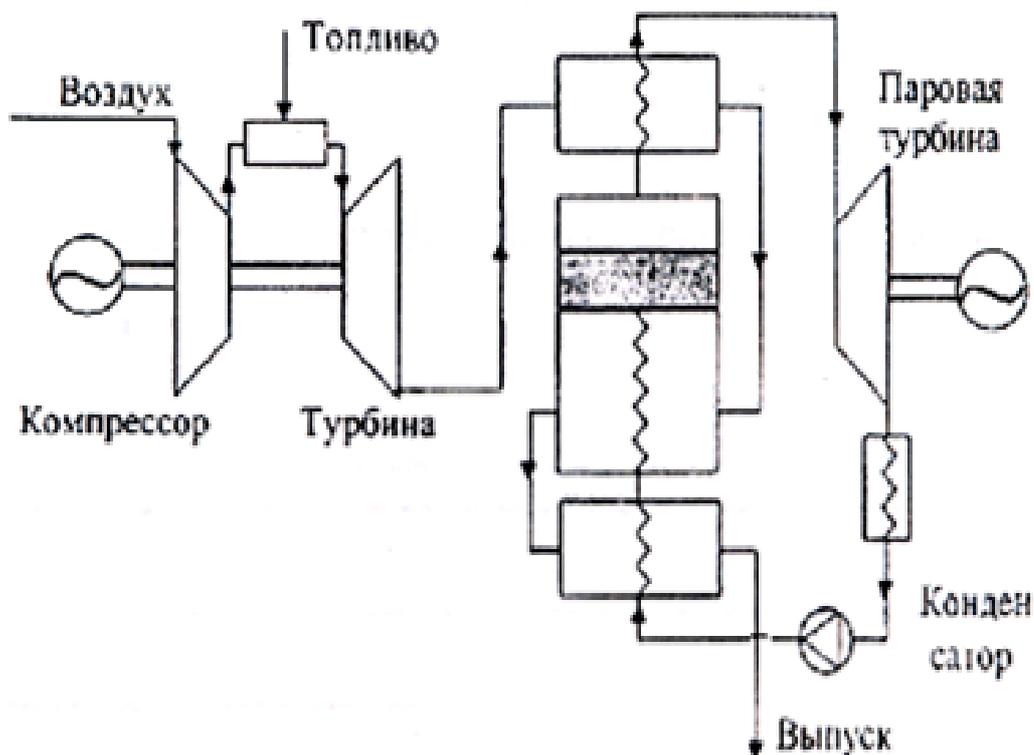


Рис.5. Схема установки комбинированного цикла

Самое низкое соотношение между вырабатываемой теплотой и электрической мощностью достигается в ДВС (вследствие присущей им высокой эффективности генерирования электрической энергии). Для ГТ это соотношение составляет примерно 2:1, но, как и для ДВС выработка теплоты может быть увеличена с помощью дополнительного сжигания топлива в потоке отходящего газа. В ГТ можно достичь более высоких соотношений, если использовать выхлопные газы для получения горячей воды, а не пара. ПТ имеют самое высокое отношение теплоты к электрической мощности (минимальное значение составляет 3:1).

При выборе мощности и типа источника генерирования энергии необходимо учитывать область рационального использования соответствующего оборудования. К примеру, газовая турбина может применяться для создания установок мощностью от нескольких десятков кВт до 100 МВт, однако при незначительной мощности она имеет низкий КПД и слишком дорога (около 1000 EUR за 1 кВт установленной мощности). Комбинированный цикл и конденсационная турбина с равными отборами мощности рациональны в пределах от 10 до 100 МВт, а паровая турбина с противодавлением – от 2,5 до 50 МВт. Мощность газового двигателя, как правило, не должна превышать 10 МВт, а дизельного – 20 МВт.

Для некоторых предприятий рациональным может оказаться вариант применения газового двигателя, работающего, например, на шахтном метане в комбинации с паровой турбиной в зависимости от потребностей в тепловой и электрической энергии. В качестве топлива для такого варианта дополнительно используется уголь. Такие “гибридные” технологии могут существенно расширить область их применения. Особенно это актуально для шахт, где имеется свое топливо – уголь для паровой турбины и (или) метан из горных выработок – для газовой.

6.4 Схемы электроснабжения

Схемы электроснабжения промышленных предприятий для условий возникновения форс-мажорных обстоятельств отличаются от схем для нормальных условий только необходимостью подключения автономных источников (источника) энергии, а для предприятий, на которых они уже установлены, никакой доработки или дополнительного проектирования действующих схем не требуется. Поэтому существует большое количество разнообразных схем электроснабжения предприятий для аварийных условий, которые могут быть сведены к нескольким типовым видам, приведенным на рис. 6 и рис. 7.

Такие схемы принципиально будут различаться по одному признаку: наличию электроприемников АБ на напряжение 6(10) и 0,23(0,4) кВ или только на напряжение 0,23(0,4) кВ (встречается гораздо реже первого случая). Это обстоятельство обуславливает выбор АИЭ, и, в частности, определение напряжения генератора переменного тока, подключение и защита которого значительно проще, а капитальные затраты и эксплуатационные расходы значительно меньше при более низком напряжении. Поэтому очевидно, что при наличии электроприемников АБ только на напряжение 0,23(0,4) кВ (рис. 7), нет необходимости в установке АИЭ на высшее напряжение.

Количество генераторов определяется максимальной нагрузкой электроприемников АБ, которую они должны обеспечить, и в большинстве случаев составляет два (для обеспечения надежности электроснабжения при 2-4 секциях шин), реже один (питание всех секций шин выполняется путем включения соответствующих секционных выключателей). АИЭ к шинам 6(10) кВ могут подключаться через "согласовывающие" трансформаторы при работе генератора на нестандартном напряжении. Выбор окончательного варианта выполняется после их технико-экономического сравнения.

Подключение электроприемников АБ электроснабжения на любом напряжении и соответствующих секций шин осуществляется путем выполнения необходимых переключений **установленной** коммутационной аппаратуры (автоматических выключателей, разъединителей др.) дистанционно диспетчером или вручную.

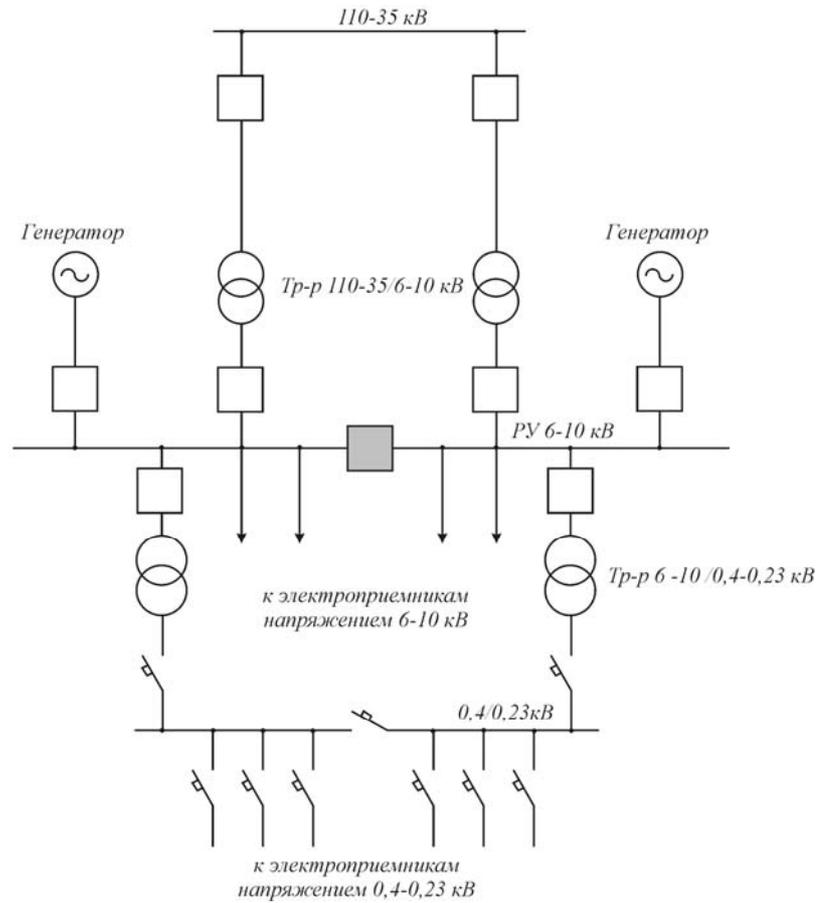


Рис.6. Типовая схема для обеспечения электроснабжения электроприемников АБ напряжением 6-10 и 0,4-0,23 кВ или только 6-10 кВ

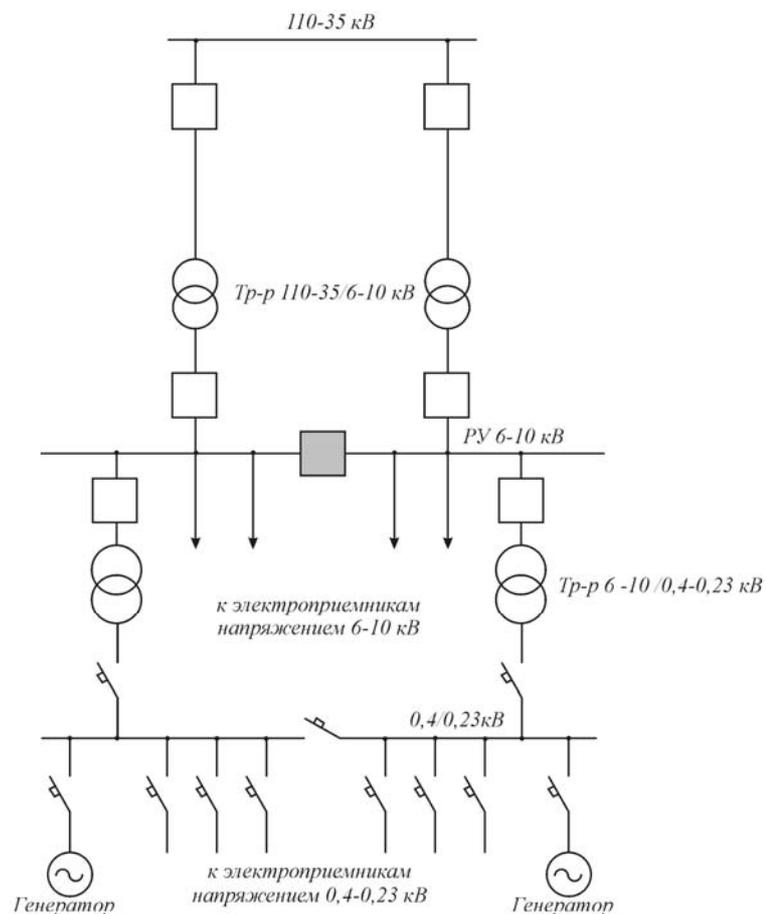


Рис.7. Типовая схема для обеспечения электроснабжения

электроприемников АБ напряжением только 0,4-0,23 кВ