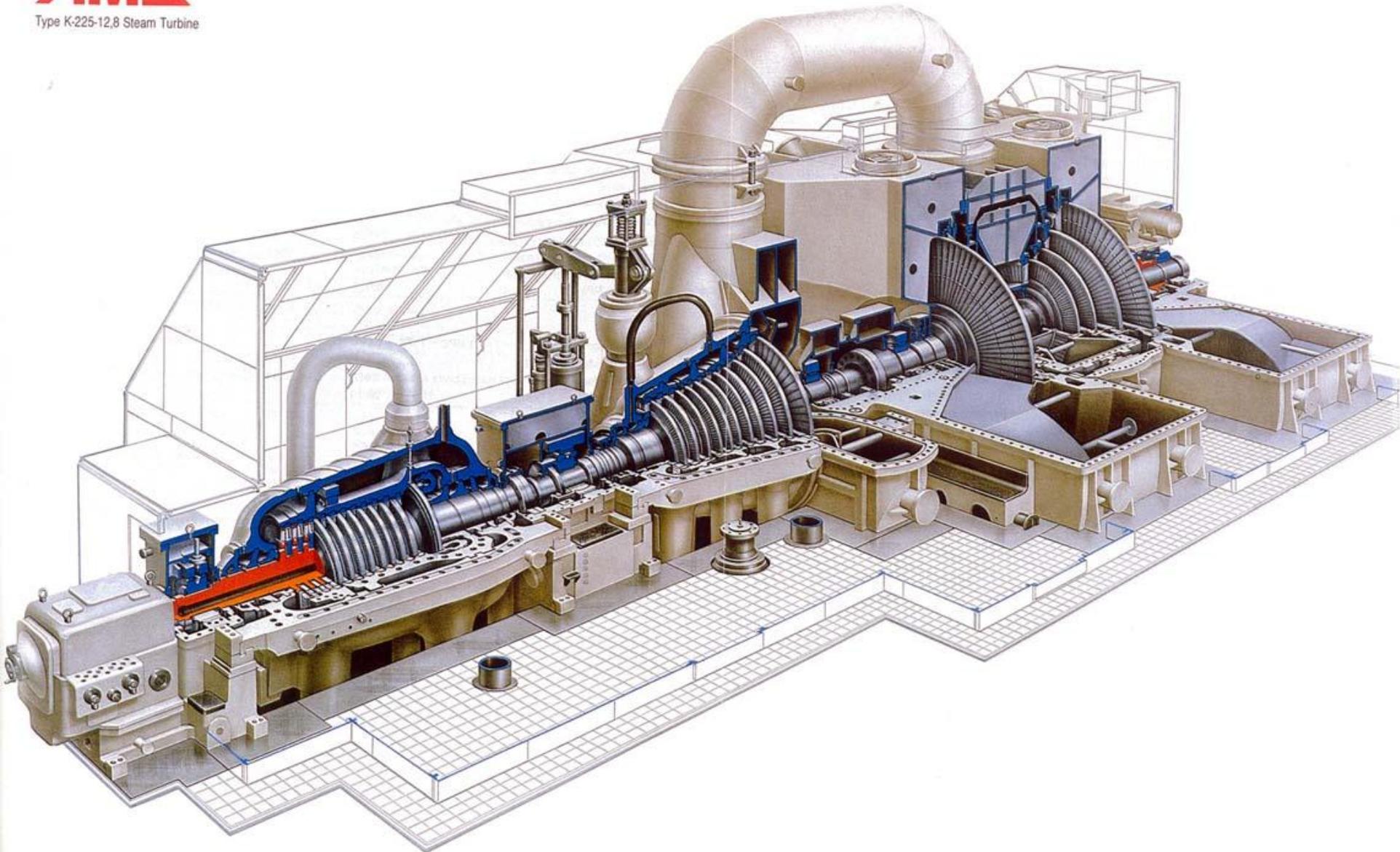


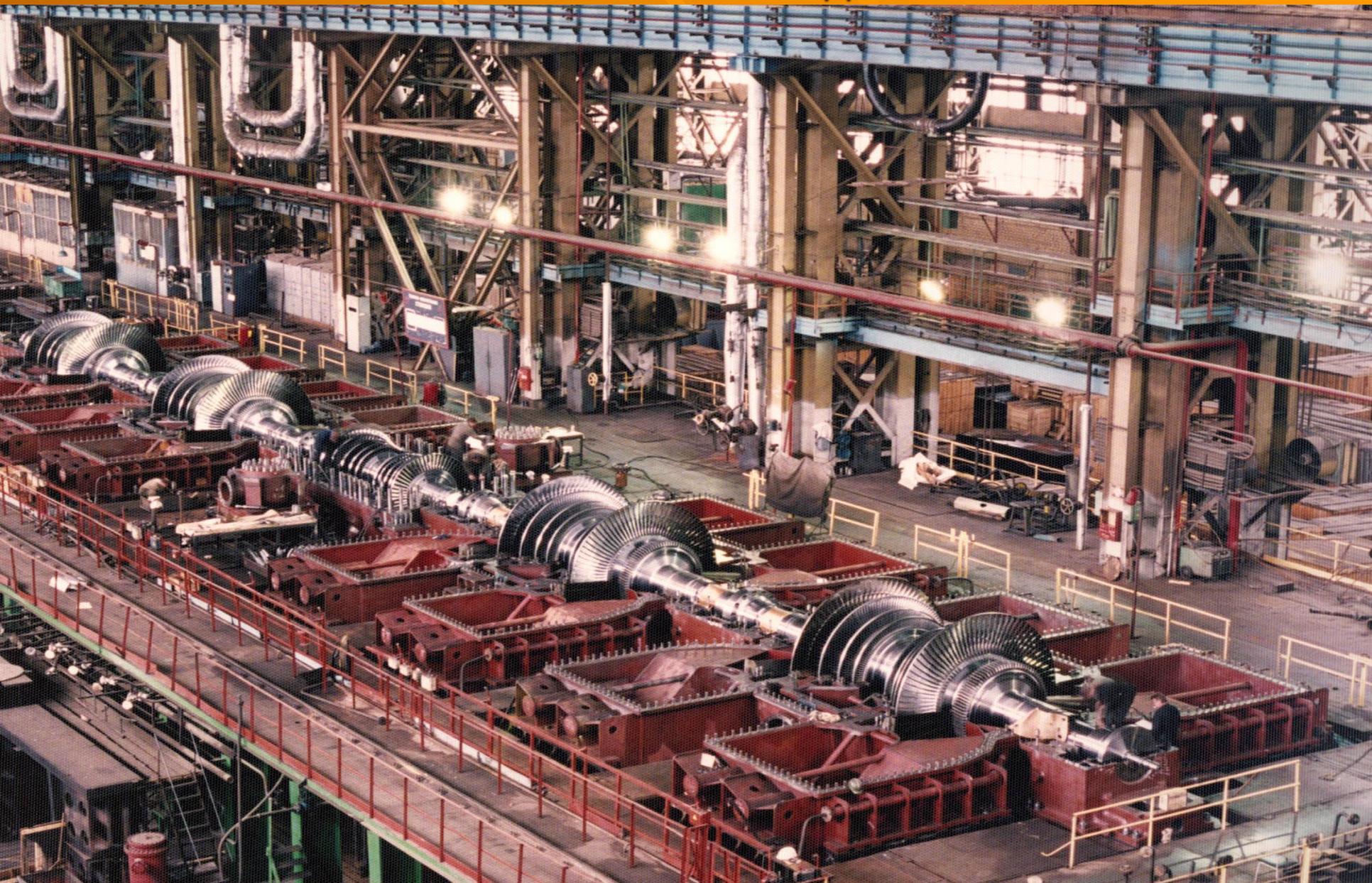
Паровая турбина К-215-12,7

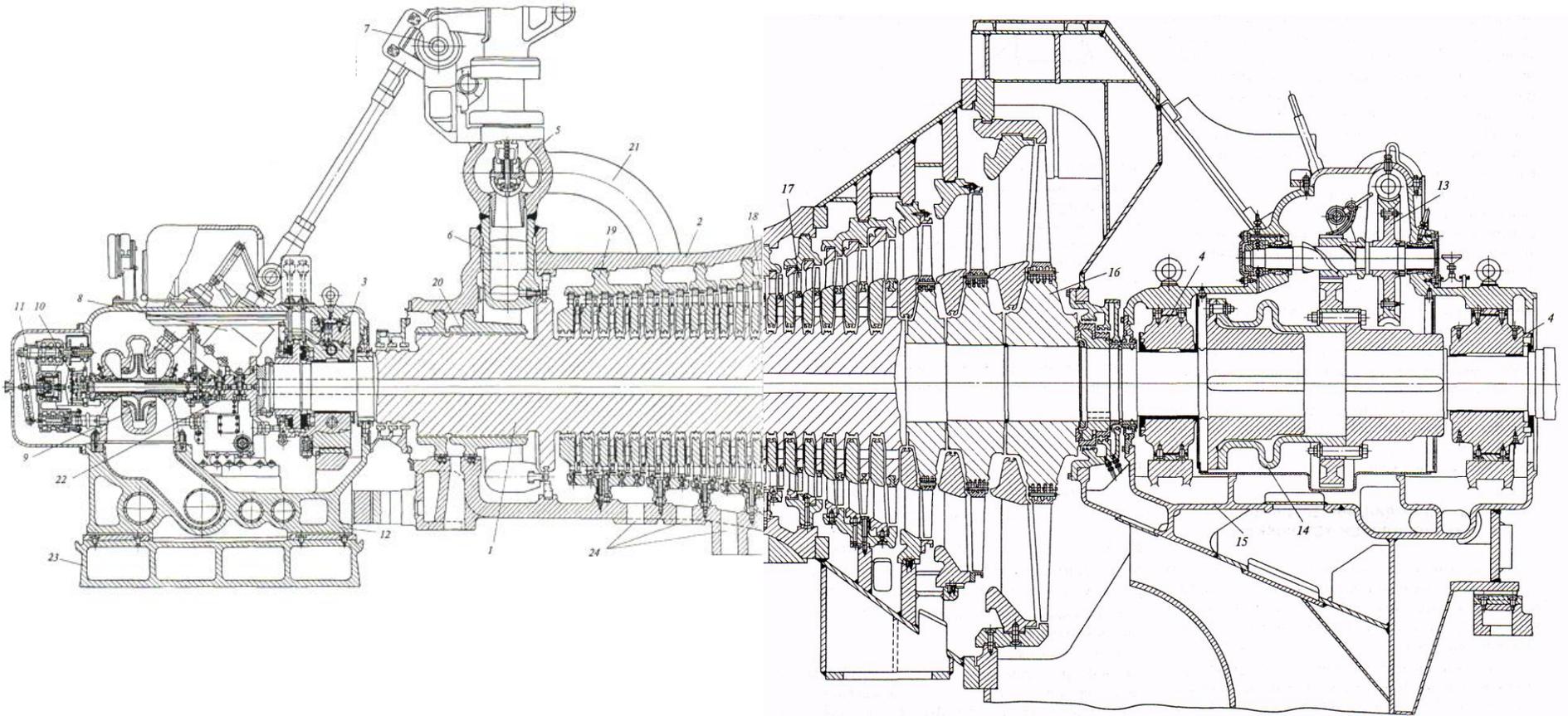


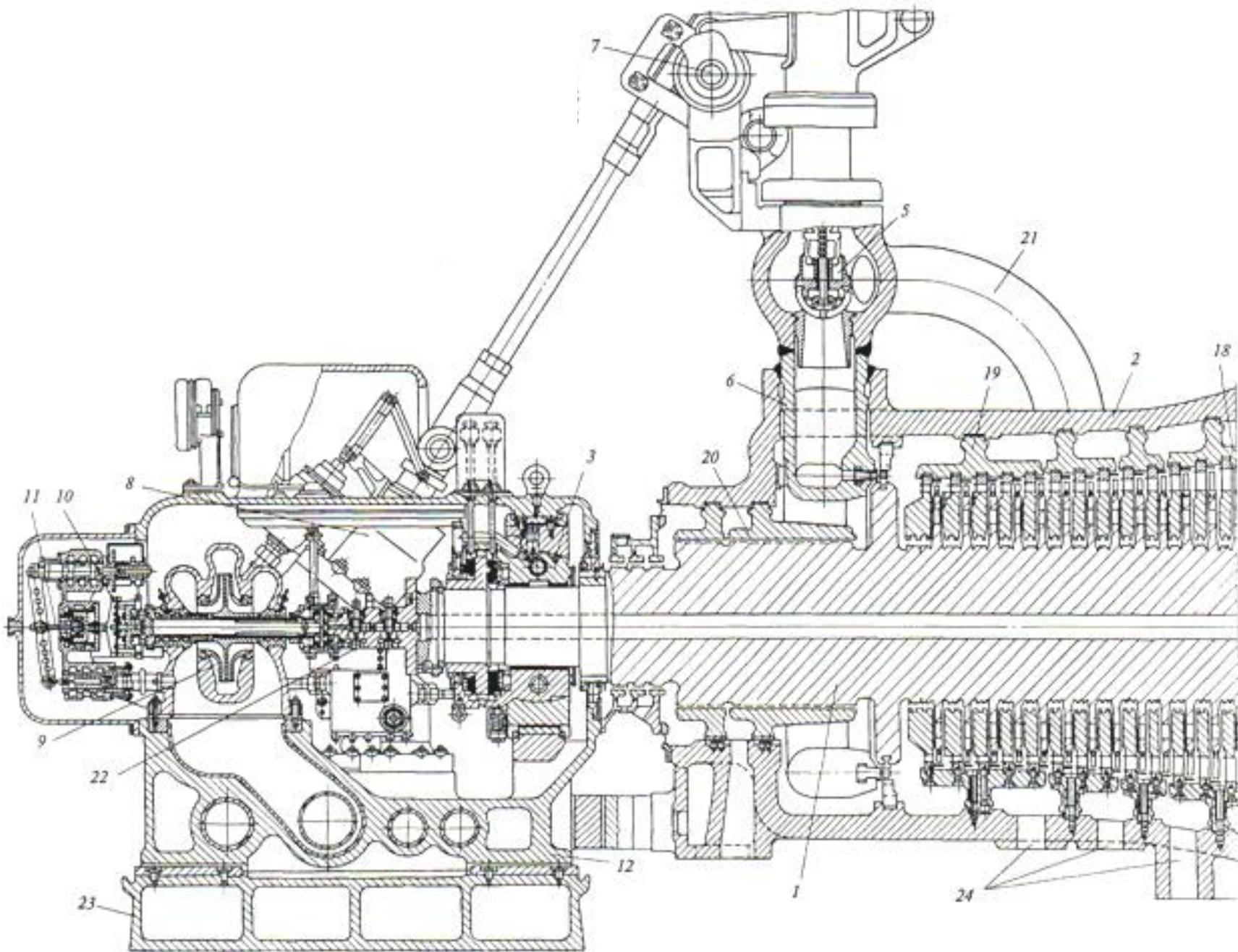
Type K-225-12,8 Steam Turbine

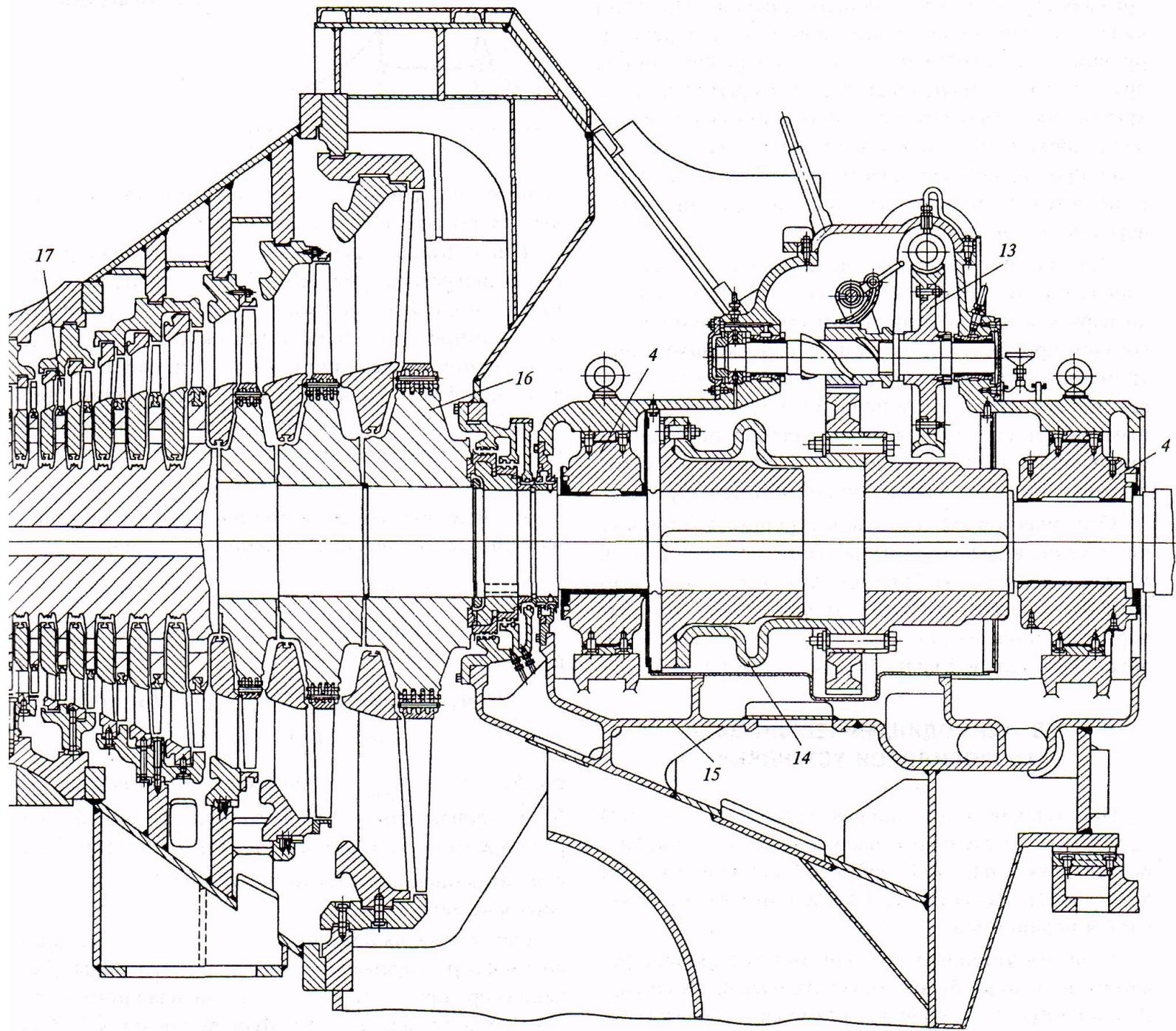


Паровая турбина К-1000-60/3000 для АЭС на сборочно испытательном стенде ЛМЗ









ПЕРЕМЕННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ СТУПЕНИ

Закон изменения расходов пара при переменном режиме работы группы ступеней (отсека) был установлен на основании опытов А. Стодолы, а теоретически обоснован Г. Флюгелем.

$$\frac{G}{G_0} = \sqrt{\frac{p_{01}^2 - p_{z1}^2}{p_{00}^2 - p_{z0}^2}} \sqrt{\frac{T_{00}}{T_{01}}}$$

G_0 - расход пара в расчетном (базовом) режиме

G - расход пара в новом режиме

p_{01} - давление пара перед отсеком в новом режиме

p_{z1} - давление пара за отсеком в новом режиме

p_{00} - давление пара перед отсеком в расчетном (базовом) режиме

p_{z0} - давление пара за отсеком в расчетном (базовом) режиме

T_{00} - температура пара перед отсеком в расчетном (базовом) режиме

T_{01} - температура пара за отсеком в расчетном (базовом) режиме

ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТУРБИН

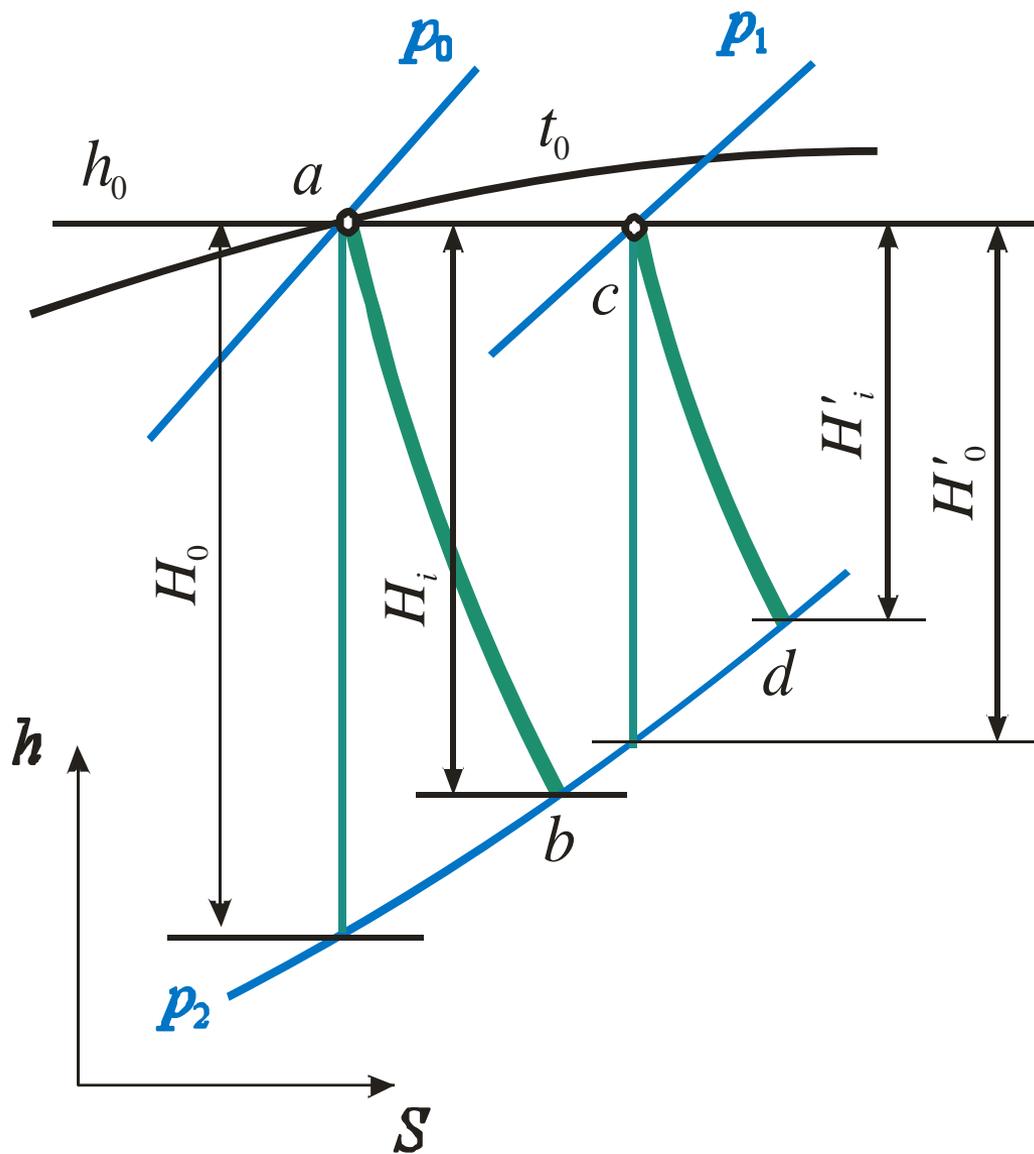
В паровых турбинах применяют три способа парораспределения:

Дроссельное

Сопловое

Обводное - с наружным или внутренним обводом.

ДРОССЕЛЬНОЕ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ



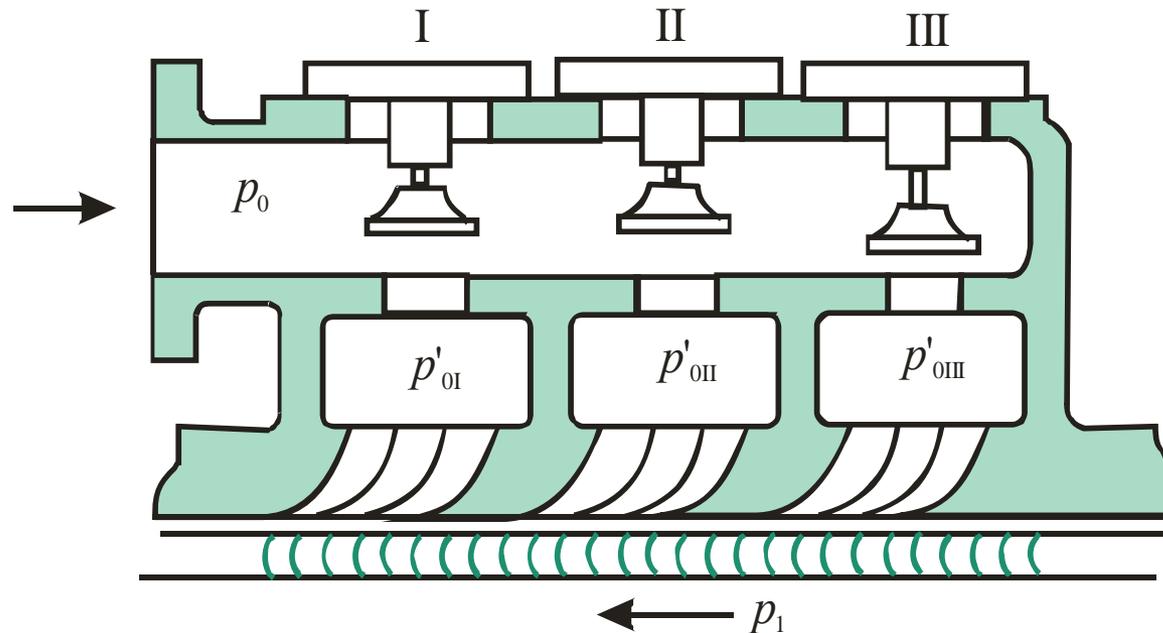
При дроссельном парораспределении все количество пара, подводимого к турбине, регулируется одним или несколькими одновременно открываемыми клапанами, после которых пар поступает в общую для всех клапанов сопловую группу.

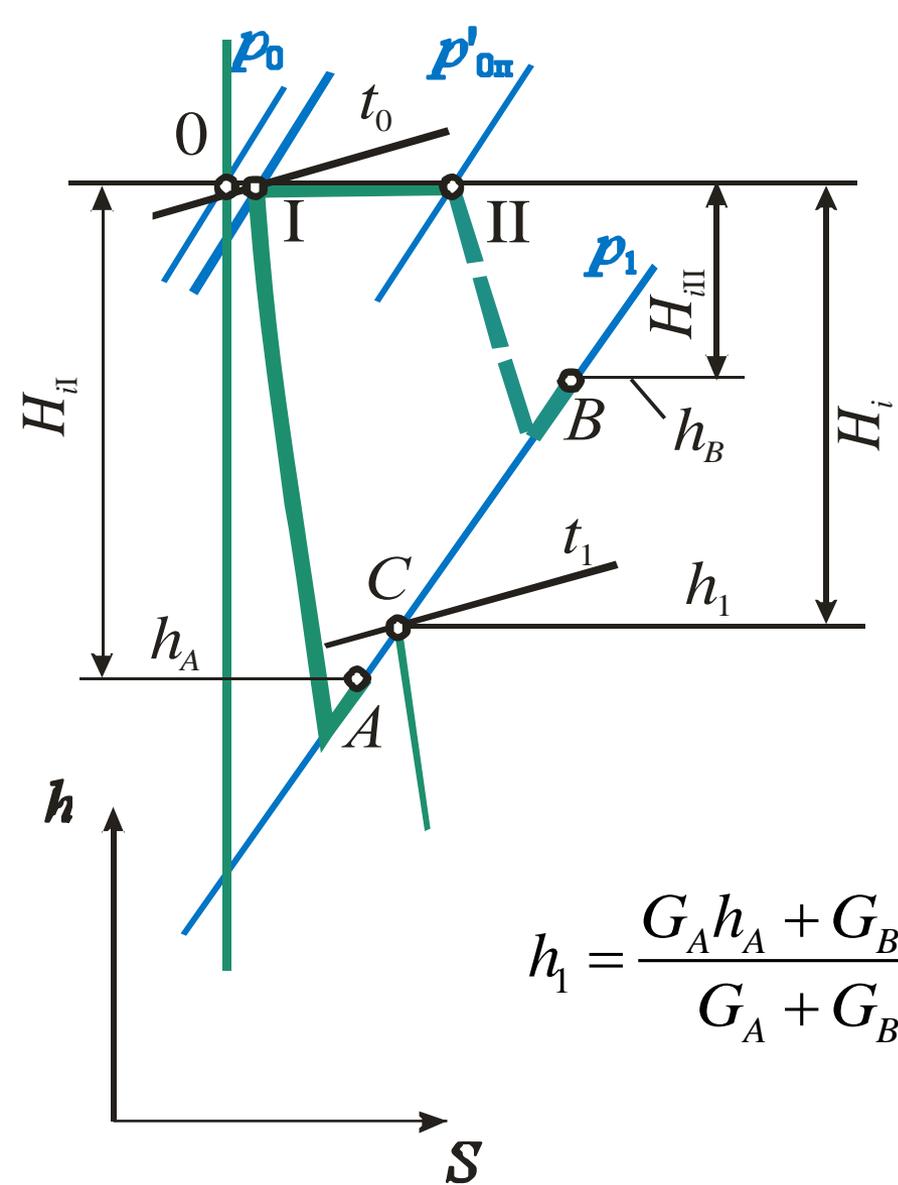
При дроссельном парораспределении энтальпия пара перед сопловой решеткой первой ступени при изменении расхода пара через турбину сохраняется постоянной и равной энтальпии свежего пара

СОПЛОВОЕ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ

При сопловом парораспределении пар протекает через несколько регулирующих клапанов, каждый из которых подводит пар к своему отдельному сопловому сегменту, причем открытие клапанов производится

последовательно.





$$h_1 = \frac{G_A h_A + G_B h_B}{G_A + G_B} = \frac{G_A (h_0 - H_{ii})_A + G_B (h_0 - H_{ii})_B}{G}$$

Благодаря этому потери от дросселирования при сниженной нагрузке распространяются не на все количество пара, как при дроссельном парораспределении, а только на ту его часть, которая протекает через не полностью открытый клапан.

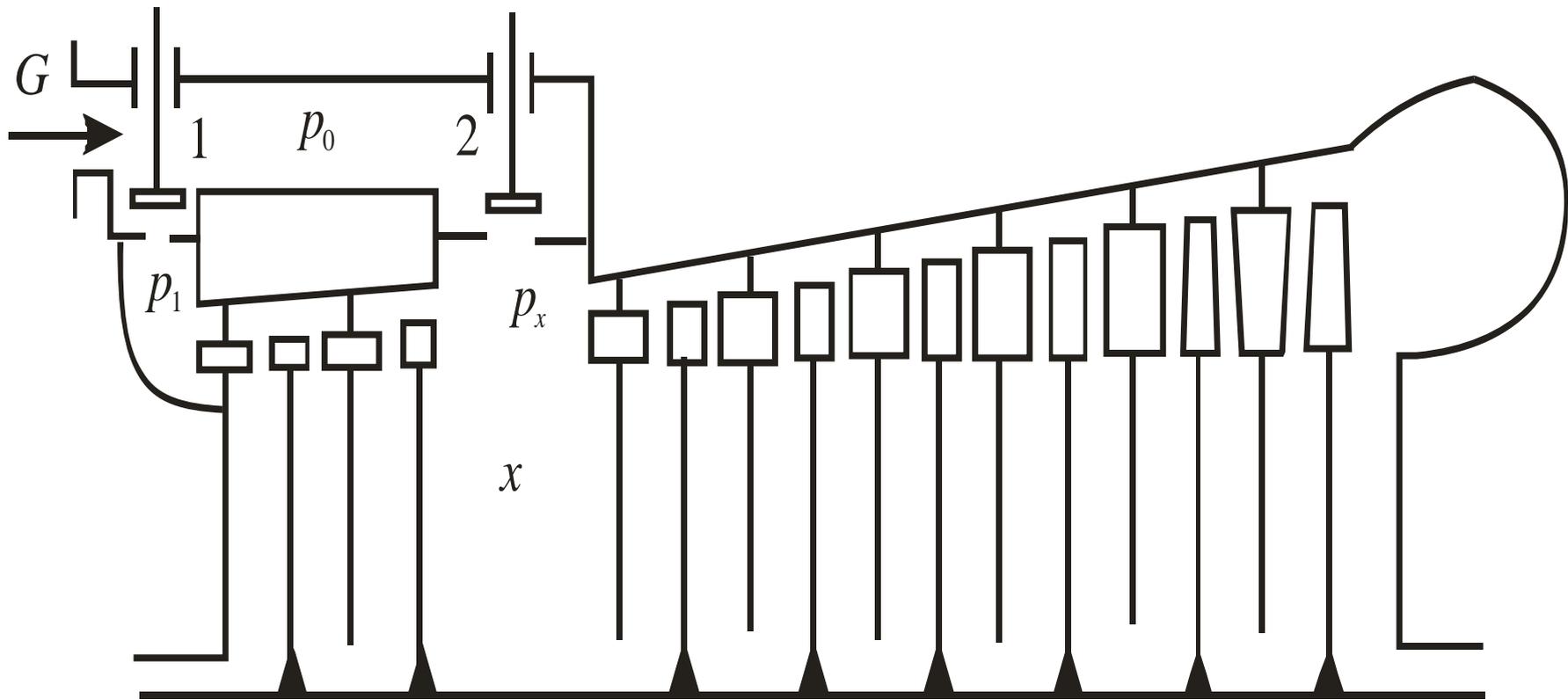
При полном же открытии всех или нескольких (одного, двух и т.д.) регулирующих клапанов и закрытых остальных клапанах потери от дросселирования вообще отсутствуют.

Поэтому экономичность турбины с сопловым парораспределением при изменении нагрузки сохраняется более устойчиво, чем экономичность турбины с дроссельным парораспределением.

Особенно большое преимущество имеет сопловое парораспределение для турбин с противодавлением.

ОБВОДНОЕ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ

При обводном наружном парораспределении после полного открытия регулирующих клапанов, подводящих пар к сопловой решетке первой ступени, дальнейшее увеличение расхода пара производится через обводный клапан к одной из промежуточных ступеней, в обход нескольких первых ступеней, включая регулируемую.



Обводное парораспределение чаще всего применяют вместе с дроссельным. Однако в ряде случаев оно сочетается и с сопловым парораспределением, в частности, для обеспечения перегрузки турбины сверх экономической мощности

Чем отдаленнее от первой ступени производится впуск обводного пара, тем больше снижение экономичности от дросселирования пара, но тем большая может быть достигнута добавочная (перегрузочная) мощность

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Так как вырабатываемая электрическая энергия нигде в энергосистеме не аккумулируется, то ее производство в любой момент времени должно соответствовать потреблению.

Критерием этого соответствия является постоянство частоты сети - параметра, значение которого в установившемся режиме одинаково для любой точки энергосистемы.

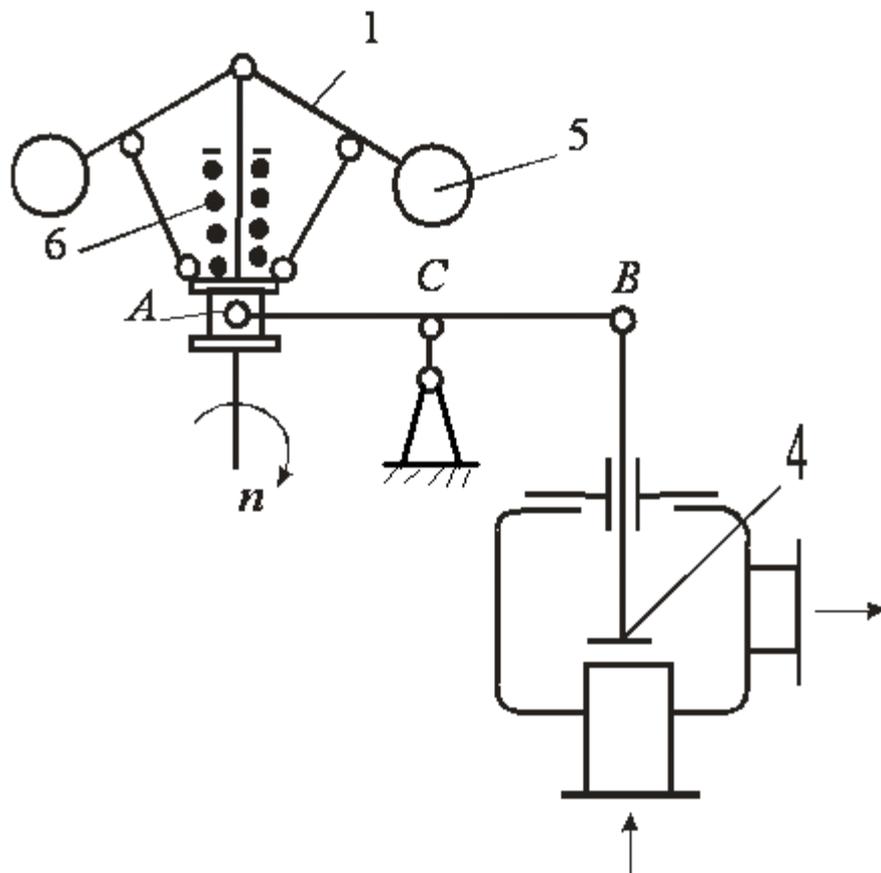
Номинальное значение частоты сети в России равно 50 Гц и должно поддерживаться с высокой точностью.

Требование постоянства частоты определяет одну из основных задач регулирования турбины: сохранение частоты вращения ротора турбогенератора, и следовательно, турбины постоянной и близкой к номинальной, несмотря на изменения нагрузки.

Если турбина предназначена для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии (так называемые теплофикационные турбины), то наряду с поддержанием постоянной частоты вращения ротора турбины ставятся дополнительные условия сохранения неизменными давлений в камерах регулируемых отборов или за турбиной при изменениях тепловой нагрузки.

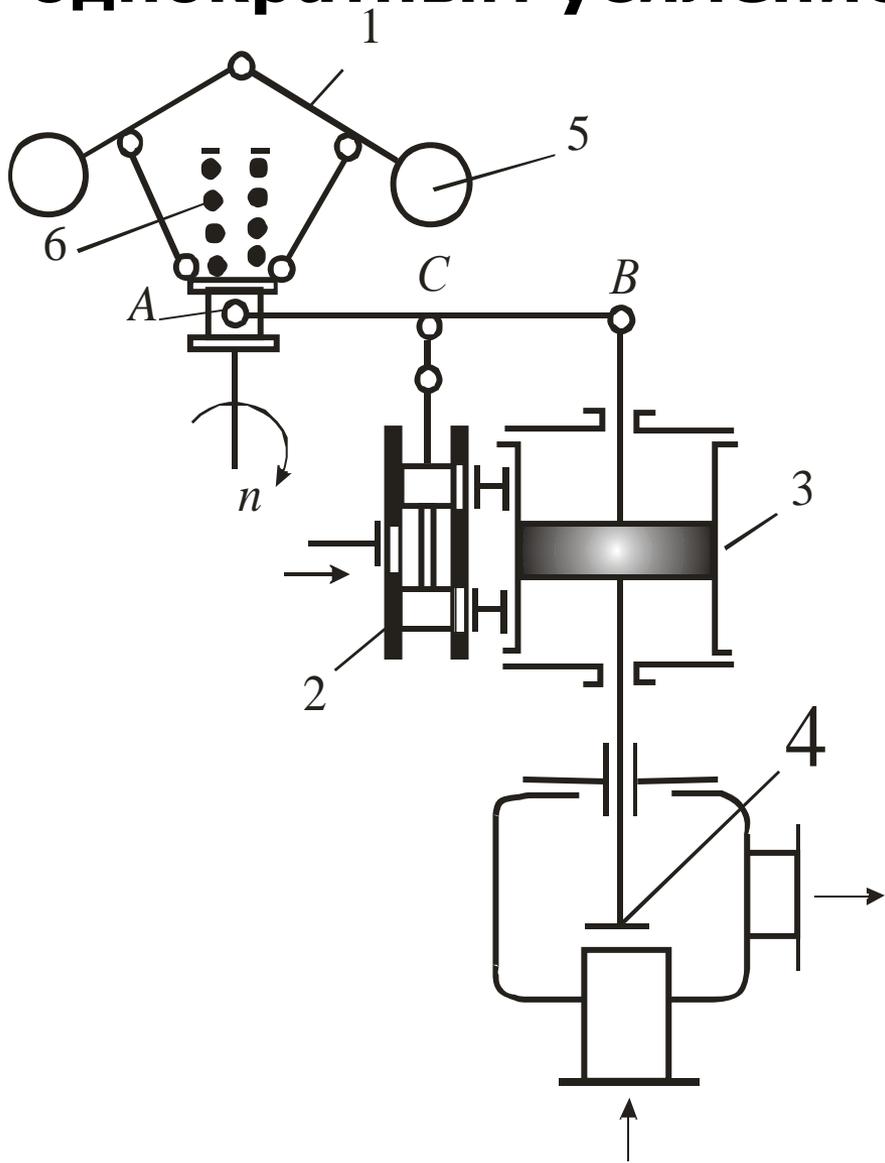
Для выполнения этих и ряда других задач, которые будут рассмотрены в дальнейшем, паровые турбины снабжаются *системами автоматического регулирования.*

Принципиальная схема регулирования частоты вращения конденсационной турбины



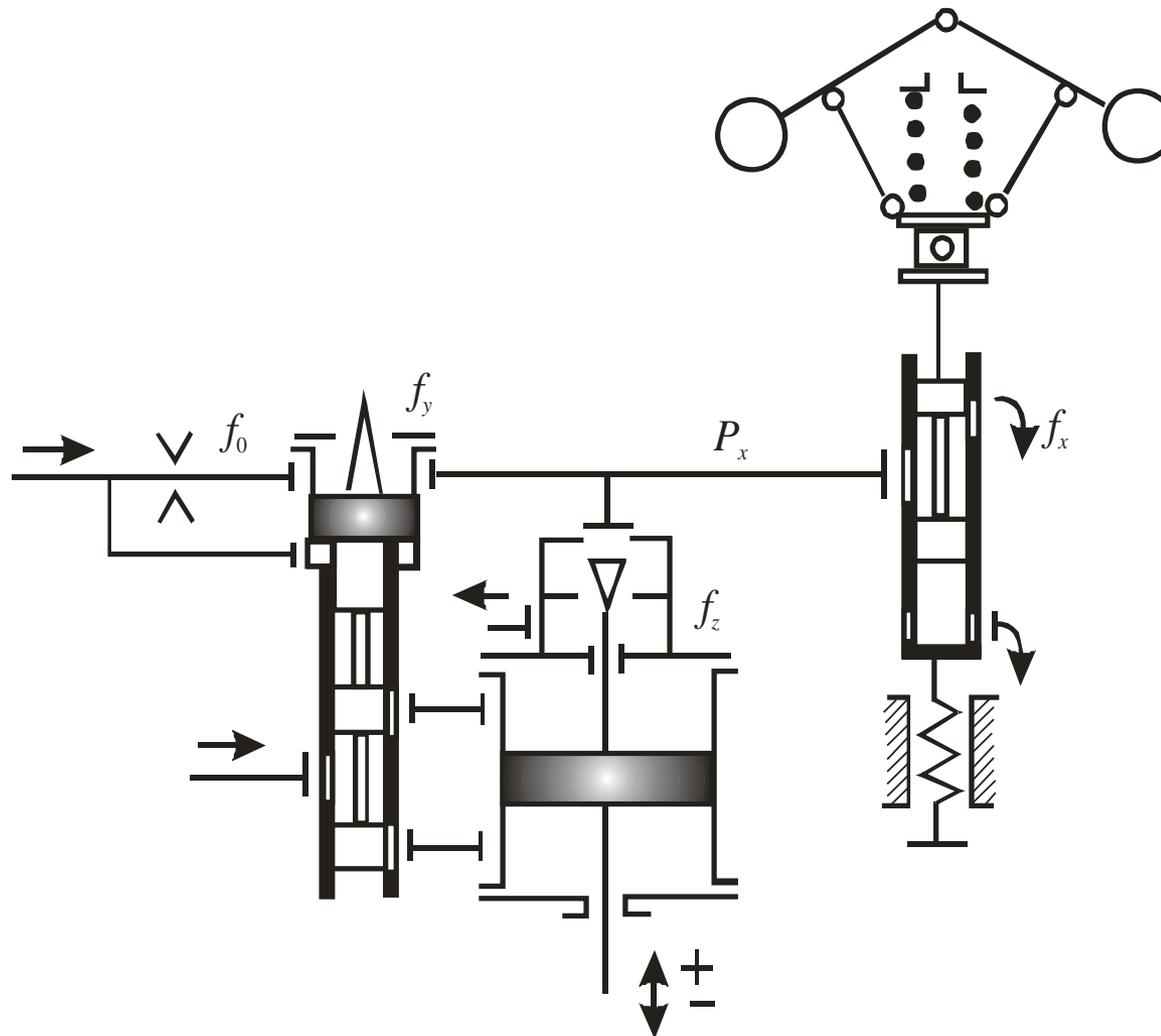
1 - регулятор частоты вращения; 4 - регулирующий клапан; 5 - грузы регулятора; 6 - пружина регулятора

Принципиальная схема регулирования частоты вращения конденсационной турбины с однократным усилением



- 1 - регулятор частоты вращения;
- 2 - отсечной золотник;
- 3 - сервомотор;
- 4 - регулирующий клапан;
- 5 - грузы регулятора;
- 6 - пружина регулятора

Принципиальная схема регулирования турбины с двумя звеньями усиления и гидравлическими связями



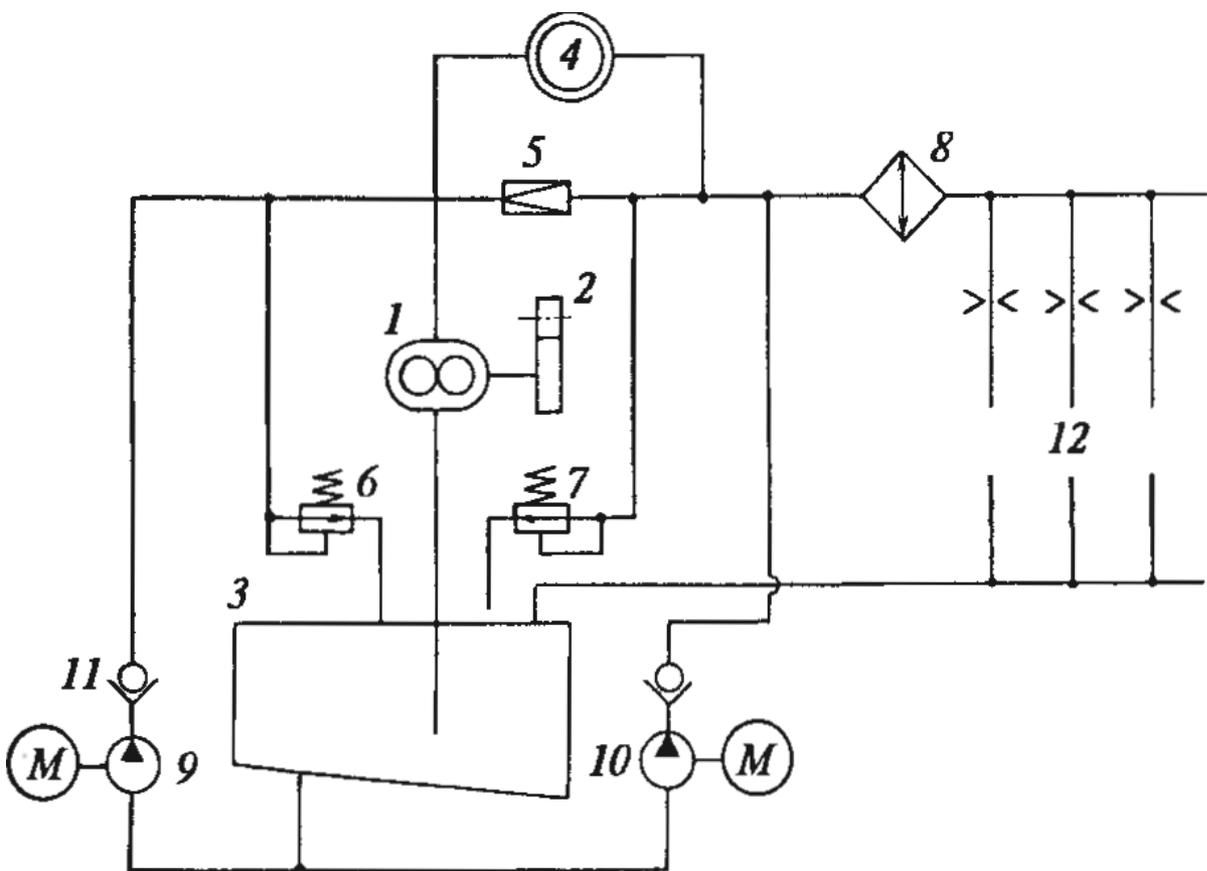
СИСТЕМА МАСЛОСНАБЖЕНИЯ

Минеральное масло как рабочая жидкость системы регулирования обладает ценными качествами:

- ❖ хорошей смазочной способностью, что облегчает достижение высокой чувствительности регулирования;
- ❖ оно не агрессивно и поэтому допускает применение обычных материалов;
- ❖ практически несжимаемо, чем определяется высокая скорость передачи сигналов по гидравлическим связям и др.

Система маслоснабжения в значительной мере определяет надежность работы турбины, так как даже кратковременное прекращение подачи масла к подшипникам может привести к выплавлению их баббитовой заливки и тяжелому повреждению турбины, а оставить без масла систему регулирования - значит потерять управление турбиной.

Принципиальная схема маслоснабжения турбины с главным масляным насосом объемного типа



- 1 - главный масляный насос;
- 2 - редукторная передача;
- 3 - масляный бак;
- 4 - система регулирования;
- 5 - редукционный клапан;
- 6 - предохранительный клапан;
- 7 - маслосбрасывающий клапан;
- 8 - маслоохладитель;
- 9 - пусковой масляный насос высокого давления;
- 10 - аварийный масляный насос низкого давления;
- 11 - обратный клапан;
- 12 - масло к подшипникам

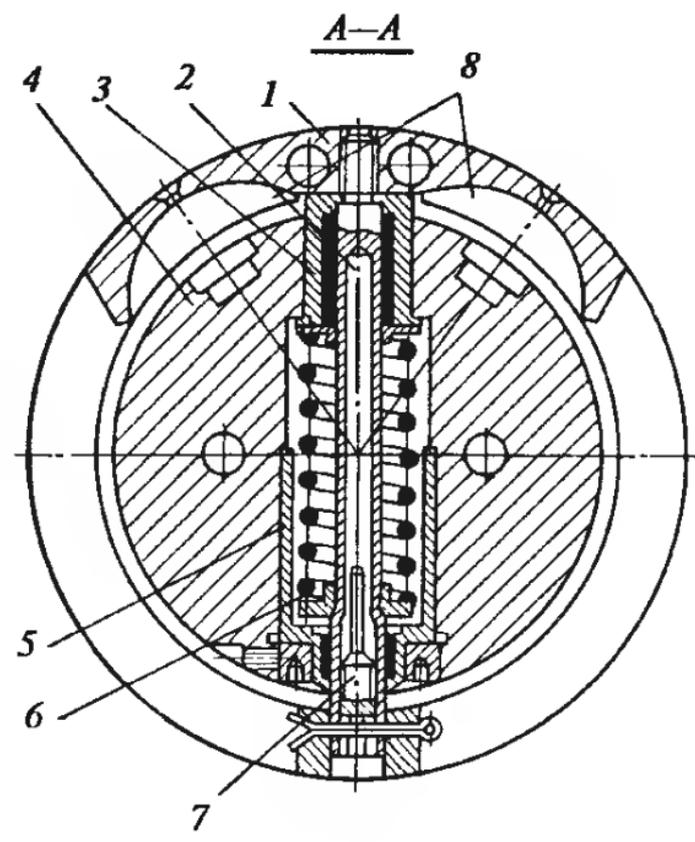
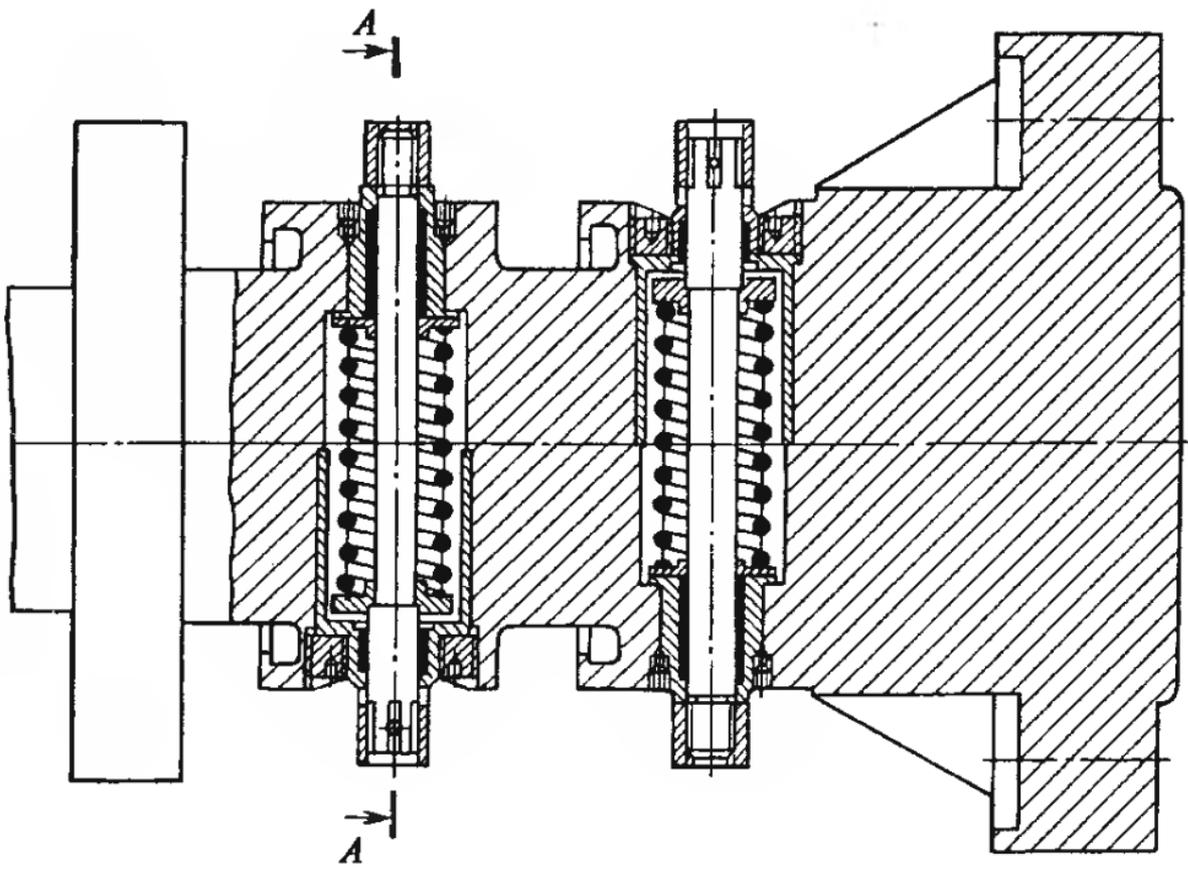
ЗАЩИТЫ ТУРБИНЫ

Схемы защит при их срабатывании должны обеспечить, как правило, одностороннее воздействие на оборудование, в результате чего не восстанавливается его исходное состояние после устранения причин, вызвавших срабатывание защиты. Этим предотвращается возможное повторение аварийной ситуации, так как причина, вызвавшая срабатывание защиты, может исчезнуть с отключением оборудования. Ввод оборудования в работу после действия защиты осуществляется оперативным персоналом или под его контролем.

Защита по повышению частоты вращения

Из всех защит турбины самой ответственной является защита от разгона (от недопустимого повышения частоты вращения). Это связано с тем, что разрушение турбины центробежными силами является одной из тяжелейших аварий на электростанции, влекущей за собой полный выход из строя оборудования, серьезные повреждения здания и другие тяжелые последствия.

Импульсным органом системы защиты от разгона является *автомат безопасности*, бойки которого настраиваются на срабатывание при повышении частоты вращения на 11-12 % сверх номинального значения, т.е. при $n = 3330 \dots 3360$ об/мин.



Защита по осевому сдвигу

Возрастание осевого усилия до уровня, превышающего несущую способность упорного подшипника, приводит к выплавлению баббитовой заливки на колодках подшипника, сопровождающемуся осевым сдвигом ротора. При достижении им заданной установки *реле осевого сдвига* (РОС) немедленно отключает турбину, чтобы не допустить тяжелого повреждения ее проточной части.

Защита по давлению в системе смазки

При падении давления в системе смазки до первого предела подается предупредительный сигнал, автоматически включаются резервный масляный насос переменного тока и аварийный масляный насос постоянного тока. Если это не приводит к восстановлению давления и оно продолжает падать, то при достижении второго предела защита отключает турбину. Масло в подшипники при выбеге ротора подается из аварийных бачков, размещенных на крышках подшипников. Во избежание ложных отключений турбины при кратковременных провалах давления, например при переходе с рабочего на резервный насос смазки, сигнал на отключение турбины подается с выдержкой времени.

Защита по вакууму в конденсаторе

Тяжелым нарушением режима работы является глубокое падение вакуума в конденсаторе, сопровождающееся повышением температуры выходных патрубков ЦНД и в паровом пространстве конденсатора.

При этом нарушается центровка, растет вибрация, возможно задевание в проточной части из-за относительного укорочения ротора, резко возрастают динамические напряжения в рабочих лопатках последней ступени, не исключено нарушение вальцовки трубок в трубных досках конденсатора.

При повышении абсолютного давления в конденсаторе до первого предела подается предупредительный сигнал, при достижении второго предела защита отключает турбину.

Защита турбины по температуре свежего пара

Резкое снижение температуры свежего пара приводит к высоким температурным напряжениям в деталях паровпуска, роторе и лопаточном аппарате, угрожает забросом влажного пара и даже воды в турбину. Поэтому при падении температуры до второго предела турбина отключается. Защита выводится из работы при пуске турбины на скользящих параметрах и при контролируемом расхолаживании, когда турбина выводится в ремонт.

Защита по уровню воды в ПВД

Среди причин, по которым может повыситься уровень воды в ПВД, наиболее вероятной и опасной является повреждение его трубной системы. Поступающая в паровое пространство подогревателя питательная вода быстро заполнит его полностью. Если обратный клапан на линии подвода пара к подогревателю не закроется, вода попадет в турбину, а если закроется - давление в корпусе подогревателя станет близким к давлению питательных насосов, которое значительно превышает расчетное для ПВД.

При повышении уровня воды в любом из ПВД до первого предела выдается предупредительный сигнал. Если уровень воды достигнет второго предела, защита отключает всю группу ПВД по питательной воде и по пару, переводит питание котла на байпас ПВД. Если подъем уровня и после этого не прекращается и он доходит до третьего предела, отключаются питательные насосы и энергоблок выводится из работы.