



Доне Ташевски

**ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА
ЕНЕРГЕТСКИ ПОСТРОЈКИ И СИСТЕМИ**

Доне Ташевски

**ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА
ЕНЕРГЕТСКИ ПОСТРОЈКИ И СИСТЕМИ**

Скопје, 2014

Д-р Доне Ташевски

Вонреден професор

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје

Машински факултет – Скопје

ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ЕНЕРГЕТСКИ ПОСТРОЈКИ И СИСТЕМИ

Универзитетски учебник

Одлука за издавање на учебник бр. 02-861/7 од 25.08.2011 год.,

Машински факултет - Скопје

Рецензенти:

Проф. д-р Славе Арменски, Машински факултет - Скопје

В. проф. д-р Ристо Филкоски, Машински факултет – Скопје

Одлука за определување рецензенти на МФС бр. 02-861/2 од 01.04.2011 год.,

Објавено во билтен на УКИМ бр. 1010 од 15.06.2011 год.

Дизајн на корицата: Димитар Лиасовски

ПРЕДГОВОР

Книгата „Одржување и експлоатација на енергетски постројки и системи“ е наменета за студентите на Машинскиот факултет во Скопје на насоките: Енергетика и екологија и Применето термичко инженерство на кои оваа област од техниката им е посебна специјалност, но може да им послужи како основа и на студентите од насоката Термичко инженерство, како и на инженерите во практиката од областа на термоенергетиката.

Материјалот опфатен во оваа книга, во целост ги покрива содржините предвидени со наставните програми за дисциплините „Експлоатација и одржување на енергетски системи“ и „Одржување и експлоатација на енергетски постројки и системи“ усвоени од Наставно-научниот совет на Машинскиот факултет - Скопје.

Материјалот во книгата е изработен како резултат на повеќе-годишно изведување на настава и аудиториски вежби по предметите „Експлоатација и одржување на енергетски системи“ и „Одржување и експлоатација на енергетски постројки и системи“, а е обработен во четири поглавја:

- 1. Управување со одржувањето*
- 2. Одржување и експлоатација на термоенергетски постројки*
- 3. Одржување и експлоатација на хидротурбински постројки*
- 4. Одржување и експлоатација на нуклеарни постројки*

Посебна благодарност за несебичната помош околу конципирањето во текот на изработката на книгата му изразувам на проф. д-р Славе Арменски и проф. д-р Константин Димитров (професор во пензија).

Авторот се надева дека ваквото концепциско изложување ќе му овозможи на читателот полесно и побрзо совладување на предметната материја, а во исто време на сите оние кои по издавањето на книгата ќе му ги достават своите забелешки, однапред им се заблагодарува.

од авторот

СОДРЖИНА

1. УПРАВУВАЊЕ СО ОДРЖУВАЊЕТО	1
1.1. Трошоци на одржувањето	2
1.2. Цели на одржувањето	3
1.3. Политика на одржувањето	4
1.4. Стратегија на одржувањето	5
1.5. Пошироки аспекти на одржувањето (теротехнологија)	5
1.6. Насоки за раководење на одржувањето	7
1.7. Организација на работата во термоенергетските постројки	8
2. ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИ ПОСТРОЈКИ	11
2.1. ОСНОВИ НА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИТЕ ПОСТРОЈКИ	12
2.1.1. Основни поими за термоенергетските постројки	12
2.1.2. Поделба на термоцентралите	16
2.1.3. Технолошки и топлински шеми на ТЕП	17
2.1.3.1. Технолошка шема на котелска постројка	17
2.1.3.2. Технолошка шема на термоцентрала	19
2.1.3.3. Топлински шеми на термоцентрали	21
2.1.3.3.1. Топлинска шема на парнотурбинска постројка	22
2.1.3.3.2. Топлинска шема на топлификациона ПТП	24
2.1.3.3.3. Топлинска шема на гаснотурбинска постројка	26
2.1.3.3.4. Топлинска шема на нуклеарна постројка	30
2.2. КОТЕЛСКИ ПОСТРОЈКИ	35
2.2.1. Видови котелски постројки	35
2.2.2. Основни елементи на котелската постројка	36
2.2.3. Техничка експлоатација на котелските постројки	38
2.2.3.1. Хемиско чистење на котелот	38
2.2.3.2. Визуелен преглед на котелската постројка	39
2.2.3.3. Полнење на котелот со вода и негова припрема за водна проба на ладно	40
2.2.4. Пуштање на котелските постројки во погон	41
2.2.4.1. Припрема на помошните уреди на котелот за пуштање во погон	41
2.2.4.2. Пуштање на котелската постројка во погон (работа)	42
2.2.4.2.1. Пуштање во погон на котли со цилиндер	43
2.2.4.2.2. Пуштање во погон на проточни котли	45
2.2.5. Експлоатација на котелските постројки	49

2.2.6.	Запирање на работата на котелската постројка и конзервирање	58
2.2.7.	Ремонт на котелската постројка	62
2.2.7.1.	Тековен ремонт	63
2.2.7.2.	Капитален ремонт	65
2.2.8.	Техничка заштита при експлоатација и ремонт на котелските постројки	67
2.2.9.	Технички прописи за изработка и употреба на парни котли, прегревачи за пара и загревачи на вода	69
2.3.	ТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ	85
2.3.1.	Поделба на турбинските постројки	85
2.3.2.	Основни елементи и принцип на работа на топлинските турбини	87
2.3.3.	Основни елементи на парнотурбинската постројка	89
2.3.4.	Припрема на парнотурбинската постројка за пуштање во погон	92
2.3.5.	Пуштање во погон на турбинската постројка	95
2.3.6.	Експлоатација на турбинската постројка при континуирано оптоварување	103
2.3.7.	Запирање на турбинската постројка	106
2.3.7.1.	Нормално запирање на турбината	106
2.3.7.2.	Хавариско запирање на турбината	108
2.3.8.	Заштита и конзервирање, при стоење на турбината	110
2.3.9.	Контрола на турбинската постројка	111
2.3.10	Ремонт на турбинската постројка	115
2.3.11	Контрола и одржување на ситемот за масло	124
2.4.	ОДРЖУВАЊЕ И КОНТРОЛА НА КОНДЕНЗАТОРСКА ПОСТРОЈКА	129
2.5.	ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ДЕГАЗАТОРСКА ПОСТРОЈКА	133
2.6	ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ЦЕВОВОДИТЕ ЗА ПАРА И ВОДА	137
2.6.1.	Контрола и заштита на цевоводите пред пуштање во работа	137
2.6.2.	Контрола и заштита на цевоводите за време на експлоатација	147
2.6.3.	Ремонт на цевоводите и арматурата	149
2.7.	ПРОПИСИ ЗА ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИ ПОСТРОЈКИ	151
2.7.1.	Закон за техничките мерки за заштита	151

2.7.2.	Прописи за техничките мерки за погон и одржување на термоенергетски постројки	152
2.7.2.1.	Општи одредби	152
2.7.2.2.	Термоцентрали	155
2.7.2.2.1.	Довод и припрема на горивото	155
2.7.2.2.2.	Котелска постројка	156
2.7.2.2.3.	Цевоводи и соодветна арматура	157
2.7.2.2.4.	Уред за отстранување на пепелот и згурата	159
2.7.2.2.5.	Парни турбини со помошни уреди	159
2.7.2.2.6.	Уреди за ладење	161
2.7.2.2.7.	Припрема на водата	161
2.7.2.2.8.	Контрола и регулација на топлинскиот процес	162

3. ОРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ 163

3.1.	ОСНОВНА ПОДЕЛБА И КАРАКТЕРИСТИКИ НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ	164
3.2.	ПУШТАЊЕ ВО ПОГОН НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ	169
3.2.1.	Услови кои треба да се исполнети при стартување на хидроагрегатот	169
3.2.2.	Пуштање во погон на хидротурбините после ремонт	169
3.2.3.	Прекин на пуштање во погон (стартување) на хидроагрегатот	172
3.3.	ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ	176
3.3.1.	Оптимална експлоатација на хидротурбинските постројки	176
3.3.2.	Организација на ефективна и надежна експлоатација	178
3.3.3.	Обезбедување работа со оптимален КПД на ХЕЦ	180
3.3.4.	Оптимална работа при променливо оптоварување на турбината	182
3.3.5.	Заштита од кавитација	184
3.3.6.	Експлоатациони карактеристики	186
3.3.7.	Автоматизација на хидротурбините	188
3.3.8.	Заштита и сигнализација	191
3.4.	ПРОМЕНИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ	194
3.4.1.	Причина за работа со потполно отворени вентили на влезните цевоводи	196
3.4.2.	Преод од генераторски режим на работа во режим на синхрон компензатор	196

3.4.3.	Работа со рачно управување на хидроагрегатите	199
3.4.4.	Услови кои мора да ги исполни системот за регулација на хидротурбините	200
3.5.	ЗАПИРАЊЕ НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ	203
3.5.1.	Причини за брзо запирање на хидроагрегатот	203
3.5.2.	Причини за растоварување на хидроагрегатот	206
3.6.	ОДРЖУВАЊЕ И РЕМОНТ НА ХИДРОТУРБНСКИ ПОСТРОЈКИ	209
3.6.1.	Контрола при експлоатација	209
3.6.2.	Вибрации кај хидроагрегатите	211
3.6.3.	Поправки при стоење на хидроагрегатите	214
3.6.4.	Барањата од системот за масло на хидроагрегатите	215
3.6.5.	Притисок во напојниот цевковод	218
3.6.6.	Услови кои треба да ги исполнат лежиштата на хидротурбините	220
3.6.7.	Одржување на цевководите за довод вода кон турбините	223
3.6.8.	Потреба од одржување на притисок во компресорската станица	223
3.6.9.	Капитален ремонт на хидротурбина	225

4. ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА НУКЛЕАРНИ ПОСТРОЈКИ 227

4.1.	ВИДОВИ И СПОРЕДБА НА НУКЛЕАРНИТЕ РЕАКТОРИ	227
4.1.1.	Реактори со гасно средство за ладење	231
4.1.1.1.	“Магнокс” реактори (MGR)	232
4.1.1.2.	Подобрени реактори (AGR)	232
4.1.1.3.	Реактори со хелиум како разладник (HTGR)	232
4.1.2.	Реактори со вода како средство за ладење	233
4.1.2.1.	Реактори со вода под притисок како средство за ладење (PWR)	233
4.1.2.2.	Реактори со вриење на средството за ладење (BWR)	234
4.1.3.	Брзи репродуцирачки реактори со разладник од течен метал (LMFBR)	234
4.1.4.	CANDU реактор (Canadian Deuterium Uranium)	236
4.1.4.1.	CANDU реактор со разладник од тешка вода под притисок (PHWR)	237
4.1.4.2.	CANDU реактор со средство за ладење - обична вода со дозволено вриење (BLWR)	237
4.1.4.3.	CANDU реактор со органски разладник (OCR)	238
4.1.4.4.	Споредба помеѓу CANDU и другите типови реактори	238

4.1.5.	Нуклеарна парнотурбинска постројка со CANDU PHW реактор	239
4.1.5.1.	Конструкција на реакторот	242
4.1.5.2.	Конструкција на генераторите на пара	249
4.2.	ЕКСПЛОАТАЦИОНИ ОСОБИНИ НА ХУКЛЕАРНИТЕ ПОСТРОЈКИ	251
4.3.	КОНТРОЛА И ПРВО ПУШТАЊЕ НА РЕАКТОРОТ ВО ПОГОН	253
4.3.1.	Постапка на монтажни и функционални контроли	253
4.3.2.	Физичко пуштање на нуклеарниот реактор во погон	254
4.3.3.	Енергетско пуштање во погон на нуклеарната централа	255
4.4.	ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА НУКЛЕАРНИТЕ ПОСТРОЈКИ ПРИ ПОСТОЈАНО И ПРОМЕНЛИВО ОПТОВАРУВАЊЕ	257
4.4.1.	Опслужување и одржување на уредите и системите	257
4.4.2.	Промена на горивото во нуклеарниот реактор	259
4.4.3.	Дозиметрија во нуклеарните центри	264
4.4.4.	Еластичност при експлоатација на нуклеарните постројки	267
4.4.5.	Сигурност при експлоатација на нуклеарните центри	268
4.5.	ПУШТАЊЕ ВО ПОГОН И ОПТОВАРУВАЊЕ НА НУКЛЕАРНИТЕ ПОСТРОЈКИ	270
4.5.1.	Постигнување на погонските параметри	270
4.5.2.	Резервни извори на енергија	271
4.5.3.	Запирање и повторно оптоварување на НП	272
4.5.4.	Подладување на реакторот	273
4.5.5.	Систем за регулација на реакторот	274
4.6.	СИГУРНОСНИ СИСТЕМИ КАЈ РЕАКТОРИТЕ	277
4.6.1.	Сигурносен систем за запирање на реакторот	277
4.6.2.	Сигурносен систем за ладење на реакторското јадро	279
4.6.3.	Сигурносен систем за заштита на околината од радиоактивност на реакторот	280
4.7.	ОДРЖУВАЊЕ НА ПОСТРОЈКИТЕ КАЈ НУКЛЕАРНИТЕ ЦЕНТРАЛИ	282
4.7.1.	Претпоставени дефекти и начини на нивно елеминирање при проектирањето	282
4.7.2.	Активност и контаминација	283
4.7.3.	Деконтаминација и одржување на постројките од примарниот круг	284

4.8.	ВЛИЈАНИЕ НА ОКОЛИНАТА ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА НУКЛЕАРНИТЕ ЦЕНТРАЛИ	286
4.8.1.	Исфрлање на радиоактивен отпад во околината	287
4.8.2.	Складирање на радиоактивен отпад	289
4.8.3.	Фактори на безбедност при изградба на нуклеарните централи	295
	КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА	297

1

УПРАВУВАЊЕ СО ОДРЖУВАЊЕТО

Во својата суштина одржувањето, не само на енергетските постројки, е истовремено и едноставно, а и исклучително комплексно. Не е можно да се даде еден универзален одговор во вид на еден „систем“. И покрај тоа што во индустријата егзистираат голем број на области со основните стандардни проблеми на одржувањето - разликите се состојат во тоа што секоја ситуација во индустријата содржи единствена комбинација и тежина (сложеност) на тие проблеми.

1. УПАРВУВАЊЕ СО ОДРЖУВАЊЕТО

1.1. Трошоци на одржувањето

Трошоците при одржувањето на постројките може да се поделат во две основни групи. Првата група се директни, вистински трошоци за техничко одржување. Втората група на трошоци се таканаречени посредни (индиректни) трошоци за техничко одржување. Тоа е всушност загуба на производство како последица на извршувањето т.е. неизвршувањето на работите за одржување.

На пример во Англија, работна група формирана од англиската влада, изработила извештај за трошоците за техничко одржување. Од тој извештај се гледа дека производната индустрија потрошила 1 100 милиони фунти за техничко одржување за една година. Проценето е дека посредните трошоци за таа година изнесуваат уште 11 000 милиони фунти годишно.

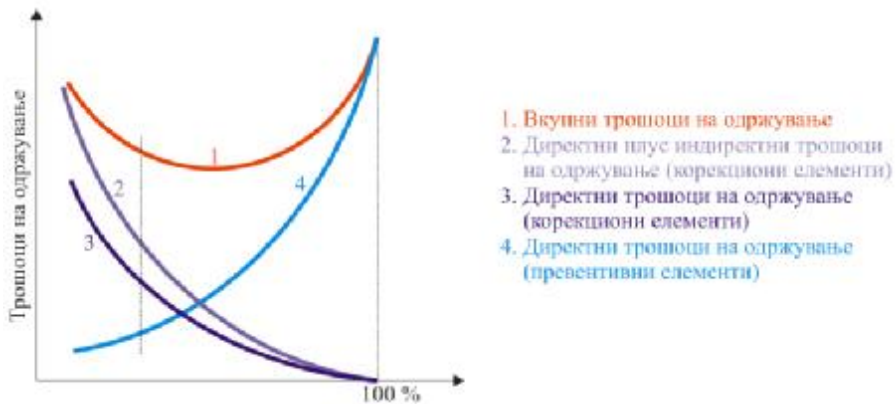
Со правилно раководење на одржувањето, може да се постигне поголема ефикасност, а и со тоа и заштеди и од 25% од вкупната годишна сума.

Во однос на чисто техничките аспекти од активната на одржувањето не се установени некои значителни недостатоци. Воглавно тешкотиите се во раководењето со одржувањето. Како прво раководителите недоволно се ангажираат во разгледувањето на проблематиката на одржувањето и при донесувањето на одлуките. Како второ, на луѓето кои се одговорни за одржувањето потребна им е дополнителна обука во техниката на раководењето.

За да се постигне едно ефикасно одржување потребно е да се даде правилен одговор на прашањето “колку тоа ќе чини и какви ќе бидат заштедите”. Не е оправдано да се пристапи единствено кон наголемување на продуктивноста, доколку тоа значи само концентрација на напор да се направи повеќе со иста работна сила. Одржувањето може да стане поефикасно по пат на свесен напор насочен на тоа да се смали обемот на работата (на различни начини, но сигурно и со вклучување на теротехнолошките принципи во областа на проектирањето на одржувањето и подобрувањето на подобноста за одржување). Потоа треба да се следи разгледувањето на подобри методи, а потоа, по можност да се пристапи и кон непосредно мерење на работата.

1.2. Цели на одржувањето

Секогаш е можно да се остварат поединечни “идеални” пристапи кон одржувањето, по пат на решавање на соодветни основни проблеми. Пред тоа е потребно да се има на ум што е тоа воопшто одржување и зошто тоа се остварува (извршува). Целите на одржувањето не се секогаш така јасни или универзални, како што понекогаш се тврди. Во одредени услови основен критериум може да биде тоа да во најголема мера се осигура функционирање на постројката.



Сл. 1.1. Урамнотеженост на директните и индиректните трошоци на одржување.

Во случај кога вкупните трошоци на одржувањето се определуваат во зависност од трошоците од интервенции со корекции на дефектите на постројката, расположивоста на постројката е минимална. Ако вкупните трошоци на одржувањето се определуваат во зависност од директните трошоци за превентивно одржување 1:4 расположивоста на постројката е максимална, но и трошоците за одржување се највисоки.

Многу често како цел на одржувањето се мисли на одржувањето на постројката (или фабриката) во погон, при што е можно пониски трошоци за одржување, а при тоа да се обезбеди сигурност на луѓето и опремата и да се продолжи корисниот век на траење (ова последното претставува општа цел на земјите во развој). Во различни ситуации и во различни земји наброените елементи се различно важни. Со една синтеза на досега изложеното, целите на одржувањето би можеле да се дефинираат како што следи:

Цел на одржувањето е одржување на постројката во состојба која обезбедува сигурен и економичен погон, при соодветни стандарди на функционирање (параметри, капацитет и др.) и за време кое е што е потребно за пороизводна употреба.

1.3. Политика на одржувањето

Кога целта е поставена, може да се избере и политика која нуди постигнување на поставените цели. Во 1972 год. на првиот Европски конгрес за одржување, одржан во Wiesbaden, професорот W. M. J. Geraerds кој на многу аналитички начин пристапил кон решавањето на овој проблем, смета дека може да се изврши избор помеѓу следните политики на одржување или нивните комбинации:

- *Политика “чекај и види”* - Таа исклучува секако превентивно дејство - одржување не се врши додека не настапи неисправност (дефект) на постројката.
- *Опортунистичка политика* - Тоа значи дека до појавувањето на неисправност не се врши никакво одржување. Од моментот кога дошло до расипување се врши превентивно и корекционо одржување.
- *Превентивна политика* - При оваа политика на одржување, дел од работите и постапките на одржување се извршуваат на исправна постројка, со цел да се спречи, или барем намали бројот на неисправностите во наредниот период. Ваква политика на одржување се базира врз разгледувањата на сигурноста (поузданоста) на постројката.
- *Политика на одржување врз база на предвидување* - Ова значи дека дел од одржувањата се извршуваат на исправна постројка со цел да се предвиди веројатноста на настанување на поедини неисправности.

Постои уште една политика на одржување, која што не е опфатена со дефиницијата на политиката врз основа на предвидување. Тоа е таканаречената „политика на условно одржување”, т.е. политика на одржување врз основа на „утврдена состојба”. Оваа политика на одржување се состои во тоа да одлуката за одржување се донесува единствено врз основа на резултатите од испитувањето на состојбата на постројката. Инженерите кои ја користат оваа политика денес, имаат на располагање повеќе помошни технолошки средства за поточно испитување. Такви средства се апаратите за анализа на вибрации, анализа на маслото, употреба на бороскопи и сл.

При раководењето со одржувањето многу се користи и терминот планирано одржување. Тоа претставува една комбинација од превентивно и корекционо одржување. Планираното одржување се организира и извршува според планот што се утврдува на основа на претходни разгледувања, контрола и користење на податоци.

1.4. Стратегија на одржувањето

Задача на стратегијата на одржувањето е да ја одбере и употреби онаа политика на одржување која одговара на конкретната ситуација. Денес е прифатено мислењето дека ниту една од расположивите политики на одржување земени поединечно, не можат да одговорат на сите барања. Во досегашниот период тежиштето беше ставено на превентивното одржување. Меѓутоа, доколку инженерот го разгледува проблемот на одржувањето од гледна точка на раководење, тој мора да води сметка за крајно економична усогласеност на превентивното и корекционото одржување, што во некои ситуации претставува посебен проблем.

1.5. Пошироки аспекти на одржувањето (теротехнологија)

Во изминатиот временски период одржувањето се сметало како проблем кој се однесува на постројката после нејзиното пуштање во погон. Но, економскиот обем на активноста на одржувањето во голема мерка зависи и од решенијата што се донесени за време на проектирањето на постројката. Според тоа, првиот теротехнолошки чекор кон поефикасно одржување треба да се почувствува во намерата, веќе во фазата на проектирање да се елиминира толкав дел од обемот на одржувањето, колку што е економски можно. Елиминирањето на непотребното одржување треба да биде цел не само на проектантите и градителите на постројката, туку и на корисникот на таа опрема.

Потполното елиминирање на одржувањето би било многу скапо, секогаш има место за размислување за поедноставување на одржувањето т.е. разгледувањето на подобноста за одржување како и за сигурноста (поузданоста). Тоа е област во која е потребно да постои повратно струење на информации од лица што се одговорни за одржување и проектантите.

Односот помеѓу проектирањето и одржувањето, глобално може да се опфати преку следните прашања:

- дали испорачателот на опремата е спремен да даде гаранција за опремата и каква е таа?
- дали е подготвена целосна спецификација?
- дали добиените информации се доволни за службата на одржување?
- дали препораките за одржување се преобилни, недоволни или се правилно оценети?

- дали предвидените трошоци за одржување ја задоволуваат ефикасноста?
- дали може да се наголеми ефикасноста на одржувањето без наголемување на трошоците за одржување?
- дали се предвидени проблемите со раководењето со одржувањето и може ли тие да се подобрат?
- дали се пресметани индиректните трошоци заради недоволно одржување (колку недоволното одржување влијае на наголемувањето на трошоците на производство)?
- дали е земено во предвид одржувањето при донесувањето на решение за купување на постројката?
- дали службата за одржување води сметка за последиците од своите решенија во однос на трошоците?
- дали службата за одржување е консултирана пред да се купува постројката за која ќе биде таа служба одговорна?
- дали корисникот на постројката му испраќа на производителот на постројката податоци кои се потребни за понатамошно усовршување на производот?
- дали производителот на опремата губи интерес за неа после нејзиното продавање?
- дали производителот на постројката го поттикнува корисникот да испраќа информации за понатамошно развивање на производот?
- дали производителот има и како ја организира службата за вршење на сервиси на сопствената опрема?
- дали е организирана и како е организирана службата за рекламации?

Кога е еден дел од одржувањето елиминиран, а еден дел упростен, раководителот на службата за одржување останува со оној обем на одржување што не може да се одбегне. Сега би можело да се претпостави дека дискусиите околу одржувањето конечно треба да престанат и да се почне со вистинска непосредна работа на одржувањето. Меѓутоа, раководителот на одржувањето треба да разбере дека и понатаму постои потреба да се испитуваат проектните решенија на одржувањето, посебно кога се работи за постапки на одржување кои се повторуваат.

Потребно е постојано да се анализираат проектните решенија за подобноста на одржувањето. Еден од понатамошните многу значајни аспекти на теротехнологијата се однесува на донесувањето на решителна одлука да се замени постројката, или пак да се пристапи кон нејзина реконструкција. Ова

решение треба да се донесе правовремено, за да не се создадат економски неоправдани трошоци.

Имајќи го сето тоа во предвид, може да се утврдат определени насоки за раководење со одржувањето. Сите насоки нема да имаат еднакво значење во сите ситуации, но можат да претставуваат една појдовна основа за подобрување на ефикасноста на одржувањето.

1.6. Насоки за раководење на одржувањето

1. Извршувај помалку работа:

- подобар проект,
- испланирај го одржувањето на веќе изградената постројка,
- утврди ја можноста за одржување на веќе изградената постројка,
- превентивно одржување на најважните делови,
- исклучи ги работите кои немаат значење,
- постигни решение на проблемите на злоупотреба, како и неправилна употреба,
- заборавај ја дотраената постројка,
- планирај „гледање“ (визуелен надзор) а не „извршување“.

2. Извршувај го тоа што е потребно:

- определи приоритет,
- определи одговорност и надлежност.

3. Изврши ја работата со помали трошоци:

- подобро планирај - подобро користи ги резервите,
- подобри ја флексибилноста,
- намали го (елиминирај) чекањето со подобра соработка со производството,
- подобри ги методите,
- најди подобри помошници,
- користи ги набавувачите (селективно),
- разгледувај ја техниката на мотивациите.

4. Повеќе работи:

- еден денар за одржување, може да заштеди три денари кога стои постројката надвор од погон,
- повеќе подобра работа може да допринесе за заштеди во иднина,
- оптоварувањето при работење може да се регулира со намалување на работи кои не се итни,
- “поправај ги” односно “замени ги” решенијата.

5. Повеќе мисли, учи и соработувај:

- мисли сега - дејствувај подоцна,
- учи се на искуството на другите,
- прифаќај ги и оценувај ги советите,
- разменувај ги стручните лица, опремата и работната сила.

6. Помалку растурај време на тоа што не е битно при раководењето со одржувањето:

- секогаш поставувај си прашање: колку тоа ќе чини? што ќе се зашледи со тоа?
- биди внимателен при спроведувањата на извршените работи,
- совршенството е скапо - користи го штедливо.

Доколку раководителот на одржувањето си ги постави сите погоре наведени прашања и насоки, може да се очекува дека раководењето на одржувањето ќе биде покомплетно и одржувањето на постројката ќе се одвива без посебни проблеми и потешкотии.

Мора да се напомене дека раководителот на одржувањето е лице одговорно за правилна работа на постројката без големи застои на постројката, што директно се одразува врз економската оправданост на постројката.

1.7. Организација на работата во термоенергетските постројки

Основен предуслов за долговечна и сигурна работа на секоја постројка е правилна експлоатација и навремено извршување на тековните и планските технички прегледи и ремонти.

При експлоатација на енергетските постројки, многу важна улога игра добрата организација на експлоатацијата. Електроцентрала по правило работи континуирано и е опслужувана од три смени дневно. Работата на постројката се карактеризира со многу блиска (тесна) взаемна врска, што се гледа од топлинските шеми. Неусогласеноста при промената на режимите на работата на агрегатите, може многу сериозно да ја наруши работата на електроцентралата во целина и дури да доведе до хаварија.

Големо значење за правилна работа на постројките има висококвалификуваната, јасна, внимателна работа на целиот персонал. Неправилната работа на персоналот може да доведе до сериозни хаварии со тешки последици за самата постројка. Освен штетата во самата постројка, уште поголема е штетата кај потрошувачите на кои им треба производството на постројката.

За сигурната и економична работа на постројката голема улога игра автоматизацијата на работата. Сигурната работа на автоматиката, што брзо реагира на сите промени, многу добро го одржува оптималниот (зададениот) режим на работа на постројката, отколку што тоа може да го стори персоналот.

Големо значење имаат и различните системи за блокирање, системите за запирање и пуштање во погон на резервните механизми. Со блокирањето се спречуваат грешките на персоналот, што се можни при различните приклучувања, а исто така и неправилниот редослед на пуштање во погон на одделни механизми.

Сигнализацијата, светлосна и звучна, го информира персоналот за нормалната работа на различните елементи на постројката, или за отстапувањето од нормалните режими или услови на работа, а исто така и за положбата на различни органи за затворање и сл. Дистанционото управување овозможува да се управува со ред механизми од едно место.

Автоматизацијата во најширока смисла, вклучувајќи го тука и блокирањето, сигнализацијата, дистанционото управување, овозможува да се подигне експлоатацијата на постројките на повисоко ниво и да се намали бројот на потребниот дежурен персонал. Во денешно време, управувањето со работата на основните агрегати и на најголемиот број помошни механизми, се изведува централизирано. На командните пултови се поставуваат основните прибори за контрола, инсталциите за автоматизација и далечинско управување.



Сл.1.2. Контролна соба во ТЕП.

Во парнотурбинските електроцентрали најнапред се автоматизираат процесите кои се одвиваат континуирано. Според тоа, во котелската постројка се автоматизира процесот на согорување (односот воздух-гориво), напоју-

вањето со вода, одржувањето на температурата на парата, континуираното продувување, работа на системот за подготовка на јаглен во прав. Парните турбини имаат свој систем за автоматска регулација. Освен тоа се автоматизира додавањето на пара на крајните турбински затинки, се одржува нивото на кондензат во кондензаторот и загревателите, притисокот и нивото на вода во деаераторот, работата на постројките за редукација, напојувањето на топлинските мрежи и сл.

Во одделението за хемиска подготовка на напојната вода се автоматизира дозирањето на реагенсите, регенерацијата на филтрите, загревањето на водата.

Гаснотурбинските постројки многу полесно можат целосно да се автоматизираат, во однос на парнотурбинските постројки. Тоа е можно, затоа што продуктите на согорување директно навлегуваат во гасната турбина и произведуваат работа, а исто така има помал број помошна опрема, што е поедноставна. Поголем број на современите ГТП се произведуваат со системски решенија, кои дозволуваат потполно автоматско пуштање од ладна состојба со едно копче. Многу врвни ГТП, немаат постојан дежурен персонал, а се пуштаат во погон и се запираат од диспечерски центри кои се наоѓаат на оддалеченост од повеќе стотици километри.

2 ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ТЕМОЕНЕРГЕТСКИ ПОСТРОЈКИ

Со правилна експлоатација и одржување на термоенергетските постројки терба да се обезбеди сигурен и економичен погон, при соодветни стандарди на функционирање (параметри, капацитет и др.) и за време кое е што е потребно за пороизводна употреба.

2.1. ОСНОВИ НА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИТЕ ПОСТРОЈКИ

2.1.1. Основни поими за термоенергетските постројки

Енергетиката како наука обединува повеќе природни, технички и економски дисциплини. Таа ги поврзува областите *енергија*, *економија* и *екологија*, со цел за развој на енергетски системи за производство на големи количества на енергија, со ниска цена на чинење, при минимални последици по човековата околина.

Енергетиката е наука која ја проучува:

- методите на производство, трансформација, пренос и дистрибуција на разни видови на енергија,
- методите за ефикасно користење на енергијата при задоволување на потребите на човекот и индустријата, и
- последиците по човековата околина при производството и користењето на енергијата.

Во зависност од разгледуваната енергија (*електрична*, *топлинска*, *нуклеарна*, *хидроенергија* и др.) енергетиката се дели на: *електро-енергетика*, *нуклеарна енергетика*, *хидроенергетика* и др. Во природата, како и во секојдневниот живот, се сретнуваат и забележуваат различни видови енергии. Различните видови енергии можат да се класифицираат во следните шест класи и тоа: *механичка*, *електрична*, *хемиска*, *топлинска*, *електро-магнетна* и *нуклеарна енергија*.

Енергијата има витално значење за одржување на животот на Земјата. Без енергија не може да постои движење, производство, а ниту живот. Трошејќи многу енергија денес човекот може да се движи во воздухот, по водата и копното многу побрзо и подалеку од било кога и било кои други живи суштества. Радиото, телевизиската, печатот и сите други облици на модерно комуницирање, трошат енергија. Приносите во модерното земјоделие многу се поголеми заради употребата на ѓубрива и машини за чие производство исто така се троши енергија.

Енергијата може да се трансформира од еден во друг вид и тоа секогаш така што одредено количество енергија од еден вид точно одговара

на одредено количество од друг вид. Не е возможно да се измисли или конструира било каква машина, уред или постапка со која би можело од ништо да се создаде енергија, или со помош на која енергијата би можела да се уништи. Овој закон прв го дефинирал Рудолф Клаузиус во 1850 год. и се вика *закон за одржување на енергијата*.

Трансформирањето на енергијата од еден вид во друг се врши по точно определени процеси, во сложени агрегати тн. *енергетски постројки*.

На сл.2.1.1. е дадена принципиелна шема на трансформација на енергијата во сферата на материјалното производство. Како што се гледа од сл.2.1.1 основата на шемата ја сочинуваат следните етапи на трансформација:

- Претворање на енергијата на горивата (*фосилни и нуклеарни*) во топлинска енергија. Овој процес се изведува во енергетски постројки како што се: *индустриските печки, котелските постројки*, а исто така и во *нуклеарните реактори*.
- Претворање на топлинската енергија на работното тело во механичка енергија во турбинските постројки.
- Претворање на механичката енергија во електрична во електрогенераторите.
- Претворање на електричната енергија во механичка во електромоторите.



Сл. 2.1.1. Принципиелна шема на трансформација на енергијата во сферата на материјалното производство.

Основен извор на енергија претставуваат горивата (овде спаѓаат и нуклеарните горива). Скоро целата енергија на горивата во првата фаза се трансформира во топлинска енергија. Овој процес главно се остварува во котлите и печките што работат на фосилно гориво, а исто така и во нуклеарните реактори.

Како што се гледа од сл.2.1.1., две третини од добиената топлинска енергија се искористува во облик на топлина (без понатамошно претворање во други видови енергија). Само четвртина од добиената топлинска енергија се претвора во електрична енергија, а помалку од 10% се користи во форма на механичка енергија. Скоро 60% од добиената електрична енергија повторно се претвора во механичка енергија. Останатиот дел од произведената електрична енергија се користи за светлосни, електрохемиски, електротермички (*високотемпературни и нискотемпературни*) топлински постројки.

Енергетските постројки во кои трансформацијата на енергијата, од еден вид во друг, се извршува преку топлинската енергија се нарекуваат *термоенергетски постројки*.

Брзиот развој на техниката неминовно е поврзан со производство на доволни количини на електрична енергија. Без електрична енергија не може да се замисли работата на современата индустрија, транспортот, селското стопанство, комуналниот живот и тн. Тоа овозможува да се усовршува, автоматизира и интензивира производството и технолошките процеси и да се зголеми продуктивноста на трудот.

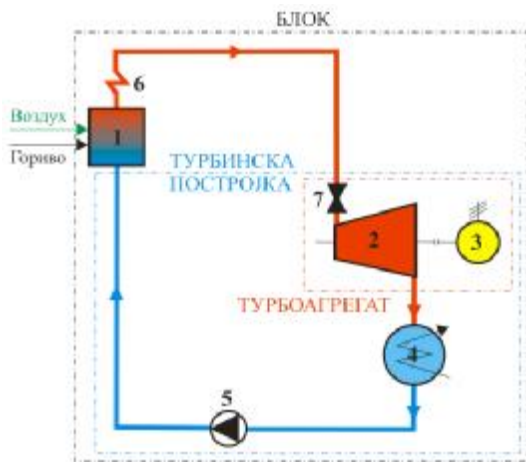
Електричната енергија, во однос на другите видови на енергии, има повеќе предности, како што се: лесно се трансформира во други видови на енергија (*топлинска, светлосна, механичка и хемиска*), лесно се транспортира на значителни растојанија со прифатливи загуби при предавањето, може да се произведува во големи количества, при користењето обезбедува висок степен на автоматизација, обезбедува висок степен на комфорт на работните места, не ја загадува човековата околина и тн.

Најголем дел од електричната енергија (околу 69%) денес се произведува во електрични централи, кои ја користат енергијата на фосилните горива (*јаглен, нафта и гас*) тн. *термоцентрали* (ТЕЦ). Значителен дел од електричната енергија (15%) се произведува во електрични централи кои ја користат енергијата на водните текови тн. *хидроцентрали* (ХЕЦ).

Во 50-те години од овој век се појавил нов тип на електроцентрали, тн. *атомски електроцентрали* (АЕЦ), кои ја користат топлинската енергија што се добива со цепање на нуклеарното гориво (*уранот*). Во 2009 година вкупно инсталираната моќност на АЕЦ во светот изнесувала 3500 GW (13%).

Со изградба на првата електроцентрала во местото Лардерело во Италија во 1904 год., на изворите на водена пара, започнува ерата на производство на електрична енергија со користење на *геотермалната енергија*. Таквите центри се нарекуваат *геотермални електроцентрали*.

Голем интерес за локална употреба можат да имаат електроцентралите што ја користат енергијата на ветрот, тн. *ветерници*. Ветерниците со моќност од 10 до 100 kW првенствено се наменети за локално снабдување со електрична енергија, а тие од 3÷4 MW, што денес се во експлоатација, можат да се вклучат и во регионалните системи со висок напон. Денес, се поголемо влијание имаат и електроцентралите кои ја користат енергијата на сончевото зрачење, *сончеви електроцентрали*, потоа оние што ја користат енергијата на морските бранови, топлинската енергија на водните маси на морињата и океаните, енергијата на плимата и осеката и тн.



Сл. 2.1.2. Принципиелна топлинска шема на парнотурбинска блок постројка.

1-котел; 2-парна турбина; 3-електрогенератор;
4-кондензатор; 5-напојна пумпа; 6-прегревач на пара; 7-регулационен вентил

Во *парната турбина* потенцијалната енергија на работниот флуид се претвора во кинетичка, а оваа во механичка енергија во облик на вртење на вратилото (роторот). Вратилото на турбината е непосредно, или со помош на редуктор, соединето со *електрогенераторот*, во кој механичката енергија се претвора во електрична. Спојот на турбината со електрогенераторот се нарекува *турбоагрегат*, или *турбогенератор*.

Термоцентралата е всушност еден комплекс од повеќе термоенергетски постројки (*парен котел, парна турбина* и тн.) со помош на кои се реализира термодинамички циклус на трансформација на топлинската во механичка и понатаму во електрична енергија. На сл.2.1.2. е прикажана упростена принципиелна шема на термоцентрала (*парнотурбинска постројка*).

Во парниот котел се врши трансформација на хемиската енергија на горивата во топлинска енергија, во вид на потенцијална енергија на работниот флуид – *водената пара*.

Турбоагрегатот, заедно со кондензаторот, соодветните цевоводи, пумпите, изменувачите на топлина за регенеративно загревање на напојната вода, се вика *парнотурбинска постројка* или *гаснотурбинска постројка*, ако се применува гасна турбина.

2.1.2. Поделба на термоцентралите

Како што е речено погоре, термоцентралата е комплекс од повеќе термоенергетски постројки наменети за добивање на електрична и топлинска енергија од енергијата на горивата (*органиски* и *нуклеарни* горива).

Поделбата на термоцентралите зависи од редица фактори:

1. Во зависност од *видот* на произведената енергија:

- Термоцентрали кои произведуваат само еден вид на енергија *електрична* (парнотурбински кондензациони термоцентрали, парногасни, нуклеарни и гаснотурбински термоцентрали).
- Термоцентрали кои произведуваат и електрична и топлинска енергија, тн. *топлификациони* термоцентрали, затоа што топлината од нив се користи за топлификација, т.е. за централно затоплување. Топлификационата термоцентрала обично е составена од: парнотурбинска, гасно-турбинска, парно-гасно-турбинска, нуклеарна постројка и тн.

2. Во зависност од видот на изворот на енергија на:

а. Постојки што ја користат енергијата на необновливите извори на енергија и можат да се поделат на:

- термоцентрали што работат на органско гориво (јаглен, нафта и гас),
- термоцентрали што работат на нуклеарно гориво (изотопи на уран).

б. Постојки што ја користат енергијата на обновливите извори на енергија, како што се:

- геотермални термоцентрали, кои ја користат топлинската енергија на Земјата (геотермалната енергија).
- сончеви термоцентрали, што ја користат енергијата на сончевото зрачење,
- термоцентрали за искористување на топлинската енергија на водните маси на морињата и океаните,
- термоцентрали за искористување на енергијата на биомасата (биоенергија), и др.

3. Во зависност од топлинската машина (моторот-двигател) кој ја претвора топлинската енергија во механичка, се делат на:

- термоцентрали со парни турбини (*парнотурбински*),
- термоцентрали со гасни турбини (*гаснотурбински*),
- термоцентрали со парно-гасни турбини,
- термоцентрали со мотори со внатрешно согорување,
- термоцентрали со магнетно-хидродинамички генератори.

Поделбата на термоцентралите може да се направи и по однос на други основи, како што се:

- според почетните параметри на парата, односно притисокот на парата, на термоцентрали,
 - *докритичен* (обично 16÷17 МПа),
 - *наткритичен* (> 22 МПа) притисок на парата,
- според моќта на:
 - термоцентрали со *голема* (>1000 MW),
 - *средна* (100÷1000 MW) и
 - *мала моќ* (<100 MW),
- во однос на степенот на оптоварување и искористување на моќта на:
 - *базни* (6000÷7000 h/god),
 - *полубазни* (4000÷6000 h/god),
 - *полуврвни* (2000÷4000 h/god) и
 - *врвни* до 2000 часа во годината и тн.

2.1.3. Технолошки и топлински шеми на термоенергетски постројки

Технолошката и топлинската шема на една термоенергетска постројка ја покажува врската помеѓу основните уреди и апарати, со помош на кои се врши трансформација на одреден вид енергија.

2.1.3.1. Технолошка шема на котелска постројка

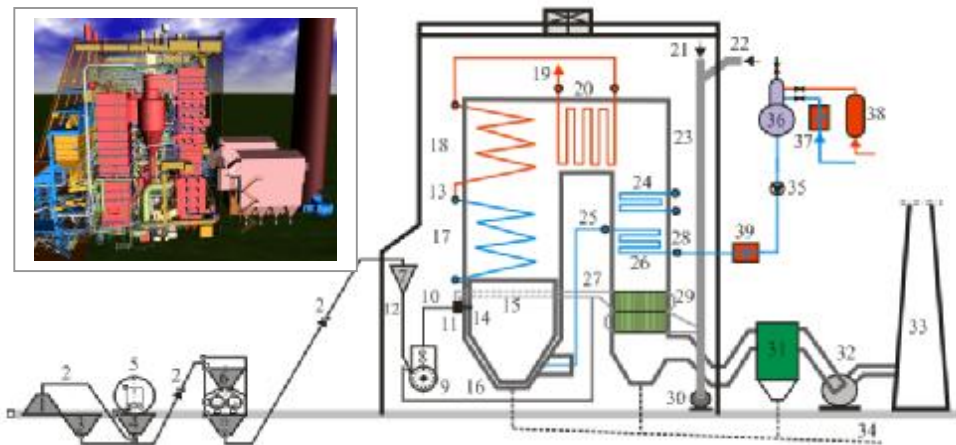
Технолошката шема на котелска постројка за производство на пара за парнотурбинска термоцентрала, што користи цврсто гориво (јаглен во прав) со согорување во лет е дадена на сл.2.1.3. Цврстото гориво, во вид на парчиња, се донесува до бункерите 4 со железнички вагони. Со помош на бескрајни ленти, горивото се носи кон дробилката или кон складот за јаглен. Во дро-

билките јагленот се дроби на помали парчиња и од таму со помош на друг транспортер во вид на бескрајна лента, се донесува во бункерот за гориво 7. Од бункерот горивото се носи на понатамошно дробење во тн. мелници за јаглен 8, каде во исто време се врши и негово сушење. Во мелницата за јаглен се доведува и загреан воздух со што се формира смеса на гориво и воздух која преку горилниците 11 се внесува во огништето 14 на котелот.

За добивање на пара за производство на електрична енергија, најчесто се применуваат парни котли со присилно прострујување на водата во облик на буквата „П“. Првиот канал всушност претставува огништето во кое се врши согорување на горивото. Целата површина на огништето е обложена со цевки низ кои струи вода тн. екрански цевки 16. Во огништето предавањето на топлината се врши со зрачење.

Вториот, хоризонтален канал од котелот го соединува огништето со излезниот канал и служи за сместување на дополнителните загревачи (конвективни испарувачи и прегревачи на пара). Во него предавањето на топлината се врши по пат на конвекција.

Третиот или излезен канал, служи за сместување на дополнителните прегревачи на пара 24, загревачите на вода 27 и загревачите на воздух 29 и одведување на продуктите на согорување преку филтерот 31, кон оџакот 33.



Сл. 2.1.3. Принципиелна технолошка шема на котелска постројка за производство на пара за термоцентрала.

Напојната вода, после хемиската припрема 21, се носи во дегасаторот во кој се врши одземање на растворените гасови (пред се на O_2). Од дегасаторот, со помош на напојните пумпи 18, напојната вода се носи во загревачот

на вода 5, каде и се зголемува температурата. Од загревачот на вода се носи во испарувачот кој е сместен во огништето, каде испарува, а во озрачениот и конвективниот прегревач се прегрева и како прегреана, со потребната температура, се носи кон парната турбина.

Од анализата на технолошката шема за производство на пара може да се заклучи дека во склопот на котелската постројка, покрај котелниот агрегат, се наоѓаат и помошните уреди во кои влегуваат:

- *Вентилаторска постројка*, која се состои од вентилатори за воздух заедно со каналите за развод на воздухот и вентилатори за продуктите на согорување (гасови) заедно со системот на канали за одвод на продуктите на согорување.

- *Напојна постројка*, која се состои од систем на напојни пумпи за довод на водата во котелот под притисок.

- *Постројка за подготовка на горивото*, која за котлите кои работат со јаглен во вид на прав, се состои од систем за мелење на горивото до состојба на прав, а во кој влегуваат уредите за: *дробење, сушење, мелење* и транспорт на смесата на гориво-воздух и продуктите на согорување.

- *Постројка за отстранување на пепел и згура*, која се состои од хидрауличен и механички систем.

- *Складиште за гориво*, наменето за напојување на котелот со гориво, заедно со пропратната опрема и уреди за растоварување и додавање на горивото кон котелот.

- *Систем за контрола и автоматско управување* во кој влегуваат апаратите и уредите за мерење и контрола, како и обезбедување на непрекината взаемна работа на поединечните уреди на котелската постројка со цел да се добие потребното количество на пара со определени параметри (температура и притисок).

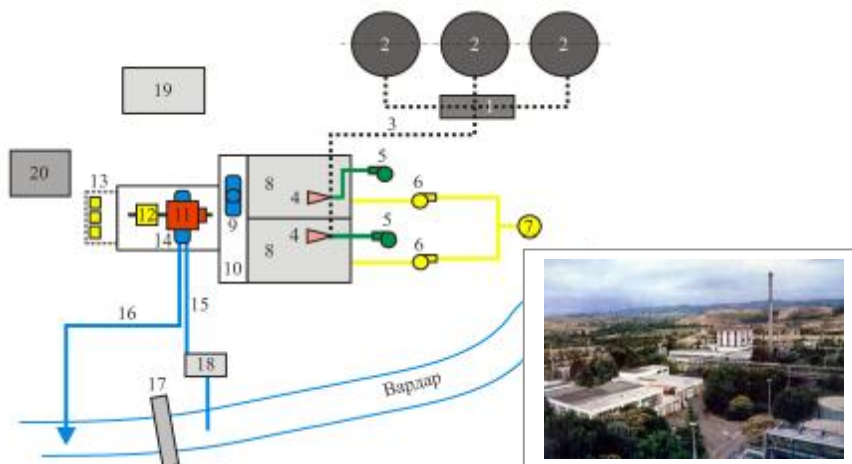
2.1.3.2. Технолошка шема на термоцентрала

Технолошката шема на една термоцентрала зависи од повеќе фактори, од кои треба да се издвојат следните:

- Видот на употребуваното гориво (јаглен, мазут, гас и сл.), особено од неговото доставување и подготовка за согорување.
- Видот на термоцентралата (кондензациона, топлификациона); видот и бројот на турбоагрегатот и парогенераторот и др.

- Видот на работниот флуид (парнотурбинска, гаснотурбинска постројка и тн.).
- Климатските и метеоролошките услови во реонот на термоцентралата и тн.

На сл.2.1.4. е прикажана упростена технолошка шема на термоцентралата "Дуброво" во Неготино, која работи со течно гориво (мазут). Мазутот од резервоарите 2, со помош на циркулациони пумпи, сместени во станицата за мазут 1, низ цевководот 3 се потиснува кон котелот кој е составен од две независни секции 8. Резервоарите за мазут се полнат со мазут преку станицата за мазут од вагон цистерните за мазут. Затоа што мазутот е течен на температури над 60 °С, за негово преточување и потискување во резервоарите и цевководите истовремено се врши и негово загревање.



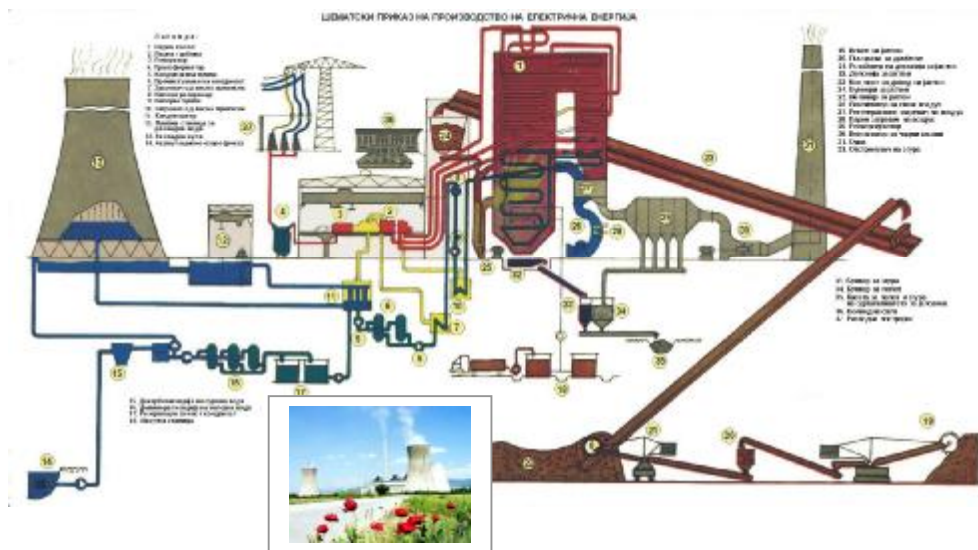
Сл. 2.1.4. Упростена принципиелна технолошка шема на ТЕЦ „Дуброво“ - Неготино.

1-станција за мазут; 2-резервоари за мазут; 3-цевководи за мазут; 4-горилници; 5-вентилатор за воздух; 6-вентилатор за чадни гасови; 7-оцак; 8-парен котел; 9-дегазатор; 11-парна турбина; 12-електрогенератор; 13-трафостаница; 14-кондензатор; 15-цевки за вода за ладење; 16-цевки за топла вода; 17- брана; 18-пумпна станица; 19-помошна котлара; 20-управна зграда.

Во горилниците за мазут, поставени на соодветни места од огништето на котелот, мазутот се распрскува и се внесува во огништето каде согорува. Количеството на воздух, неопходно потребно за согорување на горивото, во горилниците се доведува со помош на вентилаторите 5. Пред да се донесе во горилниците, воздухот претходно се загрева во загревачот за воздух. Продуктите на согорување, со помош на вентилаторите 6 се шмукаат од котелот и се уфрлуваат во оцакот 7, а преку него истите се исфрлаат во атмосферата.

Произведената пара во котелот се доведува во парната турбина 11, а се кондензира во кондензаторот 14. Добиениот кондензат во кондензаторот преку дегасаторот, во кој се врши издвојување на растворените гасови, се враќа во котелот 8. На својот пат од кондензаторот до котелот кондензатот поминува низ повеќе површински регенеративни загревачи, во кои му се зголемува температурата.

Потребната вода за ладење на кондензаторот се зема од р. Вардар и со помош на циркулациони пумпи, сместени во пумпната станица 18, се транспортира низ кондензаторот, низ цевководот 15 и повторно враќа во реката низ цевководот 16. Во електрогенераторот 12 се произведува електрична енергија, која преку трафостаницата 13 се испраќа кон потрошувачите. За почетно пуштање во работа на котелската и турбинската постројка се користи помошната котларница 19 со низок притисок на парата.



Сл. 2.1.5. Технолошка шема на РЕК - Битола.

2.1.3.3. Топлински шеми на термоцентрали

Преку топлинската шема се воспоставува врска меѓу основните агрегати и апарати на ТЕЦ, со помош на кои се произведува електрична и топлинска енергија. Од правилниот избор на основните агрегати и помошните уреди зависи и надежноста и економичноста на ТЕЦ затоа што со тоа се определува организацијата на производството во термоцентралата.

При пресметка на топлинската шема се определува *топлинскиот* (количината на разменетата топлина), *материјалниот* (количеството на пара што протекува низ турбината, количината на кондензат, разладна вода) биланс, како и *параметрите* на сите протоци (притисок, температура, енталпија). Врз база на овие податоци се врши пресметка и избор на сите постројки и апарати во термоцентралата, се определуваат коефициентите на полезно дејство, потрошувачката на гориво и други показатели на ТЕЦ.

Во основа се разликуваат два вида на топлински шеми и тоа: *принципиелни* и *развиени*. Во принципиелните шеми графички се прикажани основните протоци на работен флуид и топлина во збиена форма. За разлика од принципиелните, развиените топлински шеми ги прикажуваат сите постројки и апарати, вклучувајќи ги и резервните агрегати во реален број, а исто така и сите врски со сите елементи на арматурата.

2.1.3.3.1. Топлинска шема на парнотурбинска постројка

Принципиелната топлинска шема во себе ја вклучува основната и помошната термоенергетска опрема што учествува во процесот на трансформација на топлинската енергија во електрична и врските на пара и вода меѓу нив. Во нејзиниот состав покрај основните агрегати и врските на пара и вода меѓу нив, влегуваат уште: *регенеративните загревачи* за висок и низок притисок, *дегасаторите* за напојна вода, *цевоводите* за одземање на пара од турбината кон загревачите, *напојните, кондензатните и дренажните пумпи* и линиите за основниот кондензат, дренажната и додатната вода.

На сл.2.1.6. е прикажана принципиелна топлинска шема на кондензациона парнотурбинска постројка.

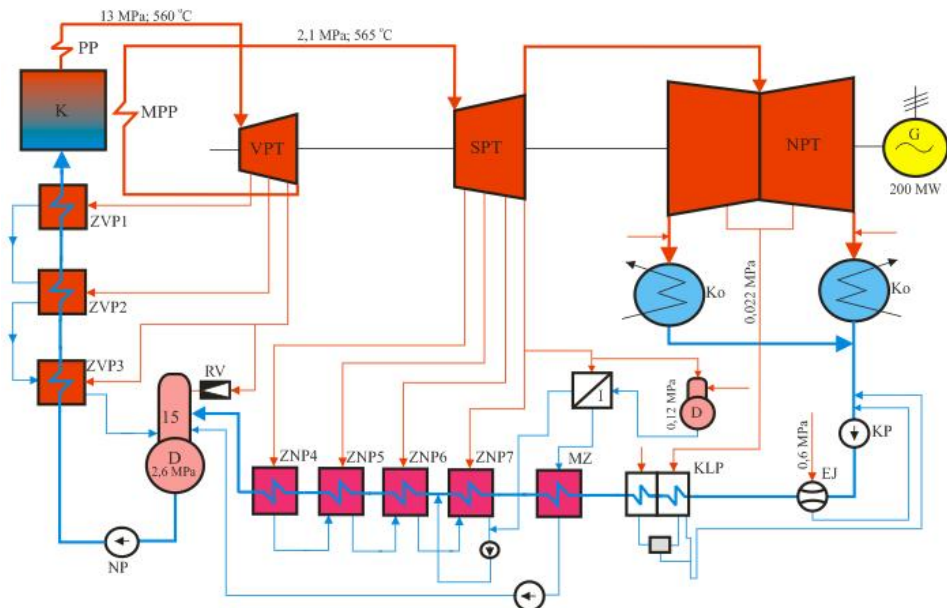
Во парниот котел (К) хемиската енергија на горивото со согорување се претвора во топлинска енергија која ја зголемува потенцијалната енергија на работниот флуид, односно се произведува пара со одреден притисок и температура. Парата од котелот се носи во високопритисниот дел на турбината (VPT) каде дел од потенцијалната енергија се трансформира во механичка во вид на вртење на вратилото. Од VPT парата прво се носи повторно во котелот на дополнително прегревање, а потоа во среднопритисниот (SPT) и нископритисниот (NPT) дел од турбината, каде останатиот дел од потенцијалната енергија се трансформира во механичка енергија. Во електрогенераторот механичката енергија се трансформира во електрична. По напуштањето на NPT парата се носи во кондензаторот каде се кондензира со помош на вода за ладење.

Основна задача на кондензаторот е:

- создавање и одржување на длабок вакуум на излезот од турбината, со што се зголемува топлинскиот пад во турбината, а со тоа и економичноста на постројката,
- добивање на чист кондензат од парата што се кондензира,
- издвојување на воздухот и гасовите кои не кондензираат.

Основниот кондензат од кондензаторот, со помош на пумпи за кондензат се носи кон дегасаторот.

Во современите парнотурбински постројки, било да се кондензациони или топлификациони, се прави регенеративно загревање на основниот кондензат во нископритисни загревачи (НПЗ) и на напојната вода во високопритисни загревачи (ВПЗ), со што битно се зголемува коефициентот на полезно дејство на постројката. За таа цел на неколку места од турбината тн. нерегулирани одземања на пара се одзема пара, со која се загрева основниот кондензат и напојната вода. Кондензатот од таа пара од овие загревачи се слива низ постројките за редуција на притисок кон регенеративните загревачи кои работат со понизок притисок.



Сл. 2.1.6. Принципиелна топлинска шема на кондензациона парнотурбинска постројка K-200-130 (LMZ).

Напојната вода која треба да оди кон котелот не смее да содржи гасови (O_2 и CO_2), кои предизвикуваат корозија на металите, а со кои водата доаѓа во контакт. Отстранувањето на гасовите од водата се врши со термичка постапка во уредите тн. *дегасатори*, со помош на водена пара со притисок еднаков на атмосферскиот, или поголем од него $0,6 \div 0,7$ МРа. Во дегасаторот во исто време се врши и еден степен на загревање на основниот кондензат, како резултат на парата што се доведува за дегасација.

Со помош на напојните пумпи се зголемува притисокот на напојната вода, до големина еднаква на работните услови и преку загревачите за висок притисок се внесува во котелот на повторно испарување и прегревање.

2.1.3.3.2. Топлинска шема на топлификациона парнотурбинска постројка

Современите системи за централизирано снабдување со топлина се состојат од три целини и тоа: топлификациона постројка (извор на топлина), топлификациона (цевна) мрежа и локални (месни) системи за предавање на топлината. Во системите за централизирано снабдување со топлина, како топлоносител обично се користи топла вода или пара.

Како топлификациони постројки кај системите за централизирано снабдување на потрошувачите со топлина се користат: *котелските* (реонски, индустриски) *постројки* и *термоцентралите* за комбинирано производство на топлинска и електрична енергија. Реонските котелски постројки се наменети за снабдување со топлина на еден реон или цел град, а индустриските на определен индустриски објект. Термоцентралите што работат на база на комбинирано производство на топлинска и електрична енергија, уште се нарекуваат и *топлификациони термоцентрали*.

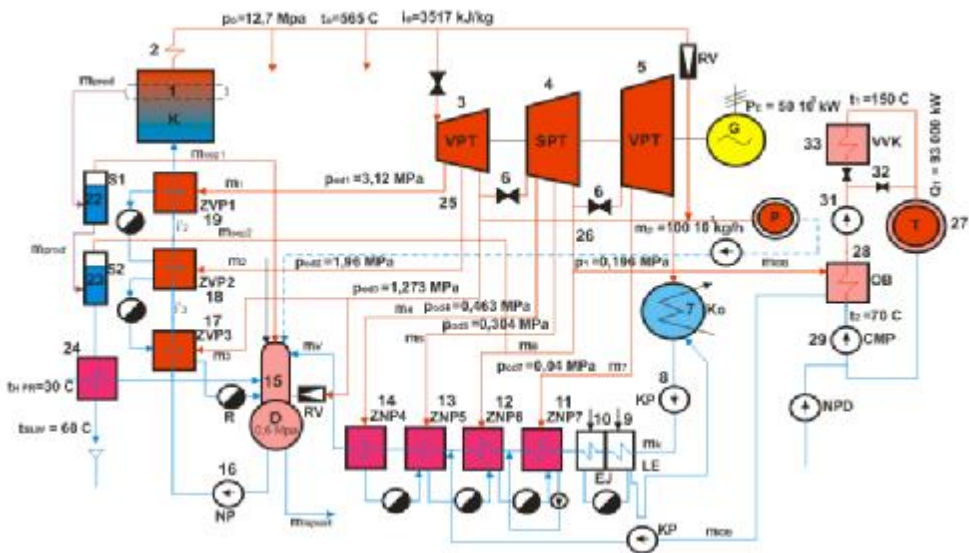
Кај топлификационите термоцентрали парата на излезот од турбината се носи директно кон топлинскиот потрошувач или во топлински изменувач, каде ја предава топлината на водата во топлификационата мрежа. Постојат топлификациони постројки кај кои најголемиот дел од парата на излезот од турбината се носи во кондензаторот, а помал дел се одзема од турбината и директно се носи кон топлинскиот потрошувач или кон изменувачот на топлина.

Принципиелната топлинска шема кај топлификационите термоцентрали шематски ја прикажува неопходно потребната опремата за транспорт на топлината (*пара, топла вода*) кон потрошувачите и нивната врска со основната опрема на постројката.

На сл.2.1.7. е дадена принципиелна топлинска шема на топлификациона термоцентрала со кондензација на парата и регулирано одземање на пара за загревање на водата во топлификационата мрежа.

Топлификационите постројки можат да се поделат на неколку типови, најчесто на: постројки за отпуштање на пара за *технолошки* потреби и пара за *загревање* на водата во топлификационата мрежа или комбинација на двете постројки.

Турбината (сл.2.1.7) има регулациони вентили со кои се врши регулирање на количината на пара на влезот во VPT (3), помеѓу VPT и SPT (4) и помеѓу SPT и NPT (5). Со затворање на регулационите вентили б се регулира количината на пара во одземањата 25 и 26. Парата од одземањето 25 се користи за технолошки потреби и се носи директно кон потрошувачите, а кондензатот се враќа во дегасаторот. Дел од парата од одземањето 25 се користи за регенеративно загревање на напојната вода во ZVP-3 и дел за изведување на процесот на термичка дегасација во дегасаторот.



Сл. 2.1.7. Принципиелна топлинска шема на топлификациона кондензациона постројка.

Парата од одземањето 26 се носи кон постројката за загревање на водата во топлификационата мрежа, а кондензатот се враќа во основниот кондензат на постројката. Дел од одземањето 26 се носи во нископритисниот загревач ZNP-6 за регенеративно загревање на основниот кондензат. Построј-

ката за загревање на водата во топлификационата мрежа е наменета за снабдување со топлина на топлинскиот потрошувач 27 за загревање на простории, или за снабдување со санитарна топла вода. Водата од топлификационата мрежа, со помош на циркулационите пумпи, се потиснува низ загревачите од прв 28 и втор степен 31 и низ водот 32 (by pass) кон топлинскиот потрошувач. При релативно ниски надворешни температури постои можност водата во топлификациониот систем дополнително да се догрева во тн. *врвен врело-воден* котел 33. Кондензатот на парата од загревачите на мрежната вода се слива на соодветни места (во зависност од температурата) во линијата на основниот кондензат.

Разгледаната топлинска мрежа на топлификационата кондензациона парнотурбинска постројка е типска. Бројот и распоредот на елементите од кои таа е составена варира од постројка до постројка и зависи пред се од потребите на топлинскиот потрошувач, економичноста, надежноста, режимот на работа и тн.

2.1.3.3.3. Топлинска шема на гаснотурбинска постројка

Гаснотурбинските постројки (електроцентрали) не се многу распространети во електроенергетиката како самостојни извори на електрична енергија. Денес, електроцентралите со гасни турбини ги дополнуваат електроцентралите со парни турбини во производството на електрична енергија и тоа најмногу за покривање на врвните оптоварувања.

Моќноста на гаснотурбинските постројки е значително помала од парнотурбинските и се движи до 100 MW (денес до 200 MW), а коефициентот на полезно дејство ретко ја надминува вредноста од 35%, т.е. понизок е од оној на парнотурбинските. Гаснотурбинските постројки што користат гасно гориво се попусти и поефтини од парнотурбинските, меѓутоа кај оние што работат на течно и цврсто гориво се сретнуваат значителни технички проблеми.

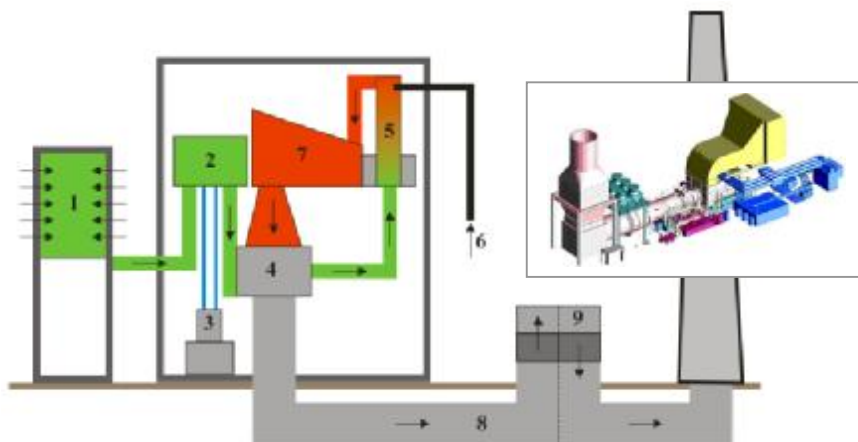
Гаснотурбинските постројки ГТП, во зависност од работниот циклус, се делат на *изобарни* и *изохорни*. При *изобарните* ГТП процесот на согорување и доведување на топлината се одвива при константен притисок ($p=\text{const.}$). Кај *изохорните* ГТП процесот на согорување се одвива при константен волумен ($v=\text{const.}$).

Во зависност од одвивањето на работниот процес ГТП можат да бидат со *отворен* и *затворен* процес на работа. Кај ГТП со отворен процес на работа низ компресорот и турбината постојано поминува нова количина на

работен флуид (воздух и продукти на согорување), а кај ГТП со затворен процес на работа, низ компресорот и турбината, во затворен круг, протекува едно исто количество на работен флуид.

Денес во светот најчесто се користат ГТП со отворен процес на работа, со технолошка шема претставена на сл.2.1.8. Потребното количество на воздух се шмука од атмосферата преку постројката за прочистување 1 (филтер) на воздухот, која во исто време претставува и придушувач на бука. Од постројката за прочистување, воздухот навлегува во компресорот 2, каде му се зголемува притисокот. Во ГТП со поголема инсталирана единечна моќ, каде постои дво или повеќестепено компримирање, се предвидува меѓуладење на воздухот со помош на вода, во ладилници за воздух 3.

Компримираниот воздух од компресорот се потиснува кон комората за согорување 5, преку рекуператорот 4 во кој тој се догрева одземајќи ја топлината од продуктите на согорување, кои излегуваат од турбината. Едноставните ГТП, заради намалување на цената, не ги содржат ладилникот за воздух 3 и рекуператорот 4, а исто така и постројката за утилизација на топлината на продуктите на согорување 9.



Сл. 2.1.8. Технолошка шема на ГТП со отворен процес на работа.

1-филтер за воздух; 2-компресор; 3-ладилник за воздух; 4-рекуперативен загревач; 5-комора за согорување; 6-довод на гориво; 7-гасна турбина; 8-цевковод за гасови; 9-постројка за утилизација на енергијата; 10-оџак; 11-Електрогенератор.

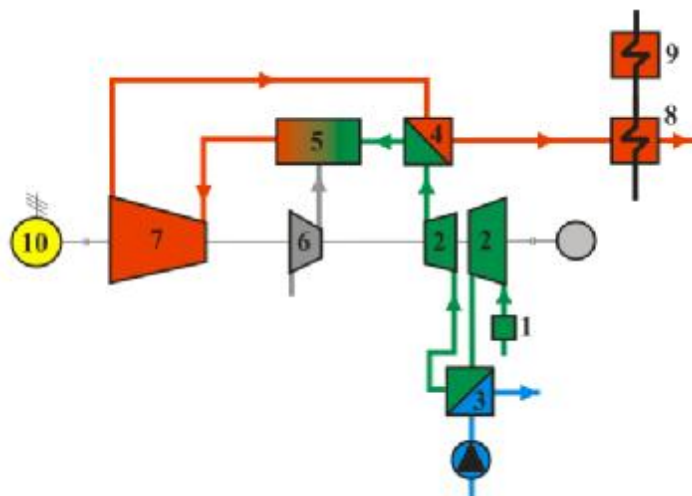
Во комората за согорување навлегува загреан компримиран воздух и гориво кое се впрскува со пумпа во колку е течно или со компресор ако е гасно. При согорувањето на горивото со помош на компримираниот воздух, се ослободува топлинска енергија која ја зголемува енергијата на продуктите

на согорување кои од комората излегуваат со висока температура. Продуктите на согорување од комората се внесуваат во гасната турбина 7, каде нивната потенцијална енергија се трансформира прво во кинетичка, а после во механичка работа, во вид на вртење на вратилото на турбината. Во електрогенераторот 11 механичката енергија се трансформира во електрична. Напуштајќи ја турбината гасовите поминуваат низ рекуператорот 4, цеководот 8, постројката за утилизација на енергијата на излезните гасови 9, која може да биде на пример бојлер за топла вода од топлификациониот систем и преку оцакот се исфрлаат во атмосферата.

Кај ГТП, во однос на парнотурбинските постројки, постојат две основни разлики и тоа:

- работниот флуид низ целиот кружен циклус не ја менува агрегатната состојба, туку останува во гасна состојба, и
- зголемувањето на притисокот на работниот флуид се врши во гасна состојба со помош на компресор.

Со примена на компресорот значително се зголемува работата потребна за компримирање на работниот флуид во однос на работата што се доведува кон напојната пумпа и таа изнесува 60÷70 % од работата добиена во турбината.



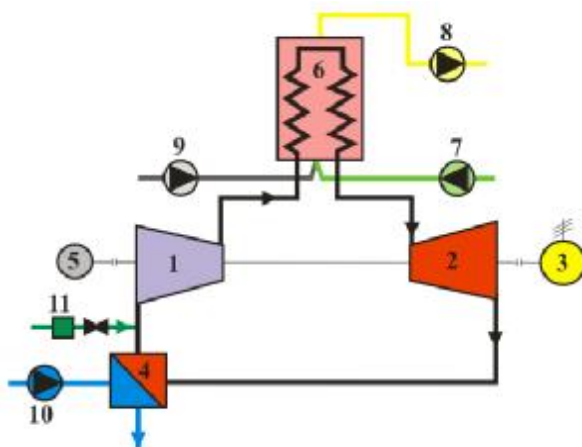
Сл. 2.1.9. Принципиелна топлинска шема на ГТП со отворен процес на работа.

1-филтер; 2-компресор; 3-ладилник; 4-рекуперативен загревач; 5-комора за согорување; 6-пумпа за гориво; 7-гасна турбина; 8-изменувач на топлина; 9-врвен котел; 10-електрогенератор.

На сл.2.1.9. е дадена принципиелна топлинска шема на ГТП со отворен процес на работа, а на сл.2.1.10. на ГТП со затворен процес на работа.

Кај ГТП со отворен процес на работа, воздухот што се зема од атмосферата и се компримира во компресорот 2, служи и како воздух за согорување на горивото и како работен флуид, што значи дека нема размена на топлина преку некоја топлоразменувачка површина, туку горивото директно се впркува во компримираниот воздух.

Кај ГТП со затворен процес на работа (сл.2.10.), избраниот гас како работно тело врши кружен процес. После компримирањето работниот флуид се носи во изменувачот на топлина 6 (котел), во кој му се зголемува температурата. Од него се носи во гасната турбина, каде експандира, потоа во ладилникот каде се лади и повторно внесува во компресорот, со што кружниот циклус се затвора. Во оваа гасотурбинска постројка се користи воздух како работно тело.



Сл. 2.1.10. Принципиелна топлинска шема на ГТП со затворен процес на работа.

1-компресор; 2-гасна турбина; 3-електрогенератор; 4-ладилник; 5-електромотор; 6-загревач; 7-вентилатор за воздух; 8-вентилатор за излезни гасови; 9-пумпа за гориво; 10-пумпа за вода за ладење; 11-филтер за воздух.

Предности на ГТП со затворен процес на работа во однос на ГТП со отворен се:

- можност за примена на било кој вид на гориво, бидејќи продуктите на согорување не се мешаат со работниот флуид,
- не постои опасност од корозија на виталните елементи од турбината и постројката, заради чистотата на работниот флуид.

Недостатоци на ГТП со затворен процес на работа (предности на ГТП со отворен процес на работа) се:

- многу голема површина на изменувачот на топлина, комората за согорување, а со тоа и многу поскап во однос на комората за согорување на ГТП со отворен процес на работа,
- неопходна потреба од ладење на работниот флуид, односно зависност од средство за ладење и поскапување на постројката за уште еден гломазен изменувач на топлина. Кај ГТП со отворен процес на работа не постои ладење, туку едноставно продуктите на согорување се исфрлаат во атмосферата.

2.1.3.3.4. Топлинска шема на нуклеарна парнотурбинска постројка

Со пуштањето на првата експериментална нуклеарна централа во СССР во 1954 година, започнува нова ера во развојот на енергетиката.

Основна карактеристика на нуклеарните термоенергетски постројки е таа што топлината потребна за загревање на работниот флуид (*пара* или *гас*) не се добива со трансформација на хемиската енергија на фосилните горива (со согорување), туку од енергијата што се добива со цепање на јадрата на тешките атоми (фисија). Постројките во кои енергијата што се добива со процесот на фисија се користи во вид на топлинска енергија, се нарекуваат *нуклеарни реактори*.

Основно нуклеарно гориво е *уранот*. Природниот уран претставува смеса на три изотопи: U-234 (0,006 %), U-235 (0,711 %) и U-238 (99,283 %). Единствено фосилно гориво кое може да се користи во неговиот природен облик е U-235, но бидејќи U-235 во природниот уран е присутен само со 0,711 %, долгогодишниот развој на нуклеарната енергетика се засновува на вештачките нуклеарни горива *плутониум* (Pu-239) и урановиот изотоп U-233. Фисибилните изотопи Pu-239 и U-233 се добиваат во нуклеарните реактори, тн. *реактори размножители* и тоа: Pu-239 од U-238, а U-233 од Th-232.

Количеството на топлина што се добива со процесот на фисија во реакторите е многу големо и изнесува $7,96 \cdot 10^{10}$ kJ на 1 kg U-235 и е околу 2,5 милиони пати поголемо од онаа на фосилните горива.

Процесот на цепање на јадрата на тешките атоми е проследен со емисија на α , β и γ зраци и затоа е потребна целосна заштита на луѓето од штетните влијанија на овие зраци.

Заштитата од штетното влијание на зраците се остварува со масивна конструктивна заштита на реакторот, која се изработува од бетон со дебелина и до 3÷4,5 m, или од метал (челик, железо, олово). Најчесто применувани видови на реактори се: *водно-водни*, реактори на *тешка вода*, *графитни* и реактори на *брзи неутрони*, тн. *размножители*.

Како работно тело во нуклеарните центри, по правило се користи водена пара која експандира во парна турбина. При тоа парата може да биде прегреана, или сувозаситена, со притисоци до 10 МРа. Парните турбини кај нуклеарните центри се со поголеми моќности (над 500 MW) и со помал број на вртежи (1500, а во САД 1800 min⁻¹).

Во зависност од типот на реакторот и видот на топлоносителот се разликуваат три типа на основни технолошки (топлински) шеми на нуклеарни парнотурбински постројки (сл.2.1.11.) и тоа: *едноконтурни*, *двоконтурни* и *триконтурни*.

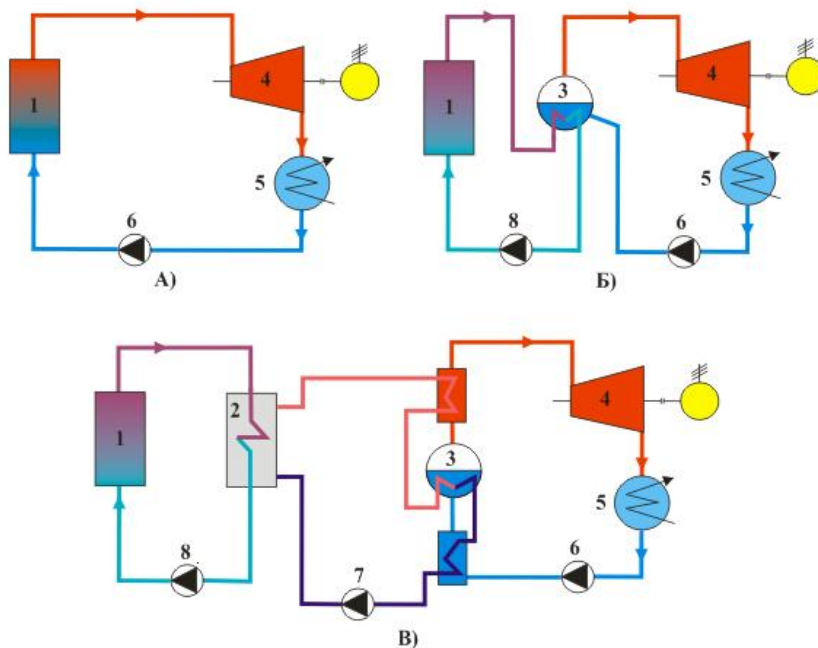
Во *едноконтурната* постројка (сл.2.1.11.а.), разладното средство во реакторот во исто време е и работен флуид во турбината. Оваа шема е најраспространета и кај неа е можно да се примени топлоносител во гасна агрегатна состојба со гасна турбина.

Во *двоконтурните* постројки (сл.2.1.11.б.) разладното средство во реакторот не е работен флуид низ турбината. Разладното средство во реакторот, во генераторот на пара ја оддава топлината (примена во реакторот) на водата, како работно средство во втората контура, која испарува и се носи во турбината. Генераторот на пара е уред што влегува во составот на првата и втората контура.

Во *триконтурните* постројки (сл.2.1.11.в.), помеѓу контурата на средството за ладење на реакторот и контурата на работниот флуид низ турбината, постои и трета заштитна контура, во која циркулира заштитно средство.

На сл. 2.1.12. е прикажана принципиелна топлинска шема на двоконтурна парнотурбинска нуклеарна постројка.

Во *првата* контура струи флуид, чија основна задача е да го лади нуклеарниот реактор. При процесот на цепање на јадрата на тешките атоми, се ослободува топлина, која ја зголемува температурата на реакторот. Во колку така ослободената топлина не се одземе со ладење, може да дојде до топење на елементите на реакторот и до негова хаварија. Како средство за ладење на реакторот се користи: *обична вода*, *тешка вода* (деутериум оксид), *гас* или некои специјални *органиски материји*, а може да се користи и *течен метал* (калиум, натриум, олово, бизмут или нивни легури).



Сл. 2.1.11. Топлински шеми на нуклеарни парнотурбински постројки.

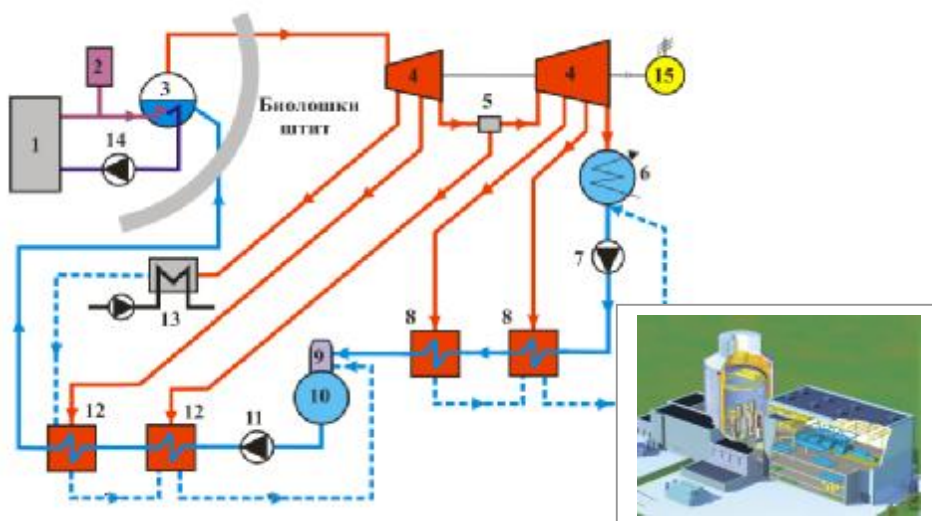
a-едноконтурни; *б*-двоконтурни, *в*-триконтурни.

1-нуклеарен реактор; *2*-изменувач на топлина; *3*-парогенератор; *4*-турбоагрегат; *5*-кондензатор; *6*-пумпа; *7*-циркулациона пумпа за втората контура; *8*-циркулациона пумпа за третата контура.

Најчесто како средство за ладење се користи обична вода. Со помош на циркулациона пумпа 14 водата се потиснува низ реакторот 1, при што истата се загрева, а реакторот се лади. Заради промена на волуменот на водата при загревање, во кругот од првата контура се вградува компензатор 2. Загреаната вода во реакторот се носи во генераторот на пара 3, каде се лади, т.е. ја предава топлината на работниот флуид од втората контура. После ладењето во генераторот на пара, со помош на циркулационата пумпа, водата повторно се враќа во реакторот, со што се повторува циклусот во првата контура.

Низ *втората* контура циркулира работниот флуид (вода во разгледуваниот случај), или некој гас (Не или CO₂) во случај турбината да биде гасна. Водата од втората контура, во генераторот на пара, испарува благодарение на топлината предадена од водата во првата контура и како сувозаситена пара навлегува во високопритисниот дел на парната турбина 4. Бидејќи парата на

влезот е сувозаситена, експандирајќи низ турбината, многу бргу ја достигнува гранично дозволената влажност (до 12%) и затоа е потребно од неа да се отстрани водата.



Сл. 2.1.12. Топлинска шема на двоконтурна нуклеарна парнотурбинска постројка.

1-реактор; 2-компензатор; 3-генератор на пара; 4-парна турбина; 5-сепаратор на водни капки; 6-кондензатор; 7-пумпа за кондензат; 8-нископритисен загревач; 9-дегазатор; 10-напоен резервоар; 11-напојна пумпа; 12-високопритисен загревач; 13-загревач на вода за грееење; 14-циркулациона пумпа; 15-електрогенератор.

Отстранувањето на водата се врши во сепаратор на водни капки 5, во кој водата се издвојува од парата. Водата, т.е. кондензатот од сепараторот се носи во високопритисните регенеративни загревачи, а парата која е веќе исушена, односно повторно е со состојба на сувозаситеност, но со понизок притисок, се носи во нископритисната турбина. Во неа парата дополнително експандира до кондензаторски притисок, при што повторно ја достигнува гранично дозволената влажност.

Во кондензаторот парата ја менува агрегатната состојба, односно кондензира, одвојувајќи ја латентната топлина на водата наменета за ладење на кондензаторот. Создадениот кондензат, со помош пумпата за кондензат 7, низ нископритисните регенеративни загревачи 8, се потиснува кон дегазаторот. Во нископритисните загревачи, со помош на парата што се одзема од

турбината, се врши регенеративно загревање на основниот кондензат. Во дегазаторот од основниот кондензат се отстрануваат гасовите O_2 и CO_2 , а кондензатот од напојниот резервоар 10, со помош на напојните пумпи 11, се потиснува низ високопритисните загревачи 12 кон генераторот на пара 3, со што се затвора кружниот циклус на втората контура.

Од високопритисната турбина се одзема пара за регенеративно загревање на напојната вода и по потреба за загревање на водата од топлификационата мрежа (основен бојлер 13).

Циклусите од првата и втората контура се потполно одвоени меѓу себе. Во нуклеарните термоцентрали, помеѓу двете контури, се наоѓа заштитен сид, со кој се спречува радиоактивното зрачење од реакторот. Тоа значи дека елементите од првата контура се сместени во овој заштитен сид и со нив се управува од надвор од заштитниот сид. Во случај на потреба од интервенција на луѓе во првата контура, постројката мора да се запре, да се изврши деконтаминација и дури тогаш да се пристапи кон отстранување на дефектот.

Во случај на едноконтурна постројка, каде носителот на топлина во исто време е и работен флуид, целата постројка е оддалечена со сид, бидејќи таа целосно е контаминирана. Во случај на дефект на било кој елемент, не само на реакторот, туку и на турбинската постројка, потребно е постројката да се запре, целата да се деконтаминира од луѓе специјално за тоа обучени, па потоа да се пристапи кон отстранување на дефектот.

Ако се споредат парнотурбинските постројки на нуклеарно и фосилно гориво, ќе се заклучи дека во принцип тие се исти, освен што во едниот случај изворот на топлина е нуклеарниот реактор, а во вториот котелот. Кај двоконтурните нуклеарни постројки, како дополнителни елементи се појавуваат: *генераторот* и *механичкиот сепаратор* на пара. Бидејќи овие два елементи по конструкција се сложени како и нуклеарниот реактор, а исто така заради потребата од примена на заштитен слој, нуклеарната постројка е значително поскапа од постројките на фосилно гориво. Сепак, нивната основна предност е тоа што се карактеризираат со голема концентрација на енергија во нуклеарното гориво, така да произведената електрична енергија е поефтина во однос на постројките на класично гориво.

2.2. КОТЕЛСКИ ПОСТРОЈКИ

2.2.1. Видови котелски постројки

Котелската постројка е една од основните постројки во процесот на добивање на електрична енергија. Во котелот согорува горивото, а при тоа добиената топлина се предава на водата и парата во котелот. Со тоа се наголемува потенцијалната енергија на работниот флуид (вода или пара).

Котелските постројки можат да се поделат во две основни групи:

- со голема содржина на вода,
- со водогрејни цевки.

Во првата група спаѓаат котлите со една и две пламени цевки, котли со пламено-гасни цевки, котли со гасни (чадни) цевки, локомотивни и други.

Во втората група котлите се карактеризираат со високи почетни параметри и голема производителност (капацитет). Основни видови се:

- котли со коси водогрејни цевки,
- котли со стрмни водогрејни цевки,
- специјални котли (со присилно прострујување, со присилна циркулација, Шмидов, Велокс и др.).

Котлите може да се поделат во однос на горивото кое согорува во нив. Кога како гориво се употребува јаглен, потребно е да има решетка во огништето на котелот каде тој би согорувал, уред за дотурање на јагленот и постројка за отстранување на згурата. Ако согорувањето е во вид на јагленов прав, потребни се мелници за мелење на јагленот и посебни постројки за негово внесување во огништето. Исто така и самата конструкција на котелот се прилагодува кон горивото (на пример сушењето на јагленовиот прав може да се изведе со рецикулација на гасови, а може и со загреан воздух). Во случај на употреба на течено гориво како мазут, кој што има значително повисока долна топлинска моќ, се менува конструкцијата на огништето, а потребни се горилници кои треба да го распрскаат мазутот на ситни капки за да може целосно да согори. Во овој случај нема мелници, ниту е потребно да се отстранува згурата или пепелта.

2.2.2. Основни елементи на котелската постројка

Котелската постројка се состои од: *котелен агрегат* и *помошни уреди*. Основни елементи на котелскиот агрегат се (сл.3.1): *огниште*, *испарувач*, *прегревач на пара*, *загревач на вода* и *загревач на воздух*.

Огништето е дел од парниот котел во кое се врши ослободување на хемиски врзаната енергија во горивото и нејзино трансформирање во топлинска енергија на продуктите на согорување. Според тоа огништето мора да задоволи два основни услови и тоа:

- да овозможи што попотполна трансформација на хемиски врзаната енергија во горивото во топлинска енергија на продуктите на согорување,
- ладење на продуктите на согорување до температура со која тие можат да се воведат во конвективните загревни површини.

Концепцијата на огништето зависи од видот и квалитетот на горивото и топлинскиот капацитет. Заради тоа огништата по својата концепција се разликуваат меѓу себе, што е посебно изразено кај огништата за согорување на цврсти горива.

Испарувачот, или котел во потесен смисол на зборот, е дел од парниот котел во кој се врши испарување на водата. Количината на апсорбирана топлина е обратно пропорционална со притисокот кој владее во котелот и затоа при пониски работни притисоци, заради повисоката латентна топлина, за испарување се троши поголемо количество на топлина. Испарувачот најчесто се состои од: систем на екрански цевки, цилиндар и конвективен сноп на цевки. Предавањето на топлината се врши со зрачење.

Прегревачот на пара е елемент на парниот котел во кој се врши прегревање на парата од температура на заситување до температура на прегревање. Во прегревачот на пара температурата на работниот флуид е највисока во однос на останатите загревни површини.

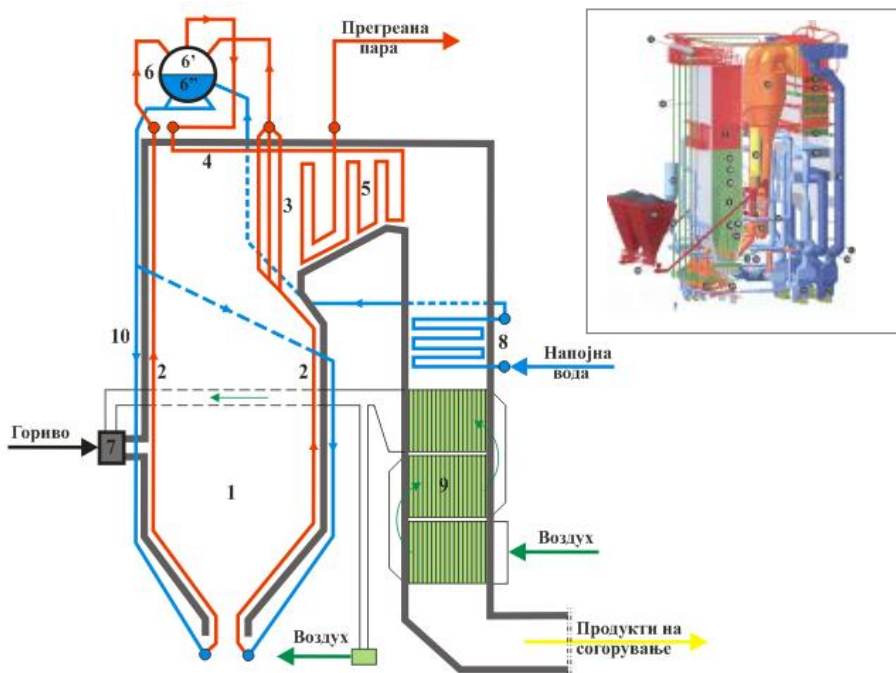
Во поглед на предавањето на топлината прегревачите на пара можат да бидат: чисто конвективни, конвективно-озрачени и чисто озрачени.

Кај постарите конструкции на парни котли со ниски параметри на парата, прегревачот на пара бил чисто конвективен, додека кај современите конструкции на парни котли со високи параметри на парата се применуваат и озрачени прегревачи на пара.

Загревачот на вода има за задача да ја покачи температурата на напојната вода и во краен случај да ја доведе до температура на вриење, па

дури во него да испари еден дел од водата. Во загревачот на вода предавањето на топлина се врши исклучиво по пат на конвекција, со исклучок на специјалните котли со највисоки притисоци. Кај современите котли загревачот на вода станува неопходен составен дел на котелот, бидејќи без него котелот би работел со поголема загуба на топлина со излезните гасови.

Загревачот на воздух е втора дополнителна загревна површина, која се наоѓа на крајот на гасниот канал и затоа често се нарекува и *излезна загревна површина*. Негова задача е да ја зголеми температурата на воздухот што се користи за согорување на горивото во огништето. Втора корист е таа што со неговото воведување се врши понатамошно снижување на температурата на излезните гасови, а со тоа и до зголемување на коефициентот на полезно дејство на котелот. Обично за секои $20\div 25$ °C загревање на воздухот се добива заштеда од приближно 1% на гориво. Според тоа во секој современ котел треба да има загревач на воздух.



Сл. 2.2.1. Шема на парен котел со природна циркулација.

1-огниште; 2-екрански цевки; 3-конвективен споп на цевки; 4-озрачен дел на прегревачот на пара; 5-прегревач на пара; 6-цилиндар (6'-парен простор; 6''-воден простор); 7-горилник; 8-загревач на вода; 9-загревач на воздух; 10-цевки за слегување на водата.

2.2.3. Техничка експлоатација на котелските постројки

За обезбедување на сигурна, надежна и економична работа на котелската постројка, неопходно е потребно правилно организирање на нејзината експлоатација и опслужување.

При експлоатацијата на котелската постројка потребно е да се осигура:

- сигурна работа на основната и помошната опрема,
- постигнување и одржување на номиналните параметри, како притисок, температура и производство на пара (капацитет),
- економичен режим на работа, висок коефициент на полезно дејство (КПД) при номинално оптоварување на котелот.

2.2.3.1. Хемиско чистење на котелот

При првото воведување на котелот во работа, по завршената монтажа, потребно е котелскиот агрегат, заедно со основните цевоводи и останатите елементи од системот за напојување, да се исчистат по хемиски пат. Котлите со работен притисок <10 МРа, се прочистуваат со базен (алкален) раствор.

Имено, при монтажата на основните елементи од котелот, во внатрешноста на цевките, а исто така и во резервоарот за напојна вода остануваат нечистотии. Нечистотијата се состои пред се од згура создадена при заварувањето, потоа песок, масло и тн. Ако не се изврши нејзино отстранување се формира талог во кој има и железен оксид и силициум, кој може да предизвика пробивање на цевките на котелот, попречување на работата на арматурата за затворање и др. Овој талог исто така може да биде однесен и во турбината, при што би ги оштетил турбинските лопатки.

Технологија на чистење се состои од редица операции и тоа:

- миење со вода, со цел отстранување на механичките нечистотии, а после хемиското прочистување, миењето со вода има за цел истиснување на употребените раствори за хемиско чистење,
- миење со алкален раствор (NaOH каустична сода и Na_3PO_4 тринатриумфосфат) за отстранување на маслото, силициумот и другите нечистотии од површината на металот,
- кисело промивање, што е основна операција на хемиското чистење, се извршува со помош на раствори на повеќе видови минерални и органски киселини (HCl , лимунова киселина и др.) и служи за отстранување на железните оксиди.

Веднаш по извршеното хемиско прочистување, или промивање, потребно е да се преземат мерки за заштита на загревните површини од корозија при стоење. За таа цел се применува постапка на *пасивизација* - создавање на заштитен слој на чистите метални површини со раствор за пасивизација (натриумнитрат NaNO_3 , хидрозинхидрат $\text{N}_2\text{H}_4\text{H}_2\text{O}$).

Пред да се започне со потпалување на котелот, било да е тоа негово прво пуштање во работа, после ремонт или подолготрајно стоење, потребно е да се провери исправноста на котелот и помошните уреди, како и исправноста на арматурата, мерните и регулационите уреди. Не е дозволено пуштање на котелот во експлоатација при неисправна заштита.

2.2.3.2. Визуелен преглед на котелската постројка

При овој преглед на котелската постројка треба:

- Пред да се пушти котелот во работа да се провери дали се завршени и соодветно изведени сите монтажни, електрични, градежни, изолациони и други работи.
- Да се разгледа внатрешноста на огништето, каналите за продуктите на согорување и електрофилтерот (доколку го има), со цел да се провери дали во нив се оставени монтажни скелиња, алат и други предмети. Исто така задолжително детално треба да се провери дали во котелот има луѓе. Проверката се врши со повеќекратно гласно викање со одсив.
- Да се прегледа и поправи состојбата на горилниците, појасот на палење, инсталацијата за внесување на аеросмесата во котелот, херметичноста на затворањето на сите отвори и шахти, а исто така задолжително треба да се затворат сите влезни и контролни отвори на котелот.
- Во каналите за гасови да се провери исправноста на сите органи за регулирање. Треба да се провери дали со отворањето на соодветните клапни, под дејство на природната влеча (провев), вентилаторите за излезни чадни гасови се вртат, или не. Во колку се вртат, треба да се вклучат и пумпите за масло.
- Да се наполни кадата за згура со вода (доколку котелот ја има) и да се вклучи во работа преливниот вентил. Да се наполнат коритата со вода наменети за затнување на котелот.
- Да се изврши контрола на состојбата на постројките за отстранување на пепелта и згурата.

- Да се отворат сите одводнувања на прегревачите на пара и сите места за обезвоздушување на прегревачите и цилиндарот. Исто така да се отворат сите арматури за мерните инструменти.
- Да се провери состојбата и готовноста на постројката за подготовка на јагленот во прав, или проверка на состојбата на цевоводите за мазут со соодветната арматура и исправноста на горилниците за мазут.
- Да се изврши проверка на исправноста на заштитата на котелот, заштитата на помошните уреди, системот за далечинско управување со арматурата, а исто така и со системот за далечинско управување со клапните за воздух и чадни гасови.

2.2.3.3. Полнење на котелот со вода и негова подготовка за водена проба на ладно

После проверката на целата опрема, уредите и инсталациите погоре опишани, се пристапува кон полнење на котелот со вода. Полнењето на котелот со вода во ладна состојба се врши низ загревачот на вода со загреана дегазирана вода со температура меѓу 40÷70 °C. Загревањето на водата се врши во напојниот резервоар.

Времето на полнење на котелот со вода може да изнесува 1÷2 часа, при што лете тоа е пократко, а зиме подолго. За да се избегне појава на значителни термички напрегања во цилиндарот на котелот и екранските цевки, разликата помеѓу температурата на металот и водата во моментот на полнење, не треба да биде поголема од 40 °C.

За време на полнењето на котелот со вода, истовремено се врши проверка на затнатоста на спојниците и арматурата. При појава на течење, неопходно е потребно спојниците да се притегнат, а во колку и тоа не помогне треба да се испушти водата до ниво на течење и целата спојница да се замени.

После полнењето на котелот со вода неопходно е потребно да се провери одржувањето на нивото на вода во цилиндарот. Во колку нивото на вода опаѓа со времето, треба да се најде местото на пропуштање и истото да се одстрани.

Полнењето на котелот со дегазирана вода се врши со помош на напојната пумпа. После полнењето на котелот се затвораат вентилите за обезвоздушување, почнувајќи од цилиндарот на котелот. После целосното полнење на котелот и затворањето на последниот вентил за обезвоздушување, се преминува кон зголемување на притисокот во котелот со брзина од 1÷1,5 bar/min.

Оваа брзина треба да се задржи и при намалувањето на притисокот по извршената проба на ладно.

За проверка на затнувањето на котелот на ладно, пробниот притисок се покачува на големина 25 % поголема од работниот притисок, за котли со работен притисок >5 bar и 50 % за котли со работен притисок <5 bar. Пред да се изврши проба на ладно треба да се блокираат сигурностните вентили. Зголемениот притисок при извршување на пробата на ладно треба да се задржи најмалку 10 min, а потоа истиот да се намали на номиналниот притисок. После тоа се врши визуелен надворешен преглед на котелот (низ влезните и контролните отвори).

По извршената проба на ладно сигурносниот вентил се деблокира, а се вршат и следните работи: манометрите се поставуваат во работна состојба, се отвораат вентилите за пара и напојна вода, вентилите за соединување на парниот и водениот простор во цилиндарот и др.

2.2.4. Пуштање на котелската постројка во погон

2.2.4.1. Подготовка на помошните уреди на котелот за пуштање во погон

За успешно пуштање на котелот во погон неопходно е потребно да се изврши подготовка на помошните уреди, како што се:

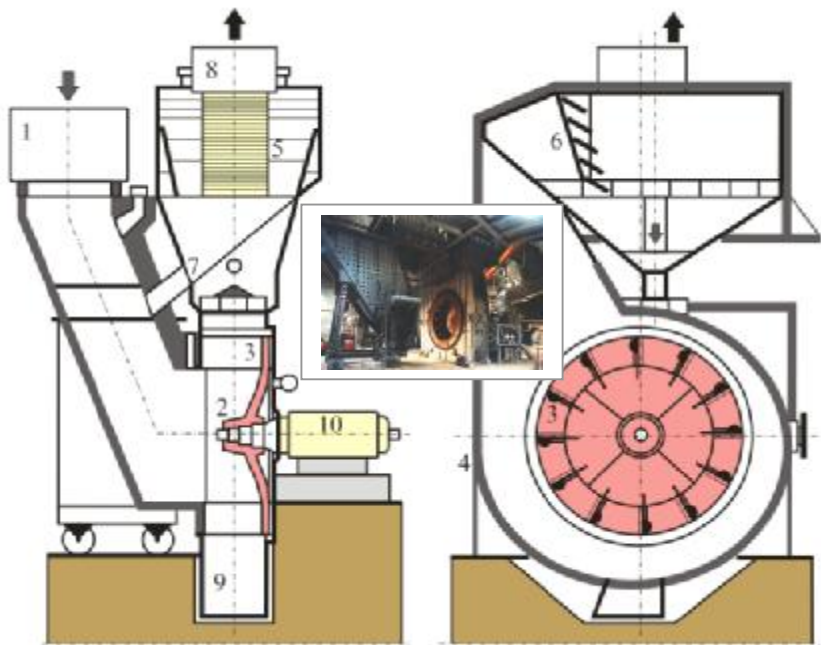
Пумпата за напојна вода, се подготвува во склад со погонско-техничкото упатство,

Загревачот на воздух (Љунгстрем). Прво се врши проверка на маслото во редукторот и во лежиштата, потоа се врши визуелна проверка на коморите, за да се види дали останале предмети од време на монтажата и на крајот се отвора доводот на вода за ладење на лежиштата. По извршените горе наведени проверки, загревачот се вклучува во работа.

Вентилаторот за чадни (излезни) гасови. Прво се вклучува помошната пумпа за масло, а после главната пумпа за масло. По влегување во погон на главната пумпа за масло се врши регулација на притисокот на масло наменето за подмачкување на лежиштата. Пред да се вклучи вентилаторот во работа се проверува функционирањето на прекинувачот. При тоа лопатките од страната на всис на вентилаторот треба да бидат затворени, додека клапаната од оцакот треба да биде отворена. После тоа се вклучува вентилаторот во работа при што се врши проверка на вибрациите во лежиштата на роторот и правилната работа на вентилаторот.

Вентилатор за воздух. Пред да се пушти вентилаторот во погон треба да се изврши проверка на уредите за управување со вентилаторот од командниот пулт, односно, лопатките на всис се затвораат, а на потис отвораат, се проверува насоката на вртење, после тоа вентилаторот се вклучува, при што се контролира неговата работа.

Мелници за јаглен (сл. 2.2.2). Подготовката за пуштање на мелниците за јаглен во погон опфаќа: проверка на нивото на масло во кукиштето на лежиштата, се затвораат сите влезни и контролни отвори на мелницата, се прави проверка на заштитата на мелницата и додавачот. После тоа мелницата се пушта во работа, при што времето за нејзино задвижување не треба да биде поголемо од 70 s. По влегување во погон се контролираат вибрациите и правилната работа на вентилаторот.



Сл. 2.2.2. Вентилаторска мелница (мелница со ударно тркало).

1-довод на јаглен и гасови; 2-ударно тркало; 3-ударни плочи; 4-тело на мелницата; 5-инерцијален сепаратор; 6-регулациони клапни; 7-одвот за враќање на грубо сомелените честички; 8-излез на аеросмесата; 9-канал за собирање на металните делови; 10-дводелно лежиште

2.2.4.2. Пуштање на котелската постројка во погон (работа)

Пуштањето на котелската постројка во работа претставува нестационарен режим, при кој буквално сите елементи претрпуваат максимални топлински промени. Битна карактеристика при тоа е зависноста на топлинските напрегања од брзината на промената на температурата, т.е. интензитетот на доведување на топлина.

Сосотојбата уште повеќе се усложнува ако се има во предвид нееднаквоста на масата и конструкцијата на одделните елементи и различните услови на доведување на топлина. Како резултат на тоа можат да се појават локални нееднакости на температурното поле и локални зголемувања на топлинските напрегања.

Во исто време постои потреба од брзо воведување на помошната опрема во работа и максимално скратување на времето на влегување во погон, што единствено може да се постигне со скратување на времето на загревање на елементите. Освен тоа при секое пуштање во работа се тежи да се смалат до минимум загубите на гориво и кондензат.

Многубројните состојби во кои може да се најде котелската постројка (термоенергетската постројка) во однос на пуштањето во погон, обично се делат на две категории и тоа:

- пуштање во погон од *ладна* состојба,
- пуштање во погон од *топла* состојба

"*Ладна состојба*" се нарекува состојбата на опремата после подолготраен прекин на работата, кога котелот е потполно оладен а притисокот во него е блиску до атмосферскиот. Оваа состојба се постигнува обично после 3÷5 дена прекин на работа.

"*Топла состојба*" се нарекува состојбата на опремата при прекин на работа до 8 часа, кога во котелот се уште се одржува надпритисок.

2.2.4.2.1. Пуштање во погон на котли со цилиндар

Процесот на пуштање во работа на котелот се одвива во три фази:

- полнење на котелот со вода,
- потпалување и обезбедување на постојан режим на согорување во огништето,
- постепено зголемување на параметрите на парата (температура и притисок) до големина на номиналните.

Процесот на пуштање на котлите со цилиндар се разликува од процесот на пуштање на проточните котли.

Како што е погоре речено полнењето на котлите со цилиндар со вода треба да се изврши со заштита на цилиндарот од температурни напрегања. Дополнителни напрегања во цилиндарот на котелот се појавуваат и заради разлика на температурата меѓу врвот и дното на цилиндарот, односно парниот и водниот простор. Тоа доведува до појава на аксијални, радијални и механички напрегања на цилиндарот.

Според експерименталните испитувања се покажало дека надежен температурен режим на цилиндарот, при пуштање во работа на котли со цилиндар, се добива при следните услови:

- брзина на зголемување на температурата во парниот простор $2 \div 2,5$ °C/min при притисок во цилиндарот < 2 МПа,
- брзина на зголемување на температурата во парниот простор $1,5 \div 2$ °C/min при притисок во цилиндарот > 10 МПа,
- разлика на температурата меѓу врвот и дното на цилиндарот да не биде повисока од $40 \div 60$ °C,
- разлика на температурата на водата и металот во цилиндарот да не биде повисока од 40 °C.

При нарушување на правилното пуштање на котлите со цилиндар, доаѓа до значителни оштетувања на цилиндарот, како што се пукнатини околу отворите на цевките и во приклучоците.

За смалување на температурните нерамномерности во цилиндарот често се применуваат специјални постапки за негово ладење, како што се: примена на заситена пара од друг котел, со сопствена пара и тн.

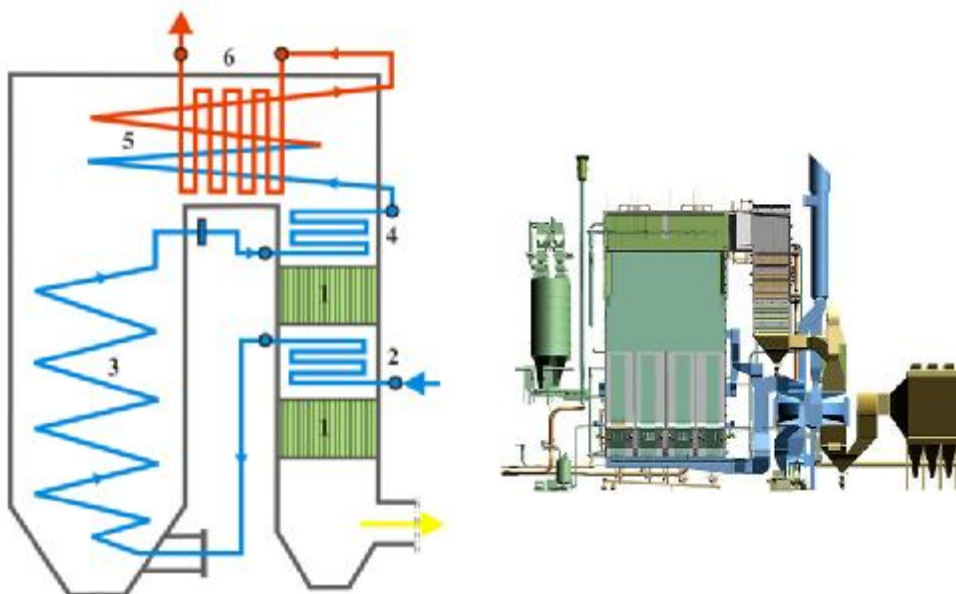
Друг елемент од котелот со цилиндар на кој треба да му се посвети посебно внимание при пуштање на котелот со цилиндар во работа е *прегревачот на пара*. Заради незначителното количество на пара што поминува низ прегревачот на пара за време на пуштањето, нејзината брзина е намалена, а со тоа и коефициентот на преминување на топлината се намалува за $8 \div 10$ пати во однос на нормалниот. Тоа доведува до брзо зголемување на температурата на сидот на цевките и нивно прегревање. За ладење на цевките на прегревачот на пара се врши нивно продувување со пара, чија потрошувачка се движи на ниво од околу 5% , а во почетокот и 20% , при притисок во цилиндарот од 8 МПа. Парата за продувување во прегревачот на пара се внесува преку постројката за придушување и ладење.

Процесот на пуштање на котелот завршува со постигнување на номиналните параметри на парата и приклучување на котелскиот агрегат кон магистралниот паровод.

Потпалувањето на котлите што работат на гасно гориво лесно се изведува, како резултат на квалитетот на гасното гориво. Кај котлите што работат на цврсто гориво невозможно е потпалување на горивото, без претходно загревање на огништето. Загревањето на огништето кај овие котли претходно се врши со гориво за потпалување (течно или гасно) и создавање на температура во огништето доволно висока за запалување на цврстото гориво. Обично овие котли преминуваат да работат на основното гориво кога ќе се постигне најмалку 30% од оптоварувањето на котелот.

2.2.4.2.2. Пуштање во погон на проточни котли

Технологијата на пуштање во работа на проточните котли се разликува од пуштањето во работа на котлите со цилиндар. Во овие котли се постигнува еднократна принудна циркулација на работното тело. Поради тоа при пуштање во работа неопходно е потребно да се обезбеди непрекинато принудно движење на работното тело низ загревните површини со истовремено одведување на парата од котелот (сл. 2.2.3).



Сл. 2.2.3. Проточен котел – „Рамзин“.

Во такви услови режимот на пуштање на котелот во работа во целост се определува во зависност од надежноста на загревните површини, како што се: *екранските цевки и прегревачите на пара.*

Експериментите покажале дека загревањето на загревните површини, при пуштање во работа на проточните котли, е сигурно (надежно) ако протокот на вода при пуштање изнесува не помалку од 30% од номиналниот проток.

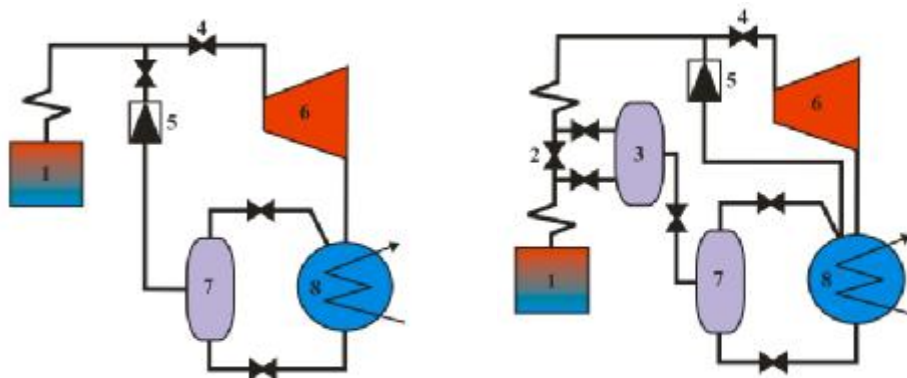
Минималниот притисок на работното тело во екранските цевки при тоа треба да се одржува близу до номиналниот, односно:

- за котли од 14 МРа на ниво од 12 ÷13 МРа,
- за котли со наткритичен притисок на ниво од 24 ÷25 МРа.

Пуштањето во погон на проточните котли може да биде во два режима:

- *проточен* режим на пуштање во работа,
- *сепарационен* режим на пуштање во работа.

При *проточниот* режим на пуштање во работа од ладна состојба, работното тело се движи низ сите загревни површини на котелот, како и при неговата работа под оптоварување. Во почетокот на пуштање во работа, работното тело се изнесува од котелот низ РОП (постројка за придушување и ладење), сл.2.2.4.а., а по создавањето на пара, со потребните параметри, се насочува кон магистралниот паровод, или кон парната турбина.



Сл. 2.2.4. Принципиелна шема на пуштање во работа на проточни котли.

а - Проточен режим на пуштање

б - Сепарационен режим на работа

1-котел; 2-вентил; 3-сепаратор; 4-вентил за пара; 5-РОП (постројка за придушување и редуција); 6-турбина; 7-помошен експандер; 8-кондензатор; 9-прегревач; 10-напојна пумпа

Заради наголемување на параметрите на пара при проточниот режим на пуштање во работа, потребно е работното тело да се загрева низ целиот тракт, што е поврзано со трошење на значително количество на гориво.

Исто така заради значителната потрошувачка на вода за смалување на температурата на металот на прегревачите на пара, а со тоа и на гориво, проточниот режим на пуштање во погон на котелот од „ладно“ нема никакви предности во однос на сепарациониот и затоа денес тој ретко се применува.

Проточниот режим на пуштање на котелот во работа од „топла состојба“ создава опасност од нагло ладење на најзагреаните делови на котелот и пароводите и затоа овој режим и од топла состојба се заменува со сепарациониот режим. Единствена област на примена на овој режим на пуштање во работа е пуштање од топла состојба по прекин на работа до еден час.

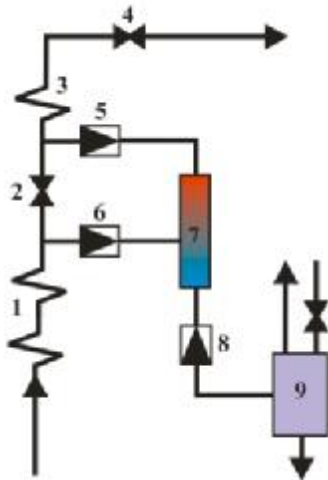
За пуштање на котелот, по прекин до 1 час, по проточниот режим не се потребни специјални подготовки. Испуштањето на работното тело, во тој случај, во зависност од квалитетот, се врши низ РОП кон кондензаторот за резервна вода, или БРОП кон кондензаторот на постројката, преку главниот вентил за пара 4 до таа големина додека температурата на парата надминува 50 °С над температурата на парата на влезот во турбината. Ако за време на стоење на блокот температурата падне под 50 °С, во тој случај парата се пушта кон турбината.

Во споредба со проточниот, сепарациониот режим на пуштање на котелот во работа се одликува со висока стабилност, релативно ниски температури на работното тело и металот во целиот тракт на котелот, што овозможува пуштање на турбината во работа со лизгање на притисокот.

Сепарациониот режим на пуштање на котелот во работа се постигнува со помош на специјална постројка за пуштање, т.н. *чвор за пуштање* сл.2.2.4.б. и сл.2.2.5. Сепараторот има за задача да ја издвои влагата од парата. Вентилот 2 го раздвојува конвективниот прегревач на пара од испарувачот. За време на пуштање на котелот во работа, главниот вентил 4 е отворен кај блок постројките, а затворен на ТЕЦ со попречни врски.

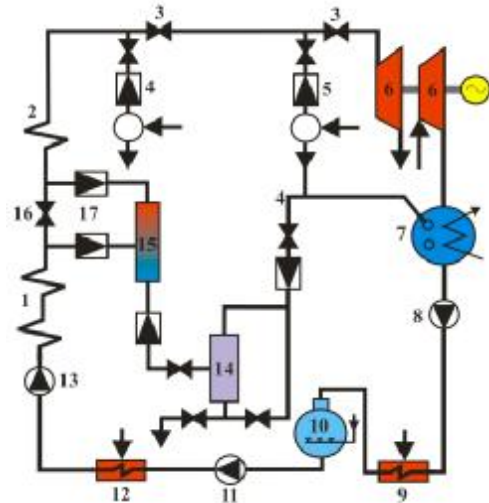
Експандерот 9 е дополнителен уред меѓу сепараторот и постројката за прифаќање на исфрленото работно средство. Притисокот во експандерот се одржува релативно низок (≈ 2 МРа). Работното тело во него навлегува преку постројката за намалување на притисокот 8, после која делимично испарува.

Парата од експандерот 9 се носи во котелот за сопствени потреби, а водата или во резервоарот за резервна вода или во кондензаторот (сл. 2.2.б.). Идеата за сепарационен режим на пуштање на проточните котли во работа се состои во поделба на процесот на пуштање на три фази.



Сл. 2.2.5. Постројка за сепарационен режим на пуштање на котелот во работа.

1-испарувач, 2-вентил, 3-прегревач на пара, 4-вентил, 5,6,8-постројка за намалување на притисокот, 7-сепаратор, 9-експандер.



Сл. 2.2.6. Принципиелна шема на сепарационен режим за пуштање котелската постројка во работа.

1-котел; 2-прегревач на пара; 3,16-вентил; 4,5,17-постројка за придушување и ладење; 6-парна турбина; 7-кондензатор; 8- пумпа за кондензат; 9, 12-загревачи; 11,13-напојна пумпа; 14-експандер; 15-сепаратор;

Во првата фаза на пуштање се организира принудна циркулација на работното тело по затворена контура: напојна пумпа-котел-чвор за пуштање приемник на исфрлената вода (најчесто кондензатор)-напојна пумпа. Со тоа се смалува опасноста од хидраулични удари, а загубите на кондензат и топлина се минимални. Во оваа фаза работното тело не излегува кон прегревачите на пара, т.е. тие се одвоени од испарувачите со придушниот вентил 17 кој е затворен. Без разлика што прегревачите на пара, во оваа фаза, не се ладат од внатре со пара, температурата на металот останува во дозволените граници (со експерименти е измерена температура од 550 °C), заради малата потрошувачка на гориво која се држи на ниво од околу 20% од номиналната.

Исклучувањето на прегревачот на парата во првата фаза на пуштање го упростува маневрирањето и управувањето со котелниот агрегат и после неговото вклучување овозможува брзо зголемување на параметрите и количината на пара.

Почетокот на втората фаза на пуштање се зема од моментот кога во сепараторот 15 започнува да се создава пара, која се носи кон прегревачот, со постепено отворање на вентилот за придушување 17. Во оваа фаза котелот

работи со два притисоци: со „номинален“ до вентилот 16, кој е затворен и „лизгачки“ зад вентилот 17 во прегревачот на пара.

Во *третата фаза* на пуштање котелниот агрегат се преведува во проточен режим на работа. Почетокот на оваа фаза започнува кога ќе се достигнат параметри на парата 80÷85 % од номиналните. Со постепено отворање на вентилот 16 параметрите на парата се доведуваат до номиналните, а постепено се затвора чворот за пуштање.

Пред да се пушти во погон котелската постројка, потребно е да се изврши проветрување на огништето и сите канали за чадни (излезни) гасови. Вентилирањето се врши со шумкање на гасовите со вентилаторот за чадни гасови и со вентилаторот за уфрлување на свеж воздух во огништето на котелот.

Вентилирањето треба да трае најмалку 10 min при согорување на гас и мазут, а 5 min при согорување на тресет. При согорување на други цврсти горива, вентилирањето се врши само со вентилаторот за чадни гасови, кое треба да трае најмалку 5 min. Вентилирањето на котлите со цилиндар со притисок >10 MPa не се дозволува да трае повеќе од 15 min.

Целта на вентилирањето на огништето и каналите за спроведување на гасовите е да се спречи да дојде до експлозија, заради присуството на експлозивни гасови кои се создаваат од несогореното гориво.

Сите елементи на котелот кои се изложени на топлински дилатации, конструктивно така се изработуваат за да се овозможи нивно непречено ширење. Кај современите котелски постројки, на пример, температурните дилатации на екраните и цилиндарот достигнуваат 50÷100 mm. Екранските цевки кај котлите со природна циркулација на водата, по правило, се издолжуваат надолу и затоа контролата на нивното издолжување се извршува на долните колектори.

2.2.5. Експлоатација на котелските постројки

Со техничките услови за експлоатација се обезбедува сигурна и надежна работа на котелската постројка. Котелската постројка треба да работи сигурно и безбедно со најголем коефициент на полезно дејство, при било кое оптоварување.

За да се оствари тоа, особено важно е да котелските постројки се одржуваат на потребното ниво и врши контрола на следните параметри:

- притисокот на прегреаната пара,
- нивото на водата во котелот (цилиндарот),
- температурата на прегреаната пара,
- притисокот на напојната вода,
- притисокот во цилиндарот,
- притисокот во напојниот резервоар,
- квалитетот на парата и водата.

- При работа на котелот треба да се зачуваат топлинските режими, што осигуруваат одржување на дозволена температура на парата во секој степен и во секој проток на примарниот и секундарниот прегревач на пара.

Ако се надмине дозволената температура на парата при експлоатација на котелот, се забрзува намалувањето на работната способност на металот на цевките и колекторите од прегревачите на парата. Во зависност од должината и намалувањето на дозволената температура се забрзува ползењето на материјалот (со тоа се наголемуваат дијаметрите на цевките) и корозијата на металот. Условниот рок на работењето на цевките и колекторите предвидени да работат на температура на парата од 450 °C и повеќе, се усвојува да изнесува 100 000 h.

- При експлоатација на котелот не треба да се надминува горното гранично ниво на водата во котелскиот цилиндар, определен од производителот на котелот, а е коригиран врз основа на експлоатационите надгледувања или испитувања. Долното гранично ниво на водата се определува врз основа на податоците на производителот.

Кога би се наголемило нивото на вода во котелскиот цилиндар над горното гранично ниво, се наголемува количината на водени капки кои се носат кон прегревачите на парата. Тогаш се наголемува работата на сепараторите на водени капки. Кај котлите со среден притисок со големи, во однос на дијаметарот, котелски цилиндри, горното ниво може да се усвои дека изнесува 100÷120 mm повисоко од средното. Во котлите кои работат со притисок од 110 bar при дијаметар на цилиндарот од 1300 mm, со постројка со промивање со пара, горното гранично ниво на водата се воспоставува така да не биде повисоко од 50 mm во однос на средното ниво. Во котлите со работен притисок од 150 bar при дијаметар на цилиндарот од 1600÷1800 mm горното гранично ниво на водата не треба да биде повисоко од 75 mm во однос на средното ниво.

Долното гранично ниво на водата во барабанот потребно е да се одржува, затоа што во спротивен случај во цевките кои се спуштаат надолу може да навлезе пара од парниот простор на цилиндарот. При тоа може многу лесно да дојде до прекинување на циркулацијата на водата во цевките низ кои водата треба да се качува нагоре.

- Загревната површина на котелскиот агрегат треба да се одржува во чиста состојба од гасната страна. Предвидените за таа цел механизирани постројки, нивното далечинско и автоматско управување треба да биде во стална готовност за дејствување.

Во котелските агрегати, без обзир дали работат на течно, цврсто или и со двете горива, надворешните површини на загревните површини (екраните, прегревачите, водениот економајзер и загревачот на воздух) стануваат нечисти, односно на нив се лепи згура, пепел и саѓи. Со образувањето на овој слој, се намалува коефициентот на премин на топлината од пламенот кон водата во цевките. При тоа се наголемува температурата на чадните (излезните) гасови и се овозможува со тоа да се нафаќаат нечистотии на површини кои во нормални услови би останале чисти, како што се прегревачот на пара и економајзерот. При тоа се намалува вкупниот капацитет на котелот, а се наголемува температурата на прегреаната пара. Во исто време се наголемуваат хидрауличните отпори на струење на излезните гасови и се наголемува загубата на топлина со излезните гасови. Со тоа се намалува економичноста на котелот. Заради тоа загревните површини потребно е да се одржуваат во чиста состојба. Тоа може да се постигне со правилен режим на работа на котелската постројка и со спроведување на чистење на површините кои се наоѓаат во ложиштето и во гасните канали.

Борбата против заплување на цевките се води на таков начин, што во зависност од горивото и температурата на топење на згурата се избира најповолниот режим на работа на котелот. Треба да се одржуваат во исправна состојба горилниците и херметичноста на огнишниот простор. Причина за појавување на заплување може да биде работата на огништето или одделни горилници кои имаат недостаток на воздух, потоа лошото мешање на горивото со воздухот во зоната на палење и локално навлегување на ладен воздух во огништето. За да се одржуваат во чиста состојба загревните површини, котелот треба да биде снабден со ефикасни средства за чистење, што би се вклучувале во зависност од графикот (кривата) на приклучувања, кој се определува однапред или се приклучуваат по потреба, во зависност од степнот на нечистотија на цевките. Такви средства за чистење се апарати за дување со различна намена, апарати за чистење со метални сачми, апарати за миење со вода.

Кога согорува мазут во котелот, основен вид на чистење на загревните површини сместени во конвективниот дел е чистење со сачми. Во котли во кои согорува јаглен во прав, освен чистењето со сачми, се употребува чистење со парни или воздушни апарати за дување. За да се отстрани згурата од површините на прегревачите на пара сместени над огнишниот простор и во хоризонталниот гасен канал, на излезот од него, се употребуваат различни системи за дување. Се користат дури и подвижни апарати за дување, а и чистење со помош на вибрации (растресување).

Апаратите за дување треба да бидат така распоредени во огништето и гасните канали, да се овозможи чистење на сите загревни површини кои при работа стануваат нечисти. Ракувањето со апаратите е дистанционо од командниот пулт на котелот. Периодичноста на вклучувањето на апаратите за дување се определува во зависност од интензитетот на заплување и од ефикасноста на апаратите за чистење. При постоење на апарати за дување на различни површини, најпрво се издуваат површините на огништето а потоа сите други површини.

Наталожувањата кои се формираат во котлите кои работат на мазут се карактеризираат со голема густина и многу цврсто прилепување на металот на цевките, со што се отежнува нивното отстранување. Заради тоа денес се употребуваат специјални адитиви кои се додаваат во мазутот пред неговото согорување во котелот. Со нивна помош се овозможува полесно чистење на загревните површини со метални сачми или со дување.

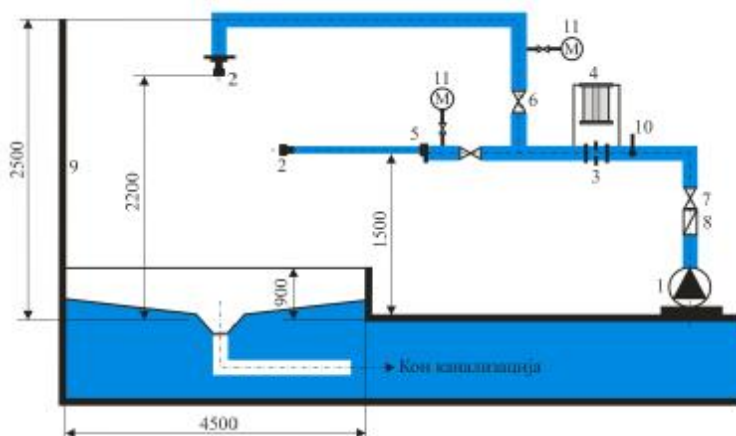
- Во котлите во кои согорува мазут со висока содржина на сулфур, а се со капацитет од 160 t/h и повеќе, потребно е да се постигне согорување при мали коефициенти на вишок на воздух и при тоа потребно е да се исполнат сите услови за работа на котелот во таков режим (подготовка на гориво, конструкција на горилниците, херметичност на огништето, употреба на дополнителни уреди за контрола и автоматска работа на просецот на согорување).

Нискотемпературната корозија предизвикана од дејството на сулфурната киселина ја намалува долговечноста на котелот. При согорување на мазут богат со сулфур, загроени се површините на загревачот на воздух и металните сидови на гасните канали во областа на ниските температури. Со испитувања е воочено дека согорувањето на мазутот во огништето со коефициент на вишок на воздух многу близок до стехиометрискиот $1,01 \div 1,02$, доведува до снижување на температурата на точката на роса до $50 \div 70$ °C. Според тоа работата со мал коефициент на вишок на воздух овозможува да се намалат појавите на корозија во нискотемпературните области, а со тоа да се наголеми сигурноста на работата на котелот, а и неговиот продолжен век на работа, пред да се запре заради ремонт.

Мора да се нагласи дека работењето со мали коефициенти на вишок на воздух во огништето при согорување на мазут е деликатна задача и бара висока техничка култура на експлоатација. Потребно е да се осигура висока херметичност на одништето, рамномерно распределување на горивото и воздух помеѓу сите горилници во сите режими на работа на котелот. Доколку тоа не се постигне, се наголемуваат загубите на топлина заради несогорување на горивото, наталожување на саѓи на загревните површини, кои потоа може да се запалат и да предизвикаат значителни повреди на постројката.

- Пред да се постават на местото на вградување, механичките прскалки за мазут, потребно е да бидат испитани на испитен стол со помош на вода, за да се провери нивниот капацитет и квалитет на распрскување. Не се дозволува примена на небаждарени прскалки. Во котелската постројка потребно е да се чуваат резервни прскалки, за почетно пуштање во погон (за распалување) и основни прскалки.

За да се овозможи економична работа на котелот со мал вишок на воздух во огништето, при согорување на мазут со висока содржина на сулфур, потребно е да се одржува строго еднаков капацитет на сите мазутни прскалки кои работат. Ако би се појавиле одделни отстапувања на капацитетот на некои прскалки, би се појавило недоволно хемиско и механичко согорување и наталожување на саѓи на загревните површини на котелот со сите штетни последици кои произлегуваат од тоа. Многу големо значење на сигурноста на работата на котелот има квалитетот на распрскувањето на мазутот во прскалките.



Сл. 2.2.7. Шема на хидрауличен испитен стол за контрола на прскалки.

1-центрифугална пумпа; 2-прскалка; 3-мерна дијафрагма; 4-диференцијален манометар; 5-калап за прицврстување на бризгалките; 6-регулационен вентил; 7-вентил за затворање; 8-неповратен вентил; 9-лимена ограда; 10-термометар; 11-манометар.

Разликите во капацитетот на механичките и паромеханичките прскалки зависат од пресекот на излезниот отвор, точноста на изработката и од грижливоста при поставувањето на местото на нивната работа.

Контролата на мазутните прскалки се извршува на специјален испитен стол со вода, прикажан на сл.2.2.7., кој е потребно да го има секоја термоцентра или секаде каде има котел кој работи на мазут со висока содржина на сулфур, било како основно или помошно гориво. Особено е важна контролата на квалитетот на вградените прскалки кај котлите кои се опремени со регенеративни загревачи на воздух.

- Во котлите кои согоруваат мазут како основно или резервно гориво, постројката за чистење со сачми на конвективните загревни површини, потребно е да биде секогаш подготвена за дејство. Исто така и постројките за миење на регенеративните загревачи на воздух, собирање, неутрализација и отстранување на водата за миење потребно е секогаш да биде подготвена за дејство. Не смее да се дозволи пуштање во погон на котли кои работат на мазут доколку овие постројки не се исправни.

Во котлите кои согоруваат мазут, единствено средство за чистење на загревните конвективни површини е чистење со сачми. Со вклучување на оваа постројка од првиот ден на пуштање во погон на котелот, се овозможува долго време да се зачуваат аеродинамичките отпори во котелот на едно исто ниво, како и температурата на излезните гасови. Во случај на подолготрајно излегување од погон на постројката за чистење, се создаваат талози на цевките, со што се намалува слободниот пресек за циркулација на излезните гасови. Со повторно вклучување на постројката не се подобрува ситуацијата, затоа што сачмите кои паѓаат, ги набиваат овие талози и се создава цврста маса која се запечува. Отстранувањето на оваа маса, дури и во случај кога котелот е запрен, претставува посебна потешкотија.

Количината на сачми која треба да се пушта низ шахтата за чистење на конвективните површини при едно пуштање, времетраењето на чистење и интервалот помеѓу две чистења се определува од критериумот да нивоата на аеродинамичките отпори на струење кои треба да се еднакви како на почетокот при пуштање на котелот во погон.

Најинтензивно нафаќање на нечистотии е во регенеративниот загревач на воздух. Состојбата на површината на регенеративниот загревач се усложнува со тоа што нечистотиите што се нафатиле ја интензивираат ниско-температурната корозија. Основни средства за чистење на регенеративните загревачи на воздух се:

- дување со пара,
- миење со вода,
- сушење со излезни гасови.

При дување со пара се користи пара со притисок од $1,96 \div 2,45$ МРа.

Миењето со вода е најефикасно средство за чистење на регенеративните загревачи на воздух, низ кои поминуваат излезни гасови кои содржат сулфур во себе. Со периодичните миења се овозможува да се сочуваат на исто ниво аеродинамичките отпори низ регенеративниот загревач. Миењето се врши со алкална вода на температура од $40 \div 60$ °C и потребно е да се врти роторот на регенеративниот загревач. За време на миењето, регенеративниот загревач е отворен и од воздушна и од гасна страна. Потребната количина на вода за едно миење изнесува $4 \div 5$ t/h за секој m^2 од пресекот на роторот, а времетраењето е 2 часа. Како основен недостаток на миење со вода е појавата на засилена корозија на масата за исполнување на регенеративниот загревач.

Најупотребуван метод за чистење на регенеративниот загревач кај котлите кои работат со мазут со висока содржина на сулфур е термичко сушење со помош на излезните гасови. Секој регенеративен загревач секојдневно се исклучува од страна на влезот на воздухот во траење од $20 \div 40$ min. При тоа масата за исполнување се загрева до температура од $250 \div 280$ °C, сулфурната киселина која е предизвикувач на нискотемпературната корозија испарува, талозите се сушат, се распаѓаат и се отстрануваат со помош на излезните гасови во атмосферата.

Употребата на овој начин во комбинација со миење со вода, овозможува да се наголеми времето меѓу две миења на $2500 \div 4500$ h или сосема да се напушти миењето со вода.

- Заштитната обвивка на котелот потребно е да се одржува во исправна состојба. При температура на околниот воздух од 25 °C температурата на површината на изолацијата не треба да биде повисока од 55 °C. Загубите на топлина на површината на изолацијата кај новите котли не треба да ја надминат големината од 1255 kJ/m²h.

За време на експлоатацијата на котелот, во заштитната обвивка се појавуваат места каде што не е зачувана херметичноста. Со тоа се наголемува количината на воздух која навлегува во котелот и се намалува економичноста на неговата работа. При наголемување на количината на воздух над нормата за 1 %, се намалува коефициентот на полезно дејство на агрегатот за 0,5 %. За да се постигне највисок степен на искористување на топлината на согореното гориво, потребно е загубите на топлина кон околната средина да бидат минимални.

- Експлоатационите испитувања на котлите треба да се извршуваат за време на експлоатација, после внесување на конструктивни измени, при преминување на друг вид на гориво и заради објаснување на причините кои предизвикуваат отстапувања од номиналните параметри. Котлите треба да ги имаат сите неопходни приспособувања за спроведување на експлоатационите испитувања.

Целта на експлоатационите испитувања е да се состават нормативните карактеристики и режимските дијаграми за персоналот при експлоатација. На испитувањата им претходи подесување на огништето, пароводниот тракт, постројката за подготовка на јаглен во прав, постројките за фаќање и отстранување на пепелта. Програмот на испитувањата се состои од неколку серии експерименти, при што се определува зависноста на топлинските загуби, КПД на котелот и потрошувачката на електрична енергија за сопствени потреби од повеќе фактори (вишок на воздух во огништето, димензии на јагленот во прав, режимот на работа на горилниците и сл.).

За да би можеле да се спроведат овие испитувања, при монтажа на котелот потребно е да се предвиди поставување на чаури за поставување на термоелементи за мерење на температурата, приклучоци за манометрите и постројки за мерење на протокот на вода, воздух и гориво.

Котелската постројка треба да произведува пара во толкаво количество колку што во определен момент е потребно. Ако е потребно поголемо количество на пара од колку што котелот во тој момент произведува, тогаш притисокот ќе почне да паѓа и обратно при помало количество на пара, притисокот ќе почне да расте. За да се заштити од овие промени котелот, во првиот случај, треба да се оптовари да произведува поголемо количество на пара, а во вториот помало.

Не треба да се дозволи притисокот на парата во котелот да ја надмине дозволената големина, бидејќи тоа ќе доведе до негова хаварија или до оштетување на машините и апаратите на потрошувачот на пара. За заштита на котелот од зголемување на притисокот над дозволената големина, секој котел е опремен со *сигурносен вентил*, кој при определен притисок се отвора и парата се испушта во атмосферата, а котелот се растоварува.

На притисокот во котелот големо влијание има количеството на напојна вода. При додавање на поголемо количество на напојна вода, нивото во цилиндарот се зголемува, а притисокот опаѓа и обратно.

Неопходно е потребно да се одржува нивото на вода во котелот во дозволените граници. Ако тоа почне да опаѓа потребно е да се зголеми додавањето на вода и обратно.

Нивото на вода во цилиндарот треба добро да биде видливо. Стаклените покажувачи на нивото на вода треба да се одржуваат во чиста состојба. Нивото на вода треба да се одржува во близина на линијата „0“. Далечинските покажувачи на нивото на вода треба да бидат постојано во исправна состојба, а нивните покажувања треба еднаш во смена да се споредат со директните покажувачи.

Рамномерен притисок во котелот може да се одржува со регулација на процесот на согорување, по пат на промена на количеството на гориво и воздух што се доведува во огништето.

За време на работа на котлите со прегревање на парата неопходно е потребно да се одржува на потребното ниво температурата на парата на сидовите на цевките, како и температурата на напојната вода на излезот од загревачот на вода.

Ако температурата на парата се покачила над нормалната, нејзиното намалување се врши со насочување на дел од гасовите покрај прегревачот, ако е тоа возможно или со впрскување на напојна вода од резервоарот за вода. Во обратен случај, ако температурата на парата се намалила, се зголемува количеството на гасовите низ прегревачот или се зголемува доводот на гориво и воздух во огништето.

Контролата на квалитетот на напојната вода и пара треба да се врши секои 2 часа од стручни лица од одделението за хемиска подготовка на водата. Врз основа на анализите се одредува интензитетот на отсолувањето.

За време на работата на котелот треба да се врши контрола на основната и помошната опрема. Треба да се контролира:

- температурата на маслото во сите лежишта (пумпи, вентилатори и тн.) која не смее да надмине 70 °C,
- исправноста на системот за масло,
- ладилниците за масло,
- температурата на водата за ладење на маслото треба да е 30±40 °C,
- оптоварувањето на електромоторите,
- вибрациите на подвижните делови,
- температурата на гасовите,
- температурата на воздухот што се шмука со вентилаторот и тн.

Водителот на блокот води дневник во кој ги внесува сите промени на работата на блокот, а исто така и сите оштетувања на поедини уреди и елементи.

Проверката на сигурносните вентили се врши после секој извршен ремонт и во случај да не се вклучат, при зголемување на притисокот над дотераната вредност, треба да се поправат или заменат. Манометрите треба да се проверуваат барем еднаш месечно. Проверката се врши со помош на контролен манометар.

Еднаш на 24 часа треба да се провери осветлувањето во котелската постројка и забележаните оштетувања веднаш да се отстранат. Посебно внимание треба да се посвети на одржувањето на чистотата во реонот на котелот и помошните уреди.

2.2.6. Запирање на работата на котелската постројка и конзервирање

Запирањето на работата на котелската постројка претставува многу сложен и одговорен променлив режим на работа, кој директно влијае на надежноста и векот на траење на постројката.

Надежноста може драстично да се намали не само како резултат на честите запирања и пуштања во работа, туку и заради неправилното принудно ладење на опремата при запирање на работата.

Во зависност од работната состојба, се разликуваат три случаи на запирање на работата на котелската постројка:

- запирање на работата на котелската постројка и нејзино ставање во топла резерва,
- хавариско запирање на работата на котелската постројка,
- запирање на работата на котелската постројка за изведување на ремонт.

Постапката за запирање на работата на котелската постројка за нејзино ставање во топла резерва и за изведување на ремонт, во принцип не се разликуваат. Разликата помеѓу овие два начина на запирање на работата е само во температурната состојба на опремата после запирање на работата, односно во вториот случај има целосно ладење на опремата.

При запирањето на работата на котелската постројка за нејзино ставање во резерва може да се јават повеќе случаи и тоа: прекин на работата за една ноќ (8÷12 часа), еден ден (24 часа), два дена (48 часа) и тн.

При кратко запирање на работата (на пример за една ноќ) во најголема мерка се настојува да се зачува топлинската состојба на опремата, при што растоварувањето не надминува 50 % од номиналното оптоварување.

При запирање на работата на котелската постројка на период поголем од еден ден, во случај на природно ладење, котелската постројка практично потполно ја губи акумулираната топлина, така што температурата на високозагреаните нејзини елементи (прегревачи на пара), само после 40÷48 часа паѓа под 120÷140 °C. Затоа, во такви случаи, се тежи да се искористи оваа акумулирана топлина во котелската постројка.

При запирање на работата на котелската постројка за изведување на ремонт, целата опрема длабоко се лади.

Од горе изнесеното може да се заклучи дека запирањето на работата на котелската постројка, во однос на ладењето на опремата, може да се подели на два случаи:

- без ладење,
- со ладење на целата опрема.

При запирање на работата на блок котлите со цилиндар, граничната брзина на намалување на температурата на наситување во цилиндарот е 1,5÷2,0 °C/min за притисоци до 10 МПа и 1,0÷1,5 °C/min за притисоци до 15 МПа. Причина за ограничување на брзината на ладење се температурните напрегања на краевите на цилиндарот, каде заради слабата циркулација на водата, металот недоволно се лади. Ладењето на проточните котли се врши побрзо од оние со цилиндар и целото нивно растоварување се одвива под дејство на системот за автоматско управување, кој е во директна зависност со нивните динамички карактеристики.

Краткотрајното запирање на работата на котелот е поврзано со загуби на топлина и затоа треба да се тежи таа загуба да биде минимална. Во случај на такво запирање, се прекинува доводот на гориво кај сите горилници и напојувањето на котелот со вода. Кај блок котлите со цилиндар, нивото на водата во цилиндарот се одржува на максималното ниво. После гасење на огнот во огништето, уште 10÷15 min останува во работа вентилаторската постројка за излезните гасови, со цел да не дојде до создавање на експлозивни гасови.

Кај проточните котли по прекин на доводот на напојна вода се затвора вентилот за напојна вода, а парата од прегревачите на пара се пушта во кондензаторот на турбината. После тоа котелот се исклучува од пароводите со затворање на вентилите за пара.

При запирање на работата на котелската постројка на *подолг период* (целосно ладење на опремата), растоварувањето се одвива со намалување на притисокот на свежата пара. Независно од типот на котелот, со намалување

на притисокот на свежата пара, се намалува и температурата, со брзина што зависи од дозволените термички напрегања во металните елементи на котелот. Прегревачите на пара и пароводите на тој начин се ладат до температури од околу 300 °C. Парата што при тоа се добива, заради одземање на акумулираната топлина во котелот се носи во кондензаторот или во атмосферата.

По намалување на температурата на свежата пара на 420 °C, се обновува напојувањето на котелот со напојна вода со проток 10÷15 % од номиналниот, а при температура од околу 300 °C, протокот се зголемува до 30 % од номиналниот и продолжува да се зголемува се до потполното ладење на котелот и пароводите.

И при целосно ладење на котелот, напојувањето со вода продолжува со цел да се изврши „миење“ на котелот. Миењето со напојна вода има за задача да го отстрани талогот од неговите внатрешни површини, создаден во процесот на работа на котелот, при што тој може да се раствора или нераствора во водата. Растворливите делови од талогот се соединенија на Na, Ca, и Mg, а нерастворливите се оксиди на Fe и Cu. При миењето со вода, талозите што се раствораат и оние што не се раствораат (во вид на цврсти честички), се носат со водата надвор од котелот.

При запирање на работата на котелската постројка на *подолг период* се применуваат мерки за заштита на котелот од корозија. Имено, во внатрешните загревни површини на котелот, заради агресивното дејство на кислородот, јаглеродниот диоксид, водородот, алкалниот натриум и др. со влажните површини доаѓа до корозија. За да се заштити котелот од корозија при стоење, се применуваат повеќе методи на конзервација, во зависност од карактерот и времетраењето на запирањето.

Во принцип се применуваат три начини на заштита на котелот од корозија и тоа: *сув, гасен и влажен*.

Сувиот начин на заштита од корозија се состои во тоа што прво котелот добро се прочистува од каменец и талози, се промива со напојна вода и се суши. Сушењето се врши со топол воздух. После тоа во котелот се ставаат перфорирани вреќички со негасена вар или калциум хлорид и котелот херметички се затвора. Негасената вар и калциум хлоридот ја апсорбираат влагата и котелот се чува во сува состојба. Перфорираните вреќички треба да бидат со таков волумен на зголемување да, кој при апсорпција на влагата нема да доведе до нивно изливање.

Гасниот начин на заштита од корозија се состои во исполнување на котелот со гасен амонијак или азот со натпритисок до 100 mmVS. Овој начин на заштита е најдобар за заштита на котелот од корозија.

Влажниот (воден) начин на заштита на котелот се состои во исполнување на котелот со 0,5÷1 % слабо алкален раствор на хидрооксид или фосфат на натриумот (Na_3PO_4 - тринатриумфосфат). За создавање на еднороден состав на алкалниот раствор во целокупниот обем на котелот, истиот се загрева до температура од 80÷100 °C со слаб оган во огништето, а после тоа се задвижува низ котелот со помош на пумпата.

При *кратковремени запирања* (до 3 дена) конзервацијата се извршува со влажен или сув начин (полнење на котелот со деминерализирана вода и амонијак, или со азот под притисок).

При *подолготрајно запирање* (од 3 дена до 3 месеци) конзервацијата се врши со гасен начин (со азот). При тоа потребно е да се изврши херметичко затворање на системот, да не дојде до загуба на азотот.

Во случај кога котелот се запира за *изведување на ремонт*, тој не може да се наполни ни со хидрооксид, ни со азот, туку се применува конзервација со формирање на заштитен слој на внатрешните површини на котелот. Заштитниот слој ги зачувува своите особини во текот на еден до два месеца.

Конзервацијата на проточните котли се изведува со 24 % раствор на хидразин (N_2H_4) со вода, тн. *хидразинхидрат* ($\text{N}_2\text{H}_4\text{H}_2\text{O}$), при температура на растворот помеѓу 150÷200 °C. Котелот се полни и остава растворот да стои 24 часа. После тоа растворот за конзервација се испушта од котелот.

Загревните површини, кај котлите со природна циркулација, се конзервираат со раствор на *натриумнитрат* при температура 20÷60 °C во текот на 20÷24 часа. Прегревачите на пара кај овие котли се конзервираат со раствор на амонијак, а не со натриумнитрат, затоа што тешко можат да се измијат после конзервацијата.

Прегревачите за повторно прегревање на парата се конзервираат со гасен азот, затоа што е тешко да се исполнат со раствор за конзервирање, а исто така уште потешко после тоа да се исчистат.

Во колку котелот е конзервиран со течност и се наоѓа подолго време во резерва во зимски период, треба да се преземат мерки за зачувување на температурата внатре во котелот над 0 °C, со што тој ќе се заштити од замрзнување. За таа цел, при запирање на котелот и негово ставање во резерва, потребно е да се затворат сите отвори за довод на воздух и одвод на продукти на согорување.

Кај парните котли ретко се случува *хаварија*, но во колку дојде до неа таа предизвикува трауматични последици за луѓето, рушење на објектот и нанесување на значителни материјални загуби. За да се спречи хаварија кај парниот котел потребно е брзо (хавариски) да се запре неговата работа.

Основни причини за хавариско запирање на работата на котелската постројка се:

- покачување на притисокот над дозволениот (>10 %) и истиот продолжува да расте,
- испуштање вода од котелот, при што нивото на вода во котелот брзо опаѓа без разлика на неговото нормално напојување,
- зголемување на нивото на водата во котелот над максимално дозволеното, така што ни со превземеното продувување не се намалува,
- прекин на работата на сите напојни постројки,
- откриени пукнати, испупчувања, прскања на цевки и во основните елементи на котелот (цилиндар, колектор, испарувач),
- прекинатото напојување со електрична енергија од мрежата,
- појава на пожар во котелската постројка и тн.

Во таков случај по прекин на доводот на гориво (треба да се изврши со самата технолошка заштита на котелот или од персоналот во случај на нејзино откажување), се затвораат регулационите вентили за напојна вода и турбогенераторот се исклучува од мрежа. Понатамошното намалување на притисокот и температурата се врши на истиот начин и услови како и при запирање на работата при нормални услови.

2.2.7. Ремонт на котелската постројка

Надежната и економична работа на котлите и опремата зависи не само од правилно извршените конструктивни и монтажни работи, правилната експлоатација, туку и од навременото изведување на ремонтот.

Под поимот *ремонт* се подразбира комплекс на работи со кои се обновува работната способност на уредите, опремата и арматурата кај една термоенергетска постројка. Ремонтот се извршува по планиран редослед и затоа тој често се нарекува и *планско-превентивен*.

Во зависност од времетраењето, оштетувањата на постројката и неопходниот обем на работа, се разликуваат повеќе видови на планскопревентивни ремонти, кои во принцип можат да се поделат на:

- тековен,
- капитален ремонт.

Надвор од планско превентивните ремонти постои уште и *хавариски ремонт*, кој е резултат на изненадни оштетувања на поедини уреди и детали, заради неправилна експлоатација, преоптоварувања на опремата и други причини погоре споменати. Во зависност од обемот, хаварискиот ремонт може да се изведува како *тековен*, или *капитален*.

2.2.7.1. Тековен ремонт

Тековниот ремонт се изведува со цел да се обезбеди или обнови работната способност на уредите и опремата со замена на одделни делови.

Во зависност од работите кои треба да се извршат, тековниот ремонт може да се изведува за време на експлоатацијата на постројката (техничко или меѓурементно опслужување) и по запирањето на постројката.

За време на експлоатацијата (техничко или меѓурементно опслужување), потребно е да се спроведат следните работи:

- Секојдневен надворешен преглед, со проверка на работната и техничката состојба на поедините јазли и детали, што се изведува од дежурниот персонал во експлоатацијата.

- Нега на опремата: подмачкување, бришење, чистење, надворешен преглед на деталите, со цел да се согледа степенот на нивната истрошеност и преземат мерки за навремена нивна замена, проверка на загадноста на површините кај кои постои лизгање, состојбата на системот за масло и ладење на вентилаторите за воздух и продукти на согорување, обезвоздушјување и одводнување на цевоводите и другите специјални постројки.

- Мал ремонт на опремата и проверка на мали дефекти, пред се на надворешните монтажни склопови, отстранување на дефектите во електричните кабли и процепите заради кои се нарушува херметичноста на котелската постројка, шмукање на воздух, пропуштање на јагленов прав и течење на вода, масло и други течности, замена на стаклата за покажување на нивото на вода и други работи.

Техничкото опслужување на постројката не се планира и тоа исклучиво се изведува за време на нејзината работа.

При *запирање на постројката* потребно е да се извршат следните работи:

- чистење на загревните површини, огништето и каналите за гасови од згура и пепел,

- контрола на херметичноста на елементите кои работат под притисок под дејство на работниот притисок,
- отстранување на сите повреди на постројката и нарушената херметичност,
- контрола на заварените споеви и на површината на металот на напојните и другите цевни приклучоци,
- чистење на внатрешните загревни површини на цилиндарот и цевките,
- поединечна замена на држачите на екранските цевки и цевките на прегревачот на пара,
- замена на оштетените елементи, како што се: котелската обвивка (осид), горилниците, млазниците за распрскување на мазутот, пределот на коритото на котелот во кое се врши отстранување на згурата и негово затнување,
- контрола на сите вртливи механизми и замена на потрошените делови, воспоставување на оптималните зазори, замена или поправка на затинките, спојките, лежиштата и нивно центрирање и балансирање,
- преглед на механичките решетки на огништето со замена на потрошените и оштетните делови,
- отстранување на сите оштетувања на херметичноста на системот за подготовка на јаглен во прав,
- отворање на мелниците за јаглен и наварување на материјал на чеканите и другите истрошени делови,
- чистење, регулирање и испитување на автоматските инсталации за заштита,
- проверка на работата на арматурата и сигурностните вентили на цевоводите за пара, вода, гас, мазут и масло и отстранување на забележаните недостатоци.

Бидејќи тековниот ремонт му претходи на капиталниот, истиот макси-мално треба да се искористи за откривање и точно определување на обемот на работите што треба да се извршат при капиталниот ремонт на котелската постројка.

2.2.7.2. Капитален ремонт

Капиталниот ремонт се изведува со цел да се изврши потполна ревизија, со детално проверување, мерење, испитување, отстранување на забележаните недостатоци и замена на истрошените детали и јазли. По потреба за време на капиталниот ремонт може да се изврши и усовршување на одделни јазли врз основа на дотогашните експлоатациони сознанија.

За време на капиталниот ремонт, покрај работите што се извршуваат за време на тековниот ремонт, треба да се извршат и следните работи:

- многу внимателна контрола на загревните површини на котелот, прегревачите на пара, цилиндарот, загревачите на вода, со местимично симнување на изолацијата и осидот на котелот,
- замена на истрошените екрански цевки, цевките во прегревачот за пара и др.,
- преглед на резервоарите за вода, течно гориво и хемиски реагенси; чистење на резервоарите и замена на одделни делови од нивните сидови или пак целосна нивна замена,
- замена на топлинската изолација и осидот на котелот, доколку е тоа потребно,
- боење на постројката.

По извршениот капитален ремонт, котелот и помошната опрема се изложува на испитување, заради проверка на работната способност.

Таб. 2.2.1. Времетраење на планско-тековниот ремонт:

Производство на пара t/h	Притисок на парата MPa	Период меѓу два ремонта не помалку од god	Времетраење, календарски денови						
			Во годината кога се спроведува капитален ремонт			Во годината кога се спроведува само среден ремонт			Кога има само TP
			Во КР	Во ТР	Вк. време	Во СР	Во ТР	Вк. време	
<35	6,36	4	15	6	21	6	6	12	9
36-100	6,36	4	18	7	25	7	7	14	11
101-150	6,36	4	20	8	28	8	8	16	12
151-200	6,36	4	23	9	32	9	9	18	15
70-120	6,36-12,2	4	23	9	32	9	9	18	15
160-170	6,36-12,2	4	25	10	35	10	10	20	15
220-230	6,36-12,2	4	33	13	46	13	13	26	20
210-320	13,7	4	34	14	48	14	14	28	21
420-480	13,7	4	40	16	58	16	16	32	24
420-480	13,7	4	36	14	50	14	14	28	21

Конечната оценка за квалитетот на извршениот капитален ремонт се дава после еден месец работа на котелската постројка.

Во таб.2.2.1. дадено е времето на изведување на ремонтите во зависност од капацитетот и работниот притисок на котелот.

Нормите дадени во таб.2.2.1. се однесуваат на котли што работат на јаглен во прав, кој содржи до 35 % пепел. Во колку котелот работи со друг вид на гориво, дадените норми се множат со следните фактори:

- $k=0,8$ за гасно гориво,
- $k=0,85$ за смеса на гасно гориво со мазут
- $k=0,9$ за мазут
- $k=1,2$ за јаглен во прав со пепел $>35\%$
- $k=1,4$ за маслени шкрилци

Не се нормира годишниот број на запирања на котелската постројка заради тековен ремонт, ниту пак времетраењето на секое запирање. Се нормира единствено вкупниот број на календарски денови потребни за извршување на тековниот ремонт во една година.

Може да се предвиди еден среден ремонт во времето помеѓу два капитални ремонта, со времетраење од приближно 40 % од траење на капиталниот ремонт.

Конечна оценка за квалитетот на извршениот капитален ремонт на постројката се дава после еден месец на работа со оптоварување, за кое што време е потребно да се извршат потребните мерења и експлоатациони испитувања. При ова учествува и организацијата која го извршила капиталниот ремонт.

Пред да се стави котелската постројка во погон потребно е да се провери дали се поставени, односно дали се земени во обзир сите пропишани обезбедувања, дали се отстранети оние делови кои не се составен дел на котелската постројка и дали е котелот со сите помошни уреди спремен за погон. Пред првото ставање во погон на котелската постројка, како и после ревизија или ремонт, обавезно треба да се испита работата на сите сигурносни и заштитни системи, а треба да се провери работата на мерачите, сигнализацијата и далечинската команда.

Еден од поважните техничко-економски показатели на постројките е годишниот коефициент на техничко искористување:

$$h_{ti} = \frac{8760 - (t_{kr} + t_{tr})}{8760}$$

каде: t_{kr} h – време во кое е извршен капиталниот ремонт,
 t_{tr} h – времетраење на тековните ремонти во разгледуваната година.

Преку овој коефициент може да се влијае на продуктивноста на трудот на извршителите на тековните и капиталните ремонти, преку стимулирање на предвременото завршување на ремонтните зафати.

2.2.8. Техничка заштита при експлоатација и ремонт на котелските постројки

За исполнување на барањата на техничката заштита при експлоатација и ремонт на котелските постројки неопходно потребно е со неа да бидат запознаени сите учесници. За таа цел најмалку еднаш во 3 години треба да се одржуваат семинари за запознавање со прописите, нормите и инструкциите во врска со техничката заштита, со сите учесници во експлоатацијата и ремонтот, а најмалку еднаш годишно треба да се врши проверка на знаењето.

Во изведувањето на ремонтот е дозволено да учествуваат само работници со наполнети 18 години, со претходно извршен комплетен медицински преглед.

До почетокот на изведувањето на било какви работи внатре во цилиндарот, коморите или колекторите на котел во паралелна работа со други котли што се во експлоатација, најпрвин котелот треба да се исклучи од сите цевководи со кои е поврзан со другите котли, за да не дојде до изгорување на луѓето со пара или топла вода.

Дозволено е влегување на луѓе внатре во котелот при температури на котелот не повисоки од 45 °C и тоа само со писмена наредба на раководителот на одржувањето. Влезот во цилиндарот треба да се отвора внимателно со заштитни ракавици.

Времето на престој на работниците во огништето, при температури 50÷60 °C не смее да биде поголемо од 20 min.

Во огништето и каналите за гасови, може да се изведуваат работи само по претходно извршена нивна вентилација и заштита од навлегување на гасови или јагленова прашина. Со тоа се избегнува можноста од задушување на работниците и опасност од појава на експлозија.

При изведување на работи во цилиндарот или каналите за гасови, работникот мора да носи заштитни очила, а надвор од влезот неопходно е потребно да се наоѓа работник, кој ќе ја контролира работата и ќе ги снабдува работниците внатре со алат и материјал.

На сите вентили, покренувачи и прегради за исклучување или вклучување на соодветните цевководи, пароводи, гасоводи, а исто така и на сите постројки за пуштање во работа на вентилаторите, треба да стои натпис „не вклучувај, се изведуваат работи на постројката“.

За време на изведување на работи внатре во цилиндарот, треба да се користат светилки со напон не поголем од 12 V.

Електрозаварувачите треба да имаат заштитни очила или маска, ракавици, чекан, длето (секач) за отстранување на згурата, челична четка и шаблони за проверка на геометријата на варот. При заварување со гас, заварувачите мора да имаат заштитни очила со филтер за светлоста.

Вртливите делови на пумпите, вентилаторите, а исто така и електричната опрема се заштитува со посебна ограда или со оклоп. Електричните жици и проводници треба да бидат изолирани, а електромоторите, трансформаторите и командните табли прописно заземјени.

Температурата на воздухот во просториите за престој на луѓето што ја опслужуваат котелската постројка зиме не треба да биде пониска од 12 °C, а лете не повисока од 5 °C од температурата на надворешниот воздух.

Во котелската постројка мора да постои просторија со потребни лекачества и завојни материјали.

2.2.9. Технички прописи за изработка и употреба на парни котли, садови за пара, прегревачи за пара и загревачи на вода

Парни и вреловодни котли

Под поимот парен котел се подразбира затворен сад, во кој се добива водна пара со притисок поголем од атмосферскиот. *Вреловоден котел* е котел во кој температурата на водата е над 110 °C.

Одредбите од овие прописи не се однесуваат за:

- мали парни котли кај кои производот од дозволения работен притисок и бројот на литри на вкупната содржина на вода, не надминува 20, со тоа што овие парни котли мораат да бидат снабдени со вентил за сигурност, стакло за покажување на нивото и манометар,

- парни котли во кои натпритисокот не ја надминува вредноста од 0,5 bar и да постои вентил за сигурност.

Садови за пара

Под поимот садови за пара се подразбираат садовите чиј простор се полни со водна пара, или пара под притисок, произведена надвор од садот, или се создала од содржината во садот заради хемиски промени, или со загревање и тоа ако во садот може да се создаде притисок поголем од 0,5 bar. Во овие садови спаѓаат:

- отворените садови загревани индиректно и полнети со пара,
- загревните тела од системот за централно греење,
- садовите за пара со запремина на парниот простор < 50 l,
- направите за варење на целулоза и т.н.

Прегревачи на пара

Како прегревачи на пара се сметаат оние затворени садови кои служат за зголемување само на температурата на парата. Одредбите од овие прописи не се однесуваат за прегревачи на пара во кои натпритисокот не надминува вредност од 0,5 bar.

Загревачи на вода

Како загревачи на вода се сметаат затворените садови во кои се загрева напојната вода под притисок поголем од атмосферскиот. Од одредбите на овие прописи се изземаат загревачите на вода во кои натпритисокот не надминува вредност од 0,5 bar.

Загревна површина

Како загревна површина на парниот котел, прегревачот на пара и загревачот на вода се зема површината на сидовите кои од едната страна ја загреваат топлите гасови, а од другата се натопува со вода, односно со пара кај прегревачите на пара. Загревната површина секогаш се мери од страната на огнот.

ПАРНИ КОТЛИ

Поделба на парните котли

Парните котли во поглед на големината се делат на: *мали, средни и големи.*

Мал парен котел е оној чија содржина на вода не надминува 1 m^3 , работниот притисок не е поголем од 6 bar, а внатрешниот дијаметар не е поголем од 1200 mm.

Среден парен котел е оној чија содржина на вода не надминува $1,5 \text{ m}^3$, работниот притисок не е поголем од 12 bar, а внатрешниот дијаметар не е поголем од 1300 mm.

Големи парни котли се сите останати котли.

Канали за топли гасови, граница на огнот и висина на водата во котелот

Нивото на водата треба да биде 100 mm над највисокото место на врелите гасови. Кај сите котли мора да се обезбеди пропишаното најниско ниво на водата, без разлика под кој нагиб котлите работат.

Во исклучителни случаи дозволено е врелите гасови да ги омиваат сидовите на котелот во кој се наоѓа пара, но само тогаш кога не постои опасност од усвитување на овие сидови.

Не постои опасност од усвитување на котелските сидови омивани со пара, ако претходно врелите гасови поминале преку површините на котелот омивани со вода.

Вештачка промаја е промаја произведена со било кое средство а не со оцакот, чиј притисок изнесува, при шмукање, повеќе од 250 Pa, а при потискување повеќе од 300 Pa.

Кај парните котли што работат со гасно, течно гориво, или со јаглен во вид на прашина, сидовите на котелот што се ладат со пара не смеат да бидат изложени на дејството на врелите гасови, освен сидовите на прегревачот на пара.

Уред за напојување на котелот со вода

Секој парен котел мора да има најмалку 2 уреди за напојување со вода со независни погони и инсталации. Повеќе парни котли кои снабдуваат иста мрежа со пара, ако работат со ист работен притисок, се сметаат како еден парен котел.

Нормалниот капацитет на уредот за напојување мора да одговара на податоците дадени во табличката што се наоѓа на котелот.

При поставување на два уреда за напојување на котелот со вода, секој од нив мора да има капацитет еднаков, или поголем од 200 % од трајниот капацитет, а при поставување на три, или повеќе уреди трајниот капацитет на секој поединечно мора да биде еднаков најмалку на 400 % од вкупниот капацитет на котлите во погон, поделен со бројот на уредите за напојување.

Непосредно напојување на котелот од водоводената мрежа е дозволено само ако притисокот на водата во мрежата постојано е поголем најмалку за 2 bar од работниот притисок на парата во котелот, но под услов да постои и друга можност за сигурно напојување. Вакво напојување е дозволено само за мали и средни котли со притисок до 8 bar.

Во напојниот цевковод, по можност што поблиску до котелот, мора да се вгради неповратен вентил, кој ќе овозможи по прекин на напојувањето, автоматски да го задржи притисокот во котелот.

Напојните цевоводи се снабдени со сигурносен вентил, кој треба да се отвори кога притисокот во него ќе се зголеми за 5 bar над номиналниот.

Уред за затворање и празнење

Секој парен котел мора да има уред со чија помош може да се затвори излезот на пара кон пароводот.

Кај парните котли со различни работни притисоци, кои даваат пара во заеднички паровод, приклучоците на пара со помал притисок мораат да имаат неповратни вентили, дури и тогаш кога постојат редуцир вентили.

Секој парен котел мора да има уред за празнење на котелот.

Уредите за затворање и празнење мораат да бидат заштитени од допир на врелите гасови.

Покажувачи на нивото на вода во котелот

Секој парен котел мора да биде опремен со најмалку два покажувачи на ниво, кои се потполно независни еден од друг и од кои едниот мора да биде видлив (стаклен).

Пливецот, светлосните и звучните сигнали не се дозволени како втори, туку само како трети уреди за покажување на нивото. Уредите за покажување на ниво мораат да имаат директна врска со внатрешноста на котелот.

Внатрешниот дијаметар на стаклото за покажување на нивото не смее да биде помал од 8 mm.

Покажувачите на ниво мора да бидат лесно пристапни и добро осветлени. Движењето на водата мора да биде јасно видливо.

Позади секое стакло за покажување на нивото, во висина на најниско дозволеното ниво, мора да се постави плочка со ознака „*најниско дозволено ниво на водата*“, а под написот на плочката мора да има црта со стрелка, која го означува најниското ниво.

Далечинските покажувачи можат да се употребат како втор уред за покажување на нивото, ако надлежниот инспектор ја одобри нивнатата употреба.

Непосредните покажувачи на нивото на вода во котелот (вградени на самиот цилиндар) мораат да бидат видливи од местото на ракувачот на дотичниот котел непосредно, или посредно (ТВ камера, систем на огледала и тн.). Непосредно поставените покажувачи на ниво не мора да бидат видливи од местото на ракувачот на котелот, ако се поставени барем уште два далечински покажувачи на ниво и ако барем еден од нив може исправно да функционира во случај на престанок на напојување со електрична енергија, или притисок во постројката за компримиран воздух.

Проточните котли, кај големите котелски постројки, наместо покажувачи на ниво, мора да имаат два автоматски, меѓу себе независни сигнални уреди, кои визуелно, акустично, или комбинирано ќе сигнализираат за почеток на опасноста од недоволна количина на вода. Еден од таквите уреди може да се употреби како автоматски уред за блокирање на напојувањето во моментот кога првиот уред сигнализира опасност.

Вентил за сигурност

Секој стабилен котел мора да има барем еден надежен вентил за сигурност со тег, или со пружина. Подвижните котли мора да имаат најмалку два исто така надежни вентили, од кои барем еден мора да биде со пружина, а кај самостојните обавеза е и двата вентили да бидат со пружина.

Кај вентилите за сигурност со тег, положбата на тегот мора да биде осигурана со расцепка, или со завртка. За вентилите за сигурност, вградени во стабилните парни котли, на инспекторот за парни котли, поред другата техничка документација, мора да му се достават и карактеристиките за пружината и другите битни податоци за неговата конструкција.

Оптоварувањето на вентилот за сигурност мора да биде такво, вентилот да започне со испуштање на пара штом во котелот се постигне најголемиот дозволен притисок, а пресекот на вентилот да биде таков, вентилот да е способен да одведува толкаво количество на пара, притисокот во котелот да не помине 10 % од најголемиот дозволен притисок. Промените на оптоварување на вентилите за сигурност, во смисла на зголемување, или смалување на притисокот во котелот, може да ги врши само надзорниот орган. Тие промени мора да бидат внесени во котелската книга.

Кај парните котли со цилиндар, вентилите за сигурност, вградени директно на цилиндарот, мора да испуштаат најмалку 50 % од вкупната потребна количина на пара за испуштање. Останатите вентили за сигурност, можат да се сместат и на крајот на прегревачите на пара. На излезот од прегревачот на пара треба да се постави вентил за сигурност за најмалку 25 % од вкупно потребната количина на пара за испуштање. Збирот на количините на пара што се испуштаат од сите сигурностни вентили мора да биде 100 %.

Манометар

Секој парен котел мора да биде опремен со еден надежен манометар, пломбиран од страна на контролата за мерки и драгоцености, или други установи овластени за тоа. Поделбата на скалата мора да биде означена во bar (MPa).

Максимално дозволеният притисок во котелот на скалата на манометарот мора да биде обележена со црвена линија. Горната граница на покажување на манометарот мора да изнесува за 2 bar повеќе од најголемиот пробен притисок при испитување на ладно со вода.

Манометарот мора да биде добро осветлен, заштитен од дејството на топлиите гасови и поставен така да може од местото на ракувачот на котелот добро да се види неговото покажување.

Спојот на манометарот со парниот котел мора да биде изведен со свиткана цевка. На оваа цевка од приклучокот на котелот, до манометарот, не смее да постои ни еден вентил, освен трокрака славина за приклучување на контролен манометар. Ако манометарот е поставен на свиткана цевка со должина поголема од 1 m, дозволено е поставување на славина помеѓу котелот и трокраката славина заради затворање на доводот на пара, но под услов оваа славина постојано да биде отворена и во таа положба пломбирана. Освен тоа на оваа цевка мора да се постави и славина за испуштање на кондензатот.

Котелска плочка

На секој котел мора да постои котелска плочка (табличка) на која јасно мора да биде означено:

- името на производителот на парниот котел и местото на градење на котелот,
- фабричкиот број на парниот котел,
- годината на градење на котелот,
- максимално дозволения работен притисок во bar.

Горните податоци мораат да бидат испишани (со втиснати, или испакнати букви) на метална плочка, која е споена непосредно со лимот на парниот котел со четири закивци, или завртки. Плочката се поставува на место на кое и после отстранување на изолацијата, ќе остане видлива.

Канали за гасови и оџаци

Кај стационарните засидани парни котли каналите за гасови мора да бидат пристапни. Нивните попречни пресеци мора да одговараат на пресметките, но во секој случај мораат да бидат најмалку со димензии во кои може да се впише квадрат со страни од 450 mm.

Во каналите за гасови влегуваат и каналите за пламен, било тие да се наоѓаат во самиот котел, или надвор од него. Затоа овие канали мора добро да бидат осидани и изработени од соодветен материјал. Каналите за пламен се такви канали во кои се врши процесот на согорување на горивата, а каналите за гас се оние канали низ кои поминуваат продуктите на согорување (гасо-вите), по завршениот процес на согорување.

Неподвижните оџаци мора да одговараат на градежните прописи и мора да бидат доволно високи, не само заради потребната промаја, туку и заради заштита на човековата околина.

Во населените места, при употреба на релативно ниски оџаци, со цел да се заштитат луѓето и вегетацијата, инспекторот за парни котли, во соработка со санитарниот инспектор, може да бара дополнително вградување на пречистувачи на чадните гасови.

Оџациите на подвижните парни котли мора да имаат вградени уреди за создавање на искри, заради спречување на опасноста од појава на пожар.

Вода за напојување на парните котли

Квалитетот на напојната вода по состав, мора да биде еднаков, или понизок од назначениот во Таблиците 1 и 2 во техничките прописи. При донесување на одлука за поставување на стационарен нов, или веќе уполт-

ребуван парен котел, до инспекторатот за парни котли треба да се достави и детална анализа на водата со која котелот ќе се напојува.

Должност на инспекторот за парни котли е да ја прегледа анализата и да оцени во поглед на начинот и условите под кои водата може да се употреби.

Заради контрола на квалитетот на напојната вода, потребно е повремено да се врши анализа на истата. Кај котлите што се непрекинато во работа и се напојуваат со вода од подземни извори, анализата треба да се врши еднаш годишно, односно два пати годишно, ако котелот се напојува од површински води.

Во поглед на контролата на квалитетот на напојната вода, техничкиот раководител и ракувачите со котелската постројка, должни се да се придржуваат на следното:

- за големите парни котли со водни цевки ($>150 \text{ m}^2$) со зголемено специфично испарување, обавезна е континуирана контрола на котелската вода на тврдост, алкалитет и густина,
- за котли со големо специфично испарување и за озрачени котли обавезна е секојдневна анализа на напојната вода. Најповолниот број на употребени анализи во текот на денот го утврдува управата на котелската постројка, врз основа на искусвени податоци.
- за парни котли со голема содржина на вода и за парни котли со водни цевки и умерени специфични испарувања не е обавезна редовна контрола на напојната вода, но е препорачлива.

Сместување на парните котли

Малите парни котли можат да се постават поединечно, или збирно секаде, при што мора да се води сметка за исполнување на градежните прописи и прописите за заштита од пожар.

Ако повеќе од два парни котла се постават слободно во работилници, или згради наменети за живеење, пароводите на секој од нив мора да се опремаат со вентил за сигурност.

Во работилници, или станбени простории, местото каде се поставуваат малите парни котли, мора да биде одвоено и ограничено од сите страни со огноотпорни огради високи најмалку 2 m со влезни врати и простор за минување околу котелот.

Средните парни котли можат да се постават пред работилници, или згради за живеење, како и во зградите во кои се работилниците, но не и во

работните простории, туку во посебни за тоа предвидени простории. Зградата (котларницата) може да се сида непосредно поред соседните згради, а може со нив да има и заеднички кров и плафон.

За сето останато кај средните котли ќе се применуваат одредбите за котларници за големи котли.

При поставувањето на *големите* парни котли обавезно е придржување кон следните одредби:

- големите парни котли не смеат да се поставуваат во згради за живеење,
- сидовите и подот мора да бидат од огнеотпорни материјали. Забрането е вградување на плафон.
- подот мора да биде издигнат над површината на околниот терен најмалку за 15÷20 см,
- заради обезбедување на лесно одведување на парата создадена во случај на експлозија, кровната покривка мора да биде од лесна конструкција. Кровот може да се покрие со железен лим, салонит, или тер хартија,
- во просториите каде се сместени парните котли мора да постојат најмалку два излеза во различни правци, од кои еден мора да води непосредно во празен простор. Вратите мора да се отвораат во насока на излезот и за време на погонот не смеат да се заклучуваат.
- ако во котларницата горивото се донесува со колички, или вагонетки, мора да се преземат мерки за спречување на влез на студен воздух,
- работните места, премините, просторот над котелот, платформите, сте-пениците, а посебно уредите за покажување на нивото и притисокот, како и напојните уреди, мора да бидат добро осветлени,
- напонот на електричната енергија, ако служи за преглед и поправка на парните котли и осидот, не смее да биде поголем од 24 V. Светилките мора да бидат добро изолирани и заштитени со мрежа,
- котларницата мора да исполнува одредени услови во поглед на дебелината на сидовите, материјалот, растојанието до котелот и висината.
- мора да се обезбеди температурата во котларницата да не надминува 30÷35 °C. Котларницата мора добро да се проветрува.
- котларницата мора да ги има сите потребни справи, апарати и материјали за гасење на пожар, вклучувајќи и песок,
- над сите влезови во котларницата мора да се постави натпис „за невработени влезот е забранет“.

САДОВИ ЗА ПАРА

На секој сад за пара мора да се вгради следната сигурносна опрема:

- најмалку еден вентил за сигурност со тег,
- еден манометар со трокрака славина за приклучување на контролен манометар. На скалата на манометарот со црвена линија мора да биде означен максимално дозволения притисок,
- вентил со испуст за празнење на садот поставен на најнискиот дел,
- по потреба и во договор со инспекторот за парни котли, на пароводот може да се вгради автоматска справа за затворање, во случај на нагла промена на притисокот на парата,
- плочка со ознаките на производителот, бројот, годината на изработка и максимално дозволения притисок во бар.

Ако кај садот за пара, заради карактеристиките на самиот погон, тешко може да се вгради манометар, или вентил за сигурност, во согласност со инспекторот за парни котли тие можат да се заменат со термометар, на кој јасно ќе биде означена најголемата дозволена температура.

Секој сад за пара што не е опремен со вентил за сигурност, мора да се опреми со уред за испуштање на гасови и пара со рачен погон. Гасовите, или парите кои можат да бидат опасни по луѓето вработени во близина на садот, мора да се испуштаат надвор од работните простории.

Дозволено е вентилот за сигурност и манометарот да се постават на самиот паровод, ако тие не можат да се постават директно на садот, но под услов да бидат што поблиску до садот со пара и пред вентилот за затворање.

Садовите со пара во кои дозволения максимален работен притисок е помал од притисокот во парниот котел од кој се напојува садот за пара, мораат да бидат опремени со вентил за редуција на притисокот, кој се вградува на пароводот пред влезот во садот. Во тој случај зад вентилот за редуција мора да се постави вентил за сигурност.

Садовите за пара можат да бидат поставени и во работните простории. Просторијата мора доволно да биде проветрена.

ПРЕГРЕВАЧ НА ПАРА

На секој прегревач на пара мора да постои најмалку еден вентил на сигурност. Вентилот мора да биде пристапен за контрола и преглед.

Кај подвижните прегревачи на пара вентилот за сигурност може да биде со пружина, додека кај сите останати прегревачи на пара вентилот за сигурност треба да биде со тег.

Покрај вентилот за сигурност на прегревачот на пара треба да се вгради:

- цевка за одведување на вишокот на пара при отворање на вентилот за сигурност,
- вентил со испуст за испуштање на кондензатот, кој се поставува на најниското место на прегревачот, ако самата конструкција тоа го овозможува,
- термометар на излезот од прегревачот,
- манометар за мерење на притисокот, со приклучок за контролен манометар, ако е прегревачот одвоен од котелот.

На секој прегревач на пара мора да биде вградена инсталација за полнење со вода, со цел за заштита на загревните површини од прегревање од врелите гасови, за време кога истиот не е во погон.

ЗАГРЕВАЧ НА ВОДА

Загревачите на вода можат да бидат:

- *без испарување* - за загревање на вода до температура под температурата на вриење, односно загревање без појава на испарување,
- *со испарување* - со појава на делумично испарување во самиот загревач на вода.

Кај загревачите *без испарување* температурата на загреаната вода мора постојано да биде пониска за 30 °C од температурата на заситена пара.

Кај загревачите на вода *со испарување* температурата на водата може да ја достигне температурата на заситена пара.

На секој загревач на вода мора да се вгради вентил за сигурност и тоа на излезот на водата. На цевките за одведување на водата, или смесата на вода и пара кон вентилот за сигурност не смее да биде вграден вентил, славица, или друга слична направа. Вентилот за сигурност мора да биде пристапен за преглед и контрола. Се поставува на највисокото место на загревачот на вода.

Вентилот за сигурност треба да биде регулиран да отвори кога притисокот ќе се зголеми за 25 % над дозволеният во котелот.

На влезот и излезот од загревачот на вода мора да постојат и приклучоци за термометри. На излезот од загревачот обавезно треба да постои термометар.

На секој загревач на вода мора да постои манометар со добро видлива скала и приклучок за контролен манометар.

На најниското место треба да постои вентил, славина или друга направа за празнење на водата и одсолување.

НАДЗОР НАД КОТЕЛСКАТА ПОСТРОЈКА

Котелската постројка не смее да се гради, пренамени, или премести, нити стави во погон без соодветно одобрение на инспекторот за парни котли.

Пријавата за градба, или пренамена на котелската постројка треба да содржи точно определени податоци.

Врз основа на пријавата надлежниот инспектор за парни котли издава одобрение кое може да биде дефинитивно или со примедби грешките најдени при поставувањето, реконструкцијата или преместувањето да се отстранат.

За подвижните парни котли, по извршеното прво испитување со вода под притисок на ладно, се издава само одобрение за употреба. Дозволата ја издава надлежниот инспектор за парни котли.

Одобрение за монтирање на парен котел постар од 25 години, како и на парен котел чие потекло на материјалот не е познато, се издава само по претходно извршен детален внатрешен преглед од страна на инспекторот за парни котли.

Поставената котелска постројка не смее да се пушти во погон се додека на неа не се изврши преглед. Заради тоа корисникот е должен, до инспекторот за парни котли, да поднесе барање. Инспекторот е должен во најкраток временски рок, да изврши преглед, а најкасно 10 дена по добиеното барање. За време на прегледот и испитувањето на конструкцијата, инспекторот на парни котли утврдува дали котелската постројка во се одговара на цртежите и описите, врз основа на кои е дадено претходното одобрение.

Прегледи

На сите котелски постројки, во одредени рокови се вршат следните прегледи:

- испитување под притисок со ладна вода,
- внатрешен преглед, и
- надворешен преглед.

Прегледите од претходниот став можат да бидат: *прв, редовен и вонреден.*

Првиот преглед се врши после поставувањето, преместувањето, или реконструкцијата на котелската постројка, извршен врз основа на издадено одобрение, пред да се пушти котелската постројка во погон.

Одобрението за пуштање на котелската постројка во погон го издава инспекторот за парни котли, ако испитувањето на ладно и внатрешниот преглед дале добри резултати.

При ставање во погон на стационарна котелската постројка или сад за пара, неопходно е потребно да се изврши и надворешен преглед.

Редовни прегледи се: испитување под притисок со ладна вода, внатрешен и надворешен преглед, во определен временски интервал.

- испитување под притисок со ладна вода, со обавезен внатрешен преглед, се врши после секоја 6 година на работа.
- наредниот внатрешен преглед - секоја трета година, со тоа што секој втор внатрешен преглед се врши со истовремено испитување под притисок со ладна вода.
- редовниот внатрешен преглед се врши изненадно, без претходно обавестување.

Во случај на неповолни резултати од редовниот преглед, инспекторот на парни котли може да изврши повторен преглед, од како претходно ќе се отстранат сите недостатоци најдени при прегледот.

Вонредните прегледи се вршат:

- пред ставање во погон на котелската постројка, која 2 или повеќе години била вон погон,
- кога постројката била во пожар, или останала без вода,
- ако постројката е оштетена и бара: измена на пламената цевка или некој друг дел на котелот, измена на повеќе од 25 % од вкупниот број на водни цевки, или 50 % од гасните цевки;

Покрај вонредното испитување под притисок со ладна вода и внатрешниот преглед, инспекторот за парни котли може да нареди да се изврши и вонреден надворешен преглед.

Постапка при испитување под притисок со ладна вода и при внатрешен преглед

a. Испитување под притисок со ладна вода.

При испитување на парните постројки под притисок со ладна вода, пробниот притисок мора да изнесува:

- 1,3 p , каде p е работен притисок, но најмалку 1 bar над истиот,
- кај парни постројки кај кои внатрешноста не е доволно прегледана - 1,5 p , но најмалку 1 bar над работниот притисок,
- кај парни котли со безрабни цевки -1,2 p .

Притисокот на ладната вода се мери со званичен контролен манометар на инспекторатот за парни котли. Притисокот мора да се држи најмалку 5 min, после што истиот се снижува до максимално дозволеният работен притисок.

Испитувањето е успешно ако:

- на парната постројка не се појават пукнатини,
- не е приметено истекување,
- не се појавуваат видливи промени на обликот.

Испитувањето се смета за неуспешно, ако на заварените места е приметено и најмало истекување. Во тој случај инспекторот за парни котли определува рок за нивно отстранување и повторување на испитувањето.

б. Внатрешен преглед

Внатрешниот преглед се смета за успешен ако на сидовите на котелската постројка не се приметува:

- раслојување и пукнатини,
- оштетувања предизвикани од корозија,
- деформација, испупчувања од прегревање на лимот и тн.
- оштетувања на закивците, завртките, анкерите и др.,
- неисправност на заварените споеви.

Пред испитувањето со ладна вода под притисок, или пред внатрешниот преглед, котелската постројка мора да се исклучи од работа, прописно да се олади, добро очисти од котелскиот каменец, талог, саѓи и гареж. Целокупната армиатура мора добро да биде очистена, славините и вентилите по потреба обработени. Прирабниците, затвораците и друго треба добро да бидат затнати.

Котелот кој е паралелно вклучен во заеднички паровод, пред испитување мора да се одвои од пароводот, а исто така и од водоводената мрежа, со блиндирање. Котелските површини, пред внатрешниот преглед, со ништо не смеат да се премачкаат.

За осветлување на котелскиот простор и каналите за гас се забранува употреба на петролејски лампи и други светилки со отворен пламен.

Поставка со котелската постројка

Ако при прегледот се утврди дека состојбата на котелската постројка ја загрозува сигурноста, инспекторот за парни котли дава наредба за прекин на работата. Одлуката мора да се запише во котелската книга.

По доведувањето на постројката во исправна состојба, прегледите мора да се повторат. Ако котелската постројка не се доведе во исправна состојба, се одзема котелската исправа и постројката се става вон употреба (се касира). Решение за ставање на постројката вон употреба донесува стручна комисија, во чиј состав има најмалку два инспектори на парни котли.

Ако при прегледот се утврди дека котелската постројка е ослабена, но се уште е способна за работа со снижен притисок, инспекторот за парни котли ја утврдува состојбата и ја проверува по пресметковен пат, после што дава одобрение за работа со снижен притисок (нормална работа со скратено време за преглед, или работа со снижен притисок и скратено време).

Материјал

Парната постројка во поглед на конструкцијата, материјалот, изработката, приборот и начинот на поставување мора да одговара на најновите достигнувања во науката и техниката.

Сидовите на парната постројка можат да се изработат од: Сименс-Мартинови јаглородни челици, електрочелици и легирани челици.

Котелските и цевките од прегревачот на пара можат да бидат безработни, или заварени. Квалитетот на цевките мора да одговара на притисокот и температурата на средината за која е цевката наменета.

За сите цевки испорачателот треба да поднесе доказ за квалитетот на употребениот материјал, према важечките стандарди.

Погон на котелската постројка

Со котелската постројка може да ракува лице квалификувано за тоа. Неквалификувано лице не смее да ракува со постројката, но може да се употреби, покрај квалификувано, како помошно лице.

Во просторија каде се сместени поголем број на котелски постројки, мора да се вработат доволен број на раководители на тие постројки, со цел да се обезбеди нивна сигурна работа.

Котелската постројка за време на работата мора да биде постојано под надзор на овластено лице.

Кај подвижните парни котли со секој котел мора да ракува испитан и квалификуван ракувач. Не е дозволено едно исто лице истовремено да ракува со два подвижни парни котли.

Котелска исправа

По извршениот прв преглед на котелската постројка, инспекторот за парни котли, на корисникот му издава котелска исправа. Во котелската исправа се внесуваат:

- податоци за корисникот,
- податоци за котелската постројка,
- податоци за успешно извршеното прво испитување.

Во котелската исправа се додава и дел во кој се обележуваат редовните и вонредните прегледи предвидени со овие прописи. Наодите и наредбите, впишани во котелската исправа, инспекторот за парни котли ги потврдува со потпис и печат.

Ако котелската постројка е ставена вон погон, или е касирана, котелската исправа се доставува до инспекторот за парни котли, со образложение зошто е доставена.

При промена на корисникот на котелската постројка, дотогашниот корисник должен е во рок од 10 дена оваа промена да ја пријави до надлежниот инспекторијат за парни котли. По извршената регистрација на настаната промена, инспекторатот на парни котли ја враќа котелската исправа на новиот корисник.

Секоја промена на местото на стационарната котелска постројка, корисникот е должен претходно да ја пријави на надлежниот инспекторијат за парни котли, и претходно за тоа да побара одобрување, со доставување на сите потребни податоци, како и за нова постројка.

Пријава на измените и оштетувањата

На котелската постројка може да се изврши измена на помошните уреди, или реконструкција, само со претходно одобрение на надлежниот инспектор за парни котли.

За вршење на поправка на зградата на котларницата, претходно мора да се побара одобрение од надлежниот инспектор за парни котли.

Корисникот е должен веднаш да го извести надлежниот инспектор за парни котли ако:

- на котелската постројка се случат било какви оштетувања (прскање, прегревање, испупчување, експлозија во каналите),
- котелската постројка е делумно, или потполно зафатена со пожар. Во тој случај веднаш се прекинува со работата,
- ако во котларницата, или во соседните простории се појави пожар.

Ако за време на несреќа, пожар и тн. поред штетата што е нанесена на котелот, бил оштетен некој преграден ѕид, е повредено некое лице и тн., покрај инспекторот за парни котли, корисникот е должен да го извести и надлежното министерство за внатрешни работи.

Ако се случи експлозија, корисникот на котелската постројка е должен веднаш да го извести надлежниот инспектор за парни котли.

До доаѓањето на инспекторот, корисникот настојува на местото на експлозијата и во нејзината блиска околина, ништо да не се допира, поместува, или отстранува.

Дозволено е отстранување на расфрлани делови или рушевини, само во случај кога е потребно да се спасат настраданите луѓе или имовина, како и заради отстранување на опасност од нова експлозија.

Ако во случај на експлозија, отфрлените делови паднат на железничка пруга, телефонско-телеграфски кабли, или електрични далеководи, или оштетат канали за одводнување или наводнување, корисникот на котелската постројка е должен веднаш да ги извести, по најкраток можен пат, организациите кои управуваат со овие постројки.

2.3. ТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ

2.3.1. Поделба на турбинските постројки

Турбинската постројка, како што е погоре речено, е комплекс на повеќе основни и помошни агрегати и уреди со кои се врши трансформација на топлинската енергија на работниот флуид во електрична енергија. Принципиелна топлинска шема на турбинска постројка е дадена на сл.2.3.1.

Во зависност од: конструктивните особини; карактерот на топлинскиот процес, видот и параметрите на работниот флуид, искористувањето и намената, турбинските постројки можат да се поделат на следниот начин:

- *парнотурбински, и*
- *гаснотурбински.*

Кај *парнотурбинските постројки* низ турбината струи пара, а кај *гаснотурбинските* струи гас (продукти на согорување, воздух и др.).

Парнотурбинските постројки најчесто работат со водна пара, како работен флуид. Има постројки што работат и со пара на H_g (жива), но тие се малубројни. Постојат и експериментални постројки што работат со фреонска пара, но тие се уште немаат големо значење во енергетиката.

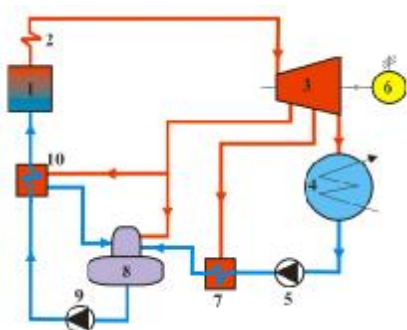
Во зависност од начинот и местото од каде парата се одведува, парнотурбинските постројки се делат на:

- кондензациони,
- противпритисни,
- со регулирано одземање на пара и кондензација.

Кондензационите турбински постројки (сл.2.3.1) се оние кај кои парата што излегува од турбината, се носи во кондензатор, каде се кондензира со помош на флуидот за ладење (вода или воздух). Притисокот на парата, што се кондензира во кондензаторот, по правило е понизок од атмосферскиот.

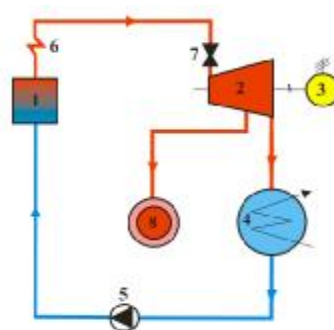
Противпритисните турбински постројки се оние кај кои притисокот на излезот од турбината е повисок од атмосферскиот и е еднаков на притисокот потребен за некој технолошки процес. Значи во нив се добива електрична и топлинска енергија.

Турбинските постројки со регулирано одземање на пара и кондензација (сл.2.3.2.) се оние постројки кај кои еден дел од парата се одзема за задоволување на потребите на технолошките потрошувачи, а останатиот продолжува да експандира до притисок во кондензаторот. Според тоа овие постројки служат за добивање на електрична и топлинска енергија.



Сл. 2.3.1. Принципиелна топлинска шема на кондензациона парнотурбинска постројка.

1-парен котел, 2-прегревач; 3-парна турбина, 4-кондензатор, 5-пумпа за кондензат, 6-електрогенератор, 7-нископритисен загревач, 8-дегазатор, 9-напојна пумпа, 10-високопритисен загревач.



Сл. 2.3.2. Принципиелна топлинска шема на парнотурбинска постројка со одземање на пара и кондензација.

1-котел, 2-парна турбина, 3-електрогенератор, 4-кондензатор, 5-напојна пумпа, 6-прегревач на пара, 7-регулационен вентил, 8-потрошувач на топлина (технолошка пара)

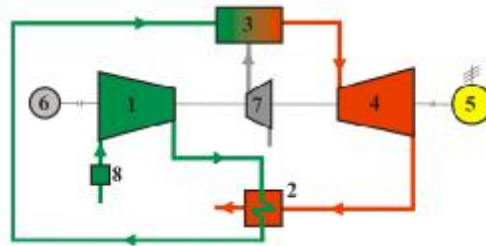
Гаснотурбинските постројки, во зависност од начинот на одвивање на работниот процес се делат на:

- гаснотурбински постројки со *отворен* процес на работа,
- гаснотурбински постројки со *затворен* процес на работа.

Кај гаснотурбинските постројки (сл.2.1.7.) со затворен процес на работа, работното тело (гас) врши затворен кружен процес на работа. Овие постројки првенствено се наменети за производство на електрична енергија и се од стационарен вид.

Кај гаснотурбинските постројки (сл.2.3.3.) со отворен процес на работа, воздухот што се зема од атмосферата, се компримира во компресорот, се користи за согорување на горивото во комората за согорување и после експанзијата во турбината повторно се исфрла во атмосферата.

Овие постројки се многу погодни за примена во авијацијата (каде сосема ги истиснале клипните мотори), бродарството и транспортот (локомотиви, автомобили и др.).



Сл. 2.3.3. Принципиелна топлинска шема на гаснотурбинска постројка со отворен процес на работа.

1-компресор, 2-регенеративен изменувач на топлина, 3-комора за согорување, 4-гасна турбина, 5-електрогенератор, 6-електромотор за почетно пуштање во погон, 7-пумпа за гориво, 8-филтер за прочистување на воздухот.

2.3.2. Основни елементи и принцип на работа на топлинските турбини

Основниот елемент од топлинската постројка во кој се врши трансформација на потенцијалната енергија во механичка работа е топлинската (парна, гасна) турбина.

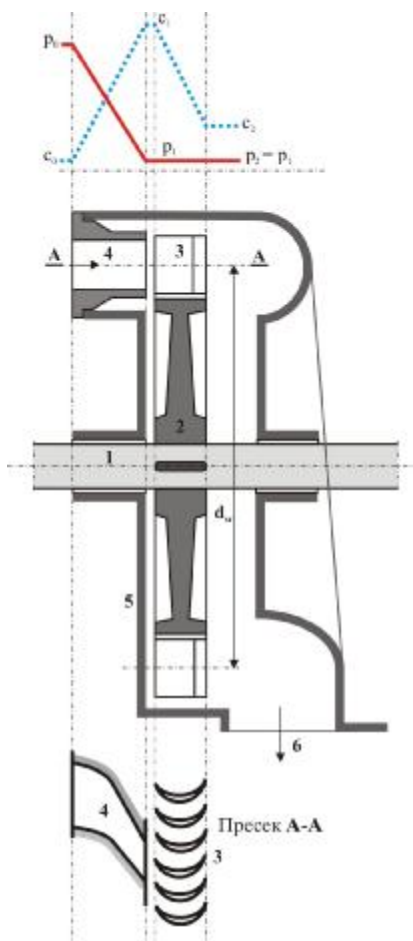
Основниот принцип на работа на топлинската турбина е познат многу одамна, но до практичната реализација на првата турбина се чекало се до крајот на 19 век.

Бидејќи кај топлинските турбини, потенцијалната енергија прво се трансформира во кинетичка енергија на работниот флуид, тие мора да имаат такви елементи, во кои тоа може да се постигне. Претворањето на потенцијалната во кинетичка енергија на работниот флуид се врши во специјални неподвижни канали, чии пресеци се менуваат на соодветен начин, т.н. *статорски дел* на турбината (сл.2.3.4.).

Претворањето на кинетичката енергија на работниот флуид во механичка, во вид на вртење, се извршува во т.н. *роторски дел* на турбината, односно во каналите меѓу работните лопатки. Според тоа може да се каже дека два најважни елементи на секоја турбина се: *спроводниот* (статорски) апарат со неподвижни статорски лопатки - млазници распоредени по периферијата и *работното коло* со роторски (работни) лопатки распоредени по неговата периферија.

Спроводниот апарат и работното коло го формираат турбинскиот степен.

Секоја турбина покрај овие два најважни функционални елементи, мора да има и други главно конструктивни елементи. Односно, едното или повеќето работни кола мора да бидат прицврстени за вратилото, со чија помош вртливиот момент, преку спојницата, се пренесува на електрогенераторот. Вратилото, заедно со работното коло или со повеќето работни кола, се нарекува *ротор на турбината*.



Сл. 2.3.4. Меридионален и цилиндричен пресек на едностепен аксијална турбина.

1-вратило, 2-роторски диск, 3-работни лопатки, 4-млазници, 5-турбинска обвивка, 6-излез на парата.

За да не дојде до истекување на работниот флуид во околината, внатрешноста на турбината мора да биде затворена. За таа цел служи турбинската обвивка 5.

На местото каде роторот излегува од куќиштето, мора да се спречи истекувањето на работниот флуид, или навлегувањето на воздух. За таа цел на тие места се поставуваат *лабиринтски затинки*.

Заради аксијалното и радијалното водење на роторот, мора да постојат аксијални и радијални лежишта.

Принципот на работа може да се објасни според сл.2.3.4. Во млазниците 4, прикренени на турбинската обвивка 5, потенцијалната енергија на работниот флуид се трансформира во кинетичка, како резултат на што тој од нив истекува со брзина c_1 . Формата на каналите на млазничкиот апарат е прикажана на сл.2.3.4 со пресекот А-А.

Истекувајќи од млазничкиот апарат, работниот флуид навлегува во каналите меѓу работните лопатки 3, прикренени на периферијата на роторскиот диск 2, кој е директно споен со вратилото на турбината 1.

При протекување на работниот флуид низ каналите меѓу работните лопатки, дел од кинетичката енергија се предава на работните лопатки, така

што брзината на излезот се намалува до големина c_2 . Разликата во кинетичката енергија на работниот флуид пред и зад работните лопатки е еднаква на добиената механичка енергија (работа) на вратилото на турбината. Односно, во каналите формирани од работни лопатки, дел од кинетичката енергија на протокот на флуидот се претвора, по пат на импулс, во механичка енергија, изразена како вртење на вратилото на турбината.

Трансформацијата на потенцијалната во кинетичка енергија може да се изврши на неколку начини. Во зависност од карактерот на претворањето на потенцијалната енергија на флуидот во кинетичка, се разликуваат акциони (импулсни) турбини (сл.2.3.4.), реакциони турбини и акциони турбини со мал степен на реактивност.

Турбините во кои процесот на експанзија на флуидот се одвива само во статорските лопатки (млазниците), а кинетичката енергија се претвора во механичка работа во работните лопатки, без експанзија во нив, се нарекуваат акциони. Кај реакционите турбини експанзијата на работниот флуид се извршува и во статорските и во роторските лопатки. Во акционите турбини со мал степен на реактивност, експанзијата се извршува во поголем дел во статорските лопатки, а само мал дел се извршува во роторските лопатки. Со тоа се наголемува економичноста на работата на чисто акционите турбини, а се олеснува нивната конструкција.

Според бројот на турбинските степени, турбините можат да се поделат на едностепени и повеќестепени. Едностепените турбини се со мала единечна моќ и релативно низок КПД, но затоа се поефтини. За добивање на поголема моќ од еден агрегат, при што производството на електрична енергија значително се поефтинува, турбината треба да биде повеќестепена, со повеќе степени наредени еден позади друг, во една заедничка турбинска обвивка. Повеќестепените турбини се користат за производство на електрична енергија во термоцентралите, а едностепените турбини за директен погон на помошни апарати (пумпи, компресори и др.). Конструкцијата на едностепените турбини е едноставна (сл.2.3.4.), а нејзиното одржување ефтино и едноставно. Основните проблеми при експлоатација и одржување се појавуваат кај повеќестепените турбини.

2.3.3. Основни елементи на парнотурбинската постројка

Основни елементи на турбинската постројка зависат од типот (парна, гасна, нуклеарна, индустриска и тн.) и од нејзината големина. Кондензационите парнотурбински постројки се најприменувани за производство на електрична енергија во целиот свет и затоа тие посебно ќе бидат објаснети.

За нивна правилна експлоатација и заштита, од посебна важност се системите за регулирање на турбината, системот за снабдување со масло, системот за ладење на парата и нејзино кондензирање и системот за ладење на маслото и водородот или воздухот за ладење на електрогенераторот.

На сл.2.3.5 е дадена принципиелна шема на парнотурбинска постројка со помошните инсталации за масло и кондензација. Парната турбина има повеќе системи за заштита. Еден од нив е и вентилот за брзо затворање 1, кој дејствува тогаш кога бројот на вртежите на турбината ќе се зголеми многу брзо, така што регулациониот вентил 2, нема време да се затвори. При почетно пуштање на турбината, парата се доведува низ вентилот за затворање 3, а после тоа се пушта и низ вентилот за брзо затворање.

На местата каде роторот излегува во турбината, помеѓу него и статорските делови постојат процепи 5 и 6. Заради големата разлика меѓу притисокот на парата и атмосферскиот, низ овие процепи излегува пара. Тоа истекување претставува чиста загуба на работен флуид и затоа се тежи тоа да се намали на најниска можна мерка. Истекувањето се намалува со затнување на процепите помеѓу роторот и статорот на турбината, со т.н. *лабиринтски затинки*. Се разликуваат предни 5 и задни 6 лабиринтски затинки. Во практиката овие затинки меѓу себе се поврзани со повеќе врски (линија 14 сл. 2.3.5.). Маслото кај парните турбини има две задачи и тоа: да ги подмачкува површините кои се тријат (лежиштата) и да врши регулирање и заштита на турбината, односно како погонско средство во хидрауличните сервомотори на системот за регулирање и заштита на турбината.

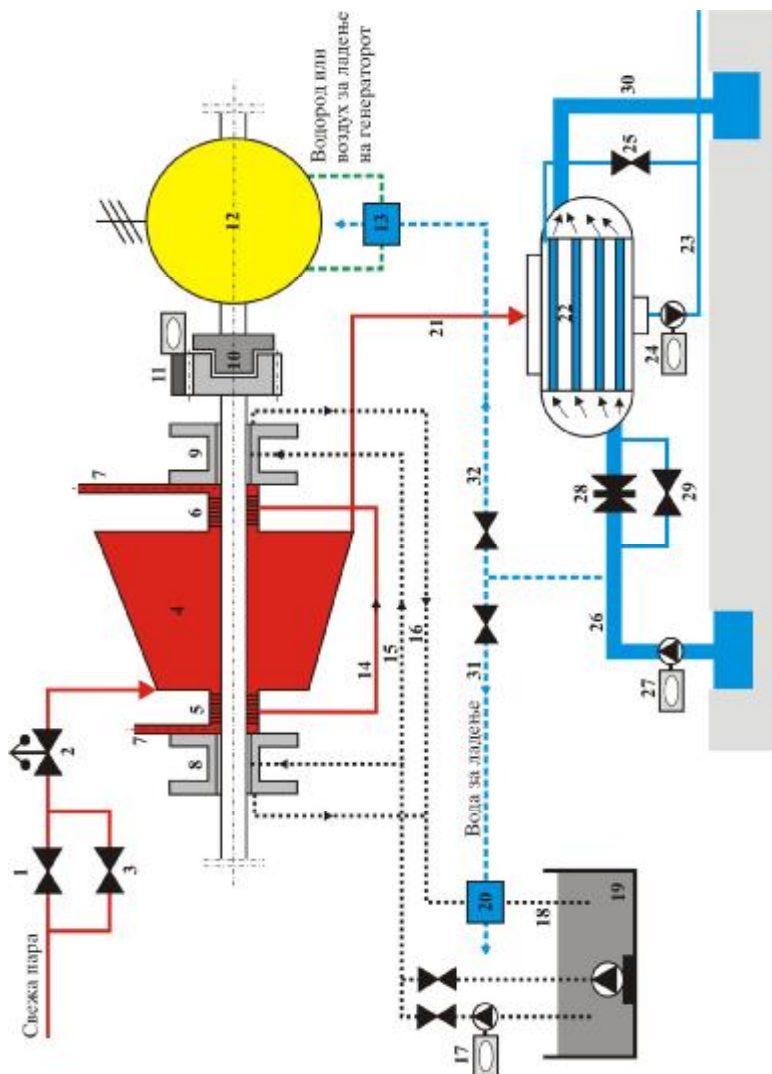
Маслото, низ системот за подмачкување, или регулација, се потиснува со помош на пумпата за масло која се погонува од вратилото на турбината 18. При пуштање на турбината во погон, кога вратилото се врти со мал број на вртежи, маслото се погонува со помош на пумпата за масло 17, погонувана рачно, со електромотор или со мала парна турбина. Загреаното масло се лади во ладилник за масло 20 со вода за ладење и така оладено се слива во резервоарот 19.

За елиминирање на аксијалните сили во турбината се вградува едно аксијално лежиште, кое денес најчесто се изведува комбинирано, т.е. како радијално-аксијално лежиште 8.

Спојницата 10 на роторот на турбината со роторот на електрогенераторот е назабена. Преку полжестиот пренос 11, погонуван со електромотор, може вратилото на турбината да се врти со мал број на вртежи, што е многу битно при пуштање во погон и запирање на турбината. Изработената пара во турбината се кондензира во кондензатор. На сл.2.3.5. е прикажана кондензаторска постројка со површински кондензатор. Во кондензаторот парата ја ме-

нува агрегатната состојба, се кондензира, предавајќи ја ослободената топлина на водата за ладење.

Водата за ладење од изворот (река, езеро, ладилна кула и т.н.), со помош на циркулационата пумпа 27, преку цевководот 26, се потискува кон кондензаторот, поминува низ цевките на кондензаторот, каде се загрева за околу $8\div 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и низ цевководот 30 се одведува од кондензаторот.



Сл. 2.3.5. Шематско представување на парнотурбинска постројка со помошни инсталации за масло и кондензација.

Легенда кон сл. 2.3.5.

1-вентил за брзо затворање на парата; 2-регулациони вентили; 3-вентил за затворање; 4-турбина; 5-предна лавиринтска затинка; 6-задна лавиринтска затинка; 7-цевки за одвод на парата од затинките кон атмосферата; 8-предно ради-аксијално лежиште; 9-задно радијално лежиште; 10-спојница; 11-полж со електромотор за споро вртење на вратилото од турбината; 12-електрогенератор; 13-ладилник на флуидот за ладење на електрогенераторот; 14-паровод кои ги поврзува предната и задната лавиринтска затинка; 15-потисен цевовод за системот за масло; 16-повратен цевовод за системот за масло; 17-помошна пумпа за масло; 18-главна пумпа за масло; 19-резервоар за масло; 20-ладилник за масло; 21-паровод кон кондензаторот; 22-површински едноододен кондензатор; 23-цевовод за транспорт на кондензат; 24-пумпа за кондензат; 25-вентил на повратната врска на кондензатот и кондензаторот; 26-цевовод за довод на разладна вода во кондензаторот; 27-циркулациона пумпа за разладна вода; 28-главен шибер-вентил на цевоводот за разладна вода; 29-помошен вентил на цевоводот за разладна вода; 30-цевовод за одвод на разладна вода; 31-цевовод на разладна вода во ладилникот за масло; 32-цевовод за разладна вода за ладилникот на електрогенераторот.

Од основниот цевковод се одвојуваат и цевководи за разладна вода за ладење на маслото во ладилникот за масло 20 и за ладење на водородот во ладилникот за водород 13. Помалите електрогенератори се ладат со воздух, а поголемите со водород. Добиениот кондензат во кондензаторот, со помош на пумпа за кондензат 24, се потиснува кон дегасаторот. Преку вентилот 25, основниот кондезат има и повратна врска со кондензаторот.

2.3.4. Подготовка на парнотурбинската постројка за пуштање во погон

Парната турбина е машина составена од низа јазли, детали и помошни инсталации (особено проточниот дел на турбината), кои се одликуваат со голема точност на изработка, монтажа и високи инвестициони вложувања. Голем дел од јазлите на турбината работат при многу тешки услови - високи температури, притисоци и број на вртежи. Работните услови уште повеќе се влошуваат при пуштање на турбината во работа и затоа во тој период потребно е внимателно да се следат сите појави што можат да доведат до тешки несакани последици по турбината.

Подготовката за пуштање на турбинската постројка во работа има за цел да овозможи нормално пуштање и заштита на постројката и персоналот.

Пред да се почне со подготовка на турбинската постројка за пуштање во работа, треба да се провери и испроба исправноста на следните системи:

- системот за разладна вода,
- системот за основен кондензат и нископритисна регенерација,
- системот за масло,
- системот за задвижување,
- системот за вакуум,
- системот за регенерација,
- системот за заштита.

Не смее да се дозволи пуштање на турбинската постројка во работа при следните случаи:

- При неисправност на основните прибори со кои се прати процесот во турбината и нејзината механичка состојба, (тахометар-мерач на бројот на вртежи, прибори за мерење на температурата, притисокот, вакуумот и тн.).

- При неисправен систем за масло и несоодветен квалитет на маслото. Својствата на маслото мора да ги задоволи потребните стандарди, потоа нивото на масло во резервоарот и во системот за регулација на дозволено ниво, основните, помошните и резервните пумпи за масло мора да се исправни, цевководите за масло да бидат непропустливи и тн.

- При неисправен систем за заштита. Иако, системот за заштита има повеќе јазли, турбината не смее да се пушти во работа ако е неисправна само една заштита. Основни елементи на системот за заштита, кои влијаат на доводот на пара во турбината се: реле на осното (осовинското) поместување на роторот на турбината, вакуум реле - кое го исклучува доводот на пара при наголемување на притисокот во кондензаторот, реле на падот на притисокот на маслото и др.

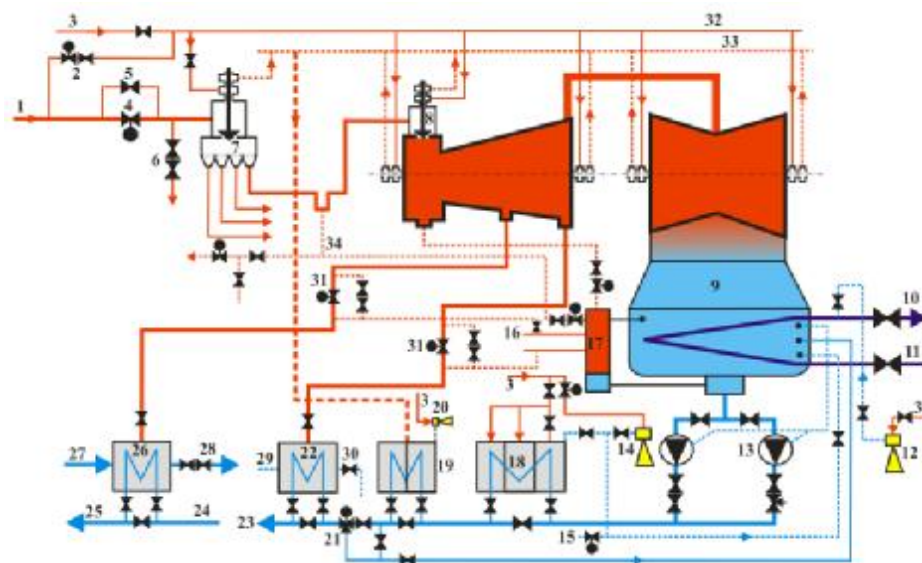
- При неисправност на системот за регулација (систем за регулација со масло, регулационите вентили, тахометарот и др.). Најголема опасност за турбината претставува залегувањето, односно зголемувањето на бројот на вртежите, при намалување на оптоварувањето на електрогенераторот. Во тој случај се зголемува центрифугалната сила што дејствува на роторските дискови и лопатки. При тоа, заради зголемување на напрегнувањата во нив, може да дојде до трајни деформации и до нивно кршење. За таа цел при смалување на оптоварувањето, регулационите вентили треба веднаш да реагираат и да го спречат влегувањето на пара во турбината. Регулационите и вентилите за брзо затворање на свежата и повторно прегреаната пара треба добро да затвораат, односно не смеат да пропуштаат пара која може да предизвика вртење на роторот на турбината.

- При неисправност на системот за задвижување и др.

По контролата, извршена на овие системи, може да се пристапи кон загревање на цевководите за пара. Во колку се работи за прво пуштање во работа, истите треба да се продуваат со пара со цел од нив да се отстранат остатоци од електроди и други предмети.

Загревањето на пароводите се врши бавно, со постепено наголемување на температурата, со цел да се избегнат брзите термички напрегнувања на материјалот. Загревањето се врши од еден до друг вентил за пара. Во почетокот се пушта мала количина на пара, која се кондензира во цевководот и затоа во тој период вентилите за одводнување мора да бидат отворени. По 30÷40 min настапува изедначување на притисокот од двете страни на вентилот и тој може да се отвори.

Важна операција при подготовката на турбинската постројка за пуштање во работа, после загревањето на цевководите за пара е пуштањето во работа на кондензаторската постројка (системот за разладна вода и системот за основен кондензат), прикажана на сл. 2.3.6.



Сл. 2.3.6. Принципиелна шема за пуштање на турбинската постројка во работа.

Пуштањето на кондензаторската постројка започнува со вклучување на циркулационите пумпи. За да може тоа да се постигне, потребно е системот да се наполни со вода. За отстранување на воздухот од просторот на разладна вода во кондензаторот, се вклучува ејекторот 12. По отстранувањето на воздухот, цевките во кондензаторот се полнат со вода (под дејство на

атмосферскиот притисок), а после тоа се вклучуваат во работа циркулационите пумпи.

После оваа операција се пуштаат во работа пумпите за кондензат 13. За да може тоа да се постигне, претходно во кондензаторот 9 се донесува хемиски подготвена вода (до дозволеното ниво), се отвора обезвоздушувањето на пумпите од парната страна на кондензаторот и истите се проверуваат на празен од. Во почетокот, преку вентилот 21, хемиски подготвената вода повторно се враќа во кондензаторот.

Тоа е неопходно потребно, затоа што, заради недоведувањето на пара во кондензаторот, може да дојде до целосно празнење на кондензаторот и пумпите да останат без вода. По создавање на кружна циркулација на водата, пумпи за кондензат се пуштаат во нормална работа.

После тоа се пристапува кон создавање на вакуум во кондензаторот и турбината. За таа цел се користи ејекторот за почетно пуштање во работа 14 и основните ејектори 18. Во почетокот се доведува пара на ејекторот за почетно пуштање во работа, со истовремено отворање на линијата за шмукање на сме-са на воздух и пара од кондензаторот. По создадениот вакуум од $13\div 20$ kPa, односно $100\div 150$ mmVS, се вклучува во работа основниот ејектор 18.

Во периодот на создавање на вакуум, со помош на ејекторот за почетно пуштање и основниот ејектор, се проверува работата на елементите од системот за снабдување со масло, подмачкување, заштита и регулација. Се проверува работата на пумпата за масло за почетно пуштање во работа, на резервната и хавариската пумпа за масло, работата на релето за притисок на маслото и исправноста на електричната блокада.

При работа на пумпите за подмачкување се проверува работата на системот за задвижување, составен од електромотор и полжест пренос. По проверката на системот за почетно задвижување на турбината, може да се зголемува вакуумот во кондензаторот, до ниво при кое може да се пушти пара низ турбината.

2.3.5. Пуштање во погон на турбинската постројка

Технологијата на пуштање во работа на турбинската постројка, зависи од типот на блокот котел-турбина, т.е. од конструкцијата и составот на опремата и од температурната состојба на опремата пред самото пуштање. Во зависност од температурата на турбината и главните пароводи, се разликуваат три состојби на пуштање во работа и тоа од: *ладна*, *неоладена* и *топла* состојба.

Ако котелот и пароводите се потполно оладени, а температурата на турбината не надминува 150 °С, се смета дека пуштањето во работа е од *ладна* состојба. За големи термоенергетски постројки, оваа состојба настанува по 90÷100 часа прекин на работата.

Ако температурата на металот на деловите за пуштање на пара во ВПТ и СПТ е помала од 400 °С, се смета дека пуштањето е од *неоладена* состојба. Пуштањето во работа од топла состојба одговара на температурата на металот на турбината помеѓу 420÷450 °С и повеќе. Таа состојба се воспоставува по 6÷10 часа прекин на работа.

Во практиката пуштањето од *топла* состојба се нарекува постапката за пуштање во работа на постројката, при прекин на работата во текот на ноќта, од неоладена состојба, по прекин на работата во сабота и недела, а од ладна состојба по прекин од повеќе денови.

Најбрзо се лади котелот, малку побавно се ладат цевководите за пара, вентилите за заштита на турбината и цевководите за повторно прегреана пара. Побавно се ладат цевководите за свежа пара и вентилите за брзо затворање, а најбавно се ладат цилиндрите на турбината. Според тоа заради различните брзини на ладење, основните елементи на блокот, имаат различни температури после запирање на работата.

Во зависност од конструкцијата на блокот (котел-турбина) во принцип се разликуваат два вида на постројки: *блок* и *не блок* постројки.

Технологијата на пуштање на парните турбини кај блок и не блок постројките се разликува. Турбините кај не блок постројките се пуштаат со пара со номинални параметри, што се доведува од магистралниот паровод. На овој начин се пуштаат во работа и турбините на атомските центри. Турбините на блок постројките се пуштаат во работа со параметри на парата со лизгање (променливи параметри на парата).

Пуштањето на моќните парни турбини е еден од најсложените експлоатациони режими кај кој се врши загревање и промена на топлинската состојба на нејзините елементи. Тешкотиите поврзани со пуштањето во работа зависат од конструкцијата на турбината, од количината на метал и конфигурацијата на одделните елементи, а исто така и од нееднаквите услови на довод на топлина кон неподвижните и подвижните делови.

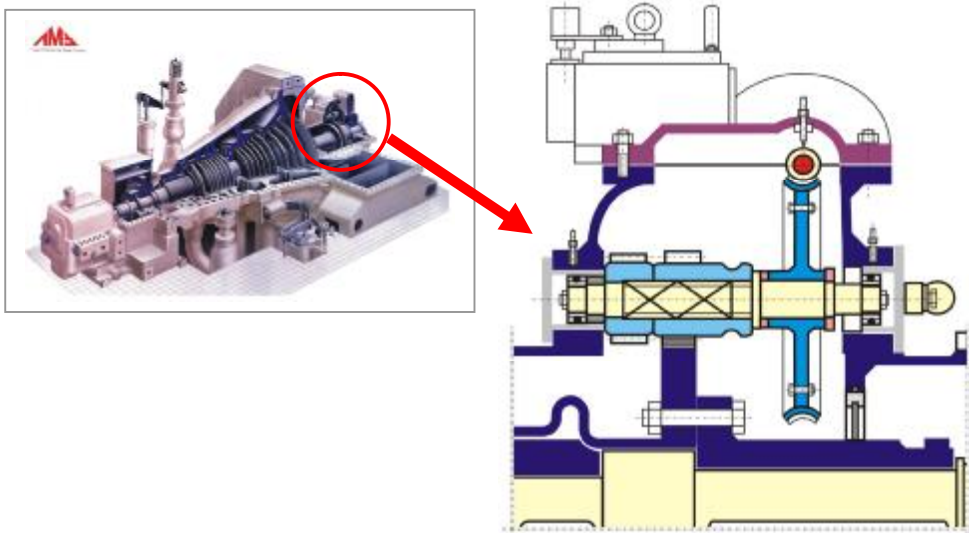
Загревањето на турбината, при нејзиното пуштање во работа од ладна состојба, може да се изврши на три последователни етапи, со иста цел, но со различно времетраење и тоа:

- загревање на елементите за влез на пара и високопритисната турбина, пред пуштање на турбината,
- понатамошно загревање после задвижување (побуда) на роторот се до синхронизација на бројот на вртежите и при работа на празен од, до вклучување на електрогенераторот, и
- завршно загревање по вклучување на електрогенераторот во мрежа во процесот на оптоварување на турбината од почетно до номинално оптоварување.

Темпото на загревање треба да обезбеди висока надежност при пуштање и во исто време негово нормално времетраење.

Загревањето на вентилот за брзо затворање и регулационите вентили, се врши преку пароводите за загревање на лавиринтските затинки. Пред да се доведе пара за загревање на лавиринтските затинки, роторот се задвижува со помош на систем за задвижување, со истовремено вклучување на ејекторот за одвод на смесата воздух-пара од затинките. Не се дозволува довод на пара кон лавиринтските затинки при стоење на роторот на турбината, заради опасност од појава на свиткување на роторот.

Непосредно пред задвижување на турбината, механизмот за управување со турбината се поставува на минимален број на вртежи. Исто така се вклучува и автоматот за заштита, а се отвораат вентилите за дренажа од телото на турбината и пароводите.



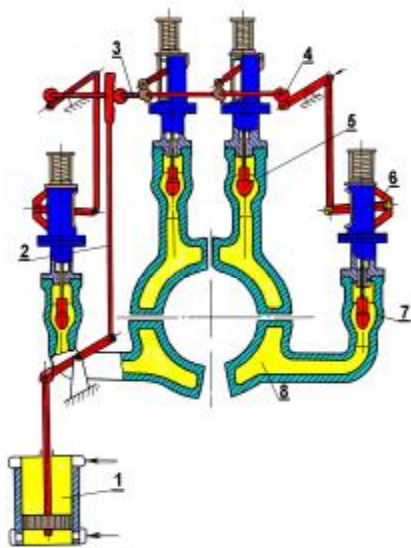
Сл. 2.3.7. Систем за задвижување (бавно вртење) на вратилото на турбината.

Доведувањето на роторот во состојба на вртење, може да се изврши на повеќе начини. Како што е речено погоре, почетното задвижување на роторот, се извршува со системот за задвижување на вратилото (сл. 2.3.7.).

Со електромотор, преку полжест пренос, се задвижува роторот со број на вртежи околу $0,1 \text{ s}^{-1}$. Бидејќи роторот се врти, кон надворешните лавиринт-ски затинки, може да се доведе пара. Со тоа се спречува воздухот да влегува во кондензаторот и може да се постигне подлабок вакуум во него. После оваа операција се пристапува кон пуштање на пара кон турбината.

Наједноставен начин на пуштање на пара во турбината е со отворање на еден од регулационите вентили (сл.2.3.8.), кој може да се држи отворен толку колку да се одржува потребниот број на вртежи. Сепак заради несиметричното загревање на телото (парата истекува само низ дел од млазниците), овој начин не се применува.

За задвижување на турбините со мала моќ и средни параметри на парата, често се користи вентилот за брзо затворање. Овој начин е можен само тогаш кога овој вентил има посебен уред за фина регулација на протокот на пара.



Сл. 2.3.8. Систем со регулациони вентили за распределба на парата

Најчесто за задвижување на турбината се искористува бајпасот ТПЗ (сл.2.3.8.), низ кој парата се доведува кон турбината низ сите млазнички сегменти (пакет на млазници), со што се обезбедува симетрично загревање на телото на турбината. Откако бројот на вртежи ќе се зголеми, автоматски се исклучува постројката за бавно вртење на турбината.

Во процесот на зголемување на бројот на вртежи на турбината, се појавуваат периоди, за време на кои бројот на вртежи останува непроменет. Тоа е неопходно потребно за рамномерно загревање на роторот и телото на турбината, особено при нејзино пуштање од ладно. За време на овие периоди исто така се врши одведување на создадениот кондензат од телото на тур-

бината. Откако турбината ќе се загрее, се пристапува кон зголемување на бројот на вртежите на роторот и тоа по $1,5 \div 2,5 \text{ s}^{-1}$.

Во тие моменти се внимава на вибрациите на турбинските лежишта и фундаментот. При појава на вибрации, турбината не се запира, туку се продолжува со загревањето на турбината за уште 10÷15 min, при ист број на вртежи.

Кај еластичните вратила (ротори чиј број на вртежи е повисок од критичниот број на вртежи), вибрациите се зголемуваат при број на вртежи од 30÷35 s⁻¹. Оваа зона на критични вртежи треба да се помине забрзано (пократко вереме на задржување во зоната на критични вртежи), после што вртежите се наголемуваат со нормална брзина.

Обично при број на вртежи од 47,5 s⁻¹, во дејство влегува и центрифугалниот регулатор на бројот на вртежите. При достигнувањето на номиналниот број на вртежи (50 s⁻¹), само еден од регулационите вентили е отворен (сл. 2.3.8.), а останатите се затворени. По проверката на исправната работа на системот за регулирање, може потполно да се отвори автоматскиот вентил за брзо затворање.

За време на загревање на турбината и достигнувањето на номиналниот број на вртежи, потребно е внимателно да се контролира брзината на загревање на коморите и цевководите за пара, вентилите за затворање, релативното издолжување и центричната положба на роторот, вибрациите на лежиштата на турбината, електрогенераторот и возбудителот, свиткувањето на роторот на цилиндарот за висок притисок, разликата на температурата на горниот и долниот дел на цилиндарот на турбината, температурата на маслото на излез од лежиштата и тн.

Особено внимание треба да се посвети на нивото на кондензат во кондензаторот, кое се зголемува со зголемувањето на протокот на пара низ турбината.

Температурата на маслото на влезот и излезот од лежиштата, мора строго да се контролира. Дозволено е пуштање на турбината кога температурата на маслото ќе достигне големина од 30 °C. Кога таа ќе ја надмине големината од 35 °C се вклучува во работа и ладилникот за масло. Обично температурата на маслото на излезот од ладилникот за масло, при работа на турбината се одржува на ниво од 45 °C, а на излезот од лежиштето до 65 °C.

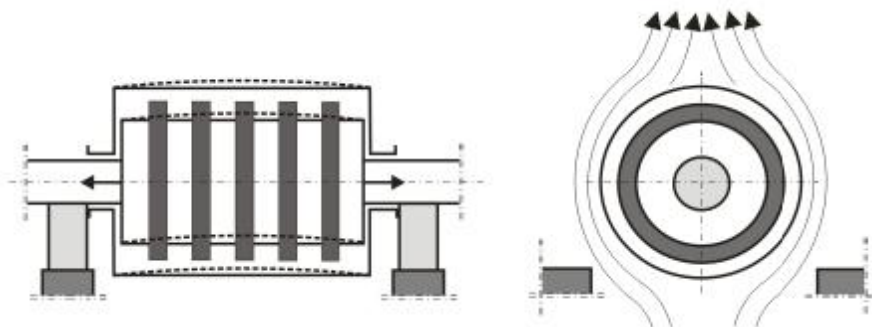
Работата на турбината, при број на вртежи близу до номиналниот, се нарекува *празен од на турбината*. При празниот од, не се произведува моќност, а целокупната енергија се троши на совладување на триењето во лежиштата и на триење на роторот со парата. Времето на празен од на турбината (кога не се произведува моќност) се ограничува. Со помош на механизмот за управување, бројот на вртежи на турбината се доведува до оној при

синхронизација, при што во исто време се проверува системот за заштита. Последна операција пред синхронизација е проверка на автоматскиот вентил за брзо затворање.

По синхронизацијата на машината и нејзиното вклучување во мрежата, се пристапува кон брзо зголемување на оптоварувањето, со истовремено следење на сите параметри.

Во процесот на оптоварување, посебно внимание треба да се посвети на релативното издолжување на роторот и по потреба се вклучува загревањето на потребните делови. Во исто време, заради зголеменото ниво на кондензат во кондензаторот, се затвора рачниот вентил, а се вклучува автоматскиот вентил за рецикулација.

На сл.2.3.9. е прикажано свиткувањето на роторот и турбинската обвивка заради ладењето на обвивката со студен воздух, што доаѓа од просторот каде што е сместена кондензаторската постројка и навлегува во машинската сала. Долните делови на роторот и обвивката се ладат побрзо и се свиткуваат нагоре.



Сл. 2.3.9. Шематски приказ на ладење на турбината по нејзиното запирање.



Сл. 2.3.10. Дијаграм на свиткувањето на вратилото во зависност од времето поминато од моментот на запирање.

Зависноста на свиткувањето на вратилото на турбината во mm, од времетраењето на запирањето, прикажана е на дијаграмот сл.2.3.10.

Како што е погоре речено, технологијата на пуштање во работа на парнотурбински не блок и блок постројки се разликува.

Кај парнотурбинските не блок постројки, пуштањето во работа е со пара со номинални параметри, што се доведува од магистралниот паровод, или од парниот колектор. Самиот процес на пуштање се изведува во три етапи.

Во *првата етапа* турбината стои, а се врши загревање на арматурата за пуштање на пара, цевководите и цилиндарот на високопритисната турбина. Особено внимание во оваа етапа се води на температурниот пад во сидовите на цилиндарот на ВПТ и не треба да надмине $100\div 120$ °C.

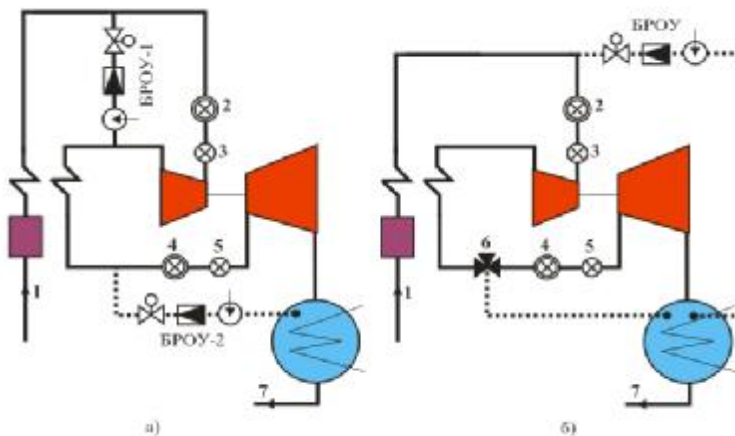
На *втората етапа* се прекинува доведувањето на пара на излезот од високопритисната турбина, се задвижува роторот и се зголемува бројот на вртежи до 15 % од номиналниот, а после одредено време постепено се зголемува до номиналниот. Во оваа етапа загревањето продолжува за време на вртење на турбината.

На *третата етапа*, после синхронизацијата на генераторот и почетокот на зголемување на оптоварувањето, се продолжува со загревањето на турбината до работната температура. Третата етапа трае околу еден час.

Кај блок постројките, работата на котелот и турбината, тесно се поврзани. Парата што се произведува во котелот може да се користи само во турбината и обратно, па според тоа пуштањето на котелот и турбината се синхронизира, т.е. операциите на пуштање во работа на котелот, пароводот и турбината се меѓусебно се преклопуваат.

Но сепак условите за надежна работа на котелот и турбината се различни. Додека турбината може да работи и при мал проток на пара, котелот може да обезбеди надежна работа само при определен проток на напојна вода. Затоа кај парнотурбинските постројки се вградуваат специјални постројки за обиколување на турбината и одведување на парата во кондензаторот. Ова заобиколување главно се применува кај не блок постројките, но може и кај блок постројките (сл. 2.3.11.)

Бидејќи овој начин на пуштање е многу неекономичен, кај блок постројките се применува пуштање во работа со променливи параметри (со лизгање) на парата. Имено и притисокот и температурата на парата зад котелот (на влезот во турбината) непрекинато се менуваат, достигнувајќи ги номиналните големини, при номинално оптоварување.



Сл.2.3.11. Принципиелна шема на пуштање на не блок постројките.
а-со два бајпаса б-со еден бајпас,

1-напојна вода во котел, 2,3-регулациони и стоп вентили за ВПТ, 4,5-регулациони и стоп вентили за СПТ, 6-вентил за растеретување, 7-кондензат во системот на регенерација.

При пуштање во работа на блок постројки со парни котли со цилиндар од ладна состојба, можат да се применат два начини. Кај првиот начин парата се доведува во турбината од самото потпалување на котелот (т.н. вакуумско пуштање). Во вториот начин парата се доведува во турбината само после достигнување на параметри не помали од: притисок 1 МРа и температура 220±250 °С.

Кај првиот начин целокупната арматура за затворање е отворена, така што сите елементи на парниот котел и турбината се под вакуум.

Во практиката почесто се применува вториот начин. Овој начин на пуштање може да се примени од било која топлинска состојба на блокот и може да се подели на 3 етапи.

Во *првата* етапа се врши загревање на пароводите, стоп и регулационите вентили, при нормално затворени регулациони вентили. По загревањето на деловите и достигнувањето на потребните параметри на парата, се преминува на *втората* етапа, пуштање на турбината. После синхронизацијата и вклучувањето на електрогенераторот (*трета* етапа), се преминува на оптоварување на блокот, при потполно отворени регулациони вентили и променливи (со лизгање) параметри.

Некои од *предностите* на синхронизираното пуштање во работа на блокот се:

- значително смалување на времето на пуштање на постројката,
- зголемување на брзината на парата низ турбината, заради големиот специфичен обем, што доведува до рамномерно и брзо загревање на деловите на турбината,
- загревање во почетокот со заситена пара, а после со слабо прегреана пара т.е. со најдобар коефициент на преминување на топлина,
- помал максимален пад на температурата на металот (во котелот, пароводот и турбината) и парата $50 \div 80$ °C,
- електрогенераторот се синхронизира и вклучува во мрежата кога турбината работи се уште со релативно ниски параметри на парата ($0,2 \div 0,5$ МРа и 300 °C),
- загубите на топлина се релативно помали, заради тоа што нема потреба парата директно да се носи во кондензаторот и др.

2.3.6. Експлоатација на турбинската постројка при континуирано оптоварување

Експлоатацијата на парнотурбинската постројка, во општ случај се состои во: *пуштање на постројката во работа* (погоре е опишано), *работа на постројката со оптоварување* и *запирање на постројката*. Наједноставна од сите три состојби е работата (експлоатацијата) на турбината при постојано оптоварување (номинално или делимично).

Основна задача на експлоатацијата на турбинската постројка при континуирано оптоварување е да се обезбеди потребната моќност, при загарантирана надежна работа и максимална можна економичност.

При постојано оптоварување на парнотурбинската постројка потребно е да се обезбеди:

- тековно опслужување на системот за заштита и регулација,
- опслужување на системот за снабдување со масло и системот за подмачкување,
- контрола на исправната работа на турбината и помошната опрема,
- контрола на таложето на нечистотии и начини на нивно отстранување,
- опслужување на системот за загревање на напојната вода, и
- опслужување на системот за техничко снабдување со вода.

Нормалната експлоатација на турбината не може да се замисли без детална грижа и проверка на системот за *заштита и регулирање*. При тоа особено внимание треба да се посвети на:

- можна појава на испуштање на масло од системот,
- навртките и другите елементи за прицврстување на стоп вентилите, органите за распределба на парата и др.,
- големината на вибрациите на регулационите органи,
- промената на притисокот на маслото во системот за регулирање и заштита,
- затнатоста на вентилите за брзо запирање на работата (стоп вентилите), регулационите и повратните вентили,
- работата на системот за заштита,
- системот за регулирање и др.

За нормална работа на турбината, неопходно е потребно, правилно да се опслужува системот за снабдување со масло и системот за подмачкување. При тоа, барем еднаш во текот на една смена, треба да се проверува нивото на масло во резервоарот.

Системот за сигнализација на минималното ниво на маслото, мора постојано да биде во исправна состојба. Обично еднаш неделно, мрежата од филтерот за масло, се промива со керозин и се издувува со сув воздух, а после ремонт и почесто. Најмалку два пати во текот на еден месец се проверува исправноста на резервната и хавариската пумпа за масло.

Работата на ладилникот за масло континуирано се прати. Во случај на зголемување на падот на притисокот на маслото во ладилникот и температурата на маслото на излезот од ладилникот, се пристапува кон негово чистење. При тоа во работа се вклучува резервниот ладилник за масло.

При контрола на исправната работа на турбината и помошната опрема, се контролираат оние параметри кои ја загрозуваат надежната работа на турбината, при надминување на дозволените големини. Еден од тие параметри е и *релативното издолжување на роторот на турбината*. На релативното издолжување на роторот на турбината особено внимание треба да се посвети при нагли промени на оптоварувањето.

Друг важен параметар се *вибрациите*, кои не смеат да ги надминат дозволените големини. Исто така, параметрите на парата пред турбината, после повторното прегревање и низ турбината, треба да се одржуваат во дозволените граници.

Економична работа на турбините со кондензација на парата, може да се добие при добра работа на *кондензаторската постројка*. Работата на кондензаторската постројка се влошува со: валкање на цевките, недостаток на вода за ладење, влошување на вакуумот во кондензаторот и т.н.

Еден од основните услови за сигурна работа на постројката е да се сочува во исправна состојба проточниот дел на турбината. Познато е дека парата што влегува во турбината, содржи определено количество на растворени соли и оксиди. Растворените соли и оксиди, при определени услови, се таложат на внатрешните површини на цевниот систем на котелот и проточниот дел на турбината. Во првиот случај постои опасност од прегревање на цевките, а во вториот од измена на формата на проточните канали.

Изменетата форма на проточните канали, освен смалената економичност, доведува и до снижување на надежноста на лопатичниот апарат и целата турбина, а истото се манифестира и со зголемување на притисокот во поедини пресеци.

За заштита од таложене на соли и оксиди низ проточниот дел од турбината, се контролира количеството на натриумовата и силициумовата киселина во парата што влегува во турбината.

За отстранување на наталожените соли од проточниот дел на турбината се применува миеење со влажна пара. Миеењето се изведува при намалено оптоварување (обично 30 % од номиналното), во траење од 10÷14 часа. За отстранување на солите на бакар и железо, се применува хемиско миеење, при кое во влажната пара се додава хидразин (N_2H_4), или пиперидин (C_5H_{11}).

Според тоа, за да се одбегнат наталожувањата низ проточниот дел на турбината, потребно е водата хемиски да се подготви, да се контролира притисокот низ проточниот дел и по потреба да се примени промивање со влажна пара.

Правилната експлоатација на системот за *регенеративно загревање на напојната вода* има големо влијание на сигурната работа на постројката.

Кај високо притисните загревачи (ВПЗ), постои опасност од зголемување на нивото на водата над дозволеното и недозволено зголемување на притисокот, што може да доведе до навлегување на вода во турбината. Кај ниско притисните загревачи (НПЗ1 и НПЗ2), може да дојде до влошување на вакуумот и навлегување на воздух, со што се зголемува недогревањето на водата за 10÷12 °C, во однос на температурата на парата, која треба да се движи меѓу 5÷6 °C.

Според тоа, при експлоатација на постројката, мора да се врши заштита, односно контрола на нивото на вода и вакуумот во загревачите. Зголе-

мувањето на недогреаноста на водата може да биде последица за тало-жење на солите во цевките.

Системот за техничко снабдување со вода, кај современите постројки, претставува комплекс на сложени ладилници, хидротехничка опрема и цевководи за циркулација на вода.

Во зависност од изворот на разладна вода, се разликуваат системи со *проточно и повратно (рециркулационо)* ладење. Кај системите со проточно ладење се користи вода од акумулации (реки, езера и мориња), а кај системите за повратно ладење различни видови на разладни кули, како ладилници на водата.

За надежна и економична експлоатација на системот за техничко снабдување со вода, важна улога има изборот на циркулационата пумпа со потребната карактеристика (зависност на напорот од протокот на вода). При суштествено зголемување на хидрауличните отпори во системот, пумпата треба да се запре и да се изврши чистење на цевките во кондензаторот и цевките во разводот на вода.

2.3.7. Запирање на турбинската постројка

При запирање на работата на турбината, се смалува протокот на пара низ неа. При тоа, во поедини пресеци на проточниот дел на турбината, се менува и притисокот и температурата на парата. На режимот на запирање на работата на турбината, особено влијание има промената на температурата на парата, која како и при нејзиното пуштање во работа доведува до појава на термички напрегања.

При запирање на работата на турбината, најчувствително и најопасно е релативното скратување на должината на роторот, кое при неправилно запирање може да изнесува и до неколку mm.

2.3.7.1. Нормално запирање на турбината

При нормално запирање на работата на турбината, може да се јават два случаја:

- запирање на турбината во *топла состојба*, и
- запирање на турбината до *потполно нејзино ладење*.

Запирањето на работата на турбината во *топла состојба* се изведува на краток временски период, обично за време на ноќта, или за време на ви-

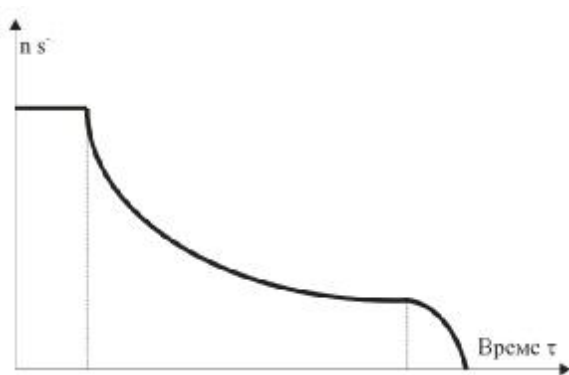
кендот (сабота и недела). При ова запирање се тежи да се одржи температурата на турбината на што е можно повисоко ниво.

Запирањето на работата на турбината се извршува со намалување на количеството на пара, со постепено затворање на регулационите вентили.

При смалување на оптоварувањето на $15 \div 20$ % од номиналното, се исклучуваат регенеративните загревачи и сите други одземања на пара. После потполното растоварување на турбината, се исклучува електрогенераторот од мрежата, а после тоа и автоматскиот вентил за брзо затворање. И после потполното исклучување на доводот на пара, роторот на турбината продолжува да се врти. При тоа е потребно да се врши контрола на бројот на вртежите и да се запишува нивната големина, се додека роторот не застане. Намалувањето на бројот на вртежите, во зависност од времето е прикажано на сл.2.3.12. Кривата треба да се совпаѓа со кривата при почетно пуштање во погон.

Пред да се запре сосема вртењето на роторот на турбината, се вклучува инсталацијата за бавно вртење на вратилото. Потребното време за употреба на инсталацијата за бавно вртење се определува во зависност од упатството за работа со турбината.

По затворањето на автоматскиот вентил за брзо затворање, потребно е се отворат вентилите за одводнување на комората на регулационите вентили.



Сл. 2.3.12. Промена на бројот на вртежите после запирање на турбината, во зависност од времето.

Со намалување на бројот на вртежите на вратилото на турбината, се намалува бројот на вртежите на запчестата пумпа за масло, а со тоа и притисокот на маслото.

Затоа е потребно да се вклучи во работа помошната пумпа за масло и таа продолжува со работа уште $2 \div 3$ часа и после потполното запирање на вртењето на роторот, со цел да се изладат ракавците на вратилото и да не се стопи белиот метал на лежиштата.

После потполното запирање на роторот, потпритисокот во кондензаторот, се одржува на ниво од 400 mmHg , а ејекторите остануваат во работа уште одредено време, заради сушење и ладење на турбината.

Заради намаленото количество на пара, во кондензаторот се создава помало количество на кондензат и заради тоа пумпите за кондензат работат со рецикулација. Со исклучување на автоматскиот вентил за брзо затворање (целосен прекин на доводот на пара во турбината), се исклучува и пумпата за кондензат. Се проверуваат сите вентили, за да се спречи секако навлегување на пара во турбината. Најмала количина на пара која би навлегла во турбината, може да предизвика сериозни повреди заради корозија на проточниот дел на турбината.

4.7.2. Хавариско запирање на турбината

Хавариска состојба на турбинската постројка, претставува режим при кој се нарушува нормалната работа на турбината, односно се намалува или потполно прекинува производството на електрична енергија. Причините за хаварија се најразлични и пред сè се должат на неправилната експлоатација, дефекти во конструкцијата, материјалот, монтажата или ремонтот на турбината, па се до надворешни фактори.

При појава на хавариска состојба, дежурниот персонал треба да дејствува во склад со инструкциите за отстранување на хавариската состојба, од кои основни се:

- да се отстрани опасноста по животот на вработените или да се преземат мерки за спасување на настраданите,
- да се сочува опремата на целата постројка,
- да се преземат мерки за непрекинато снабдување со електрична енергија на оние потрошувачи, кои не смеат да останат без енергија,
- да се дефинираат причините за настанување на хавариската состојба и др.

При хавариско запирање на работата на турбинската постројка, со помош на системите за заштита или од дежурниот персонал, брзо треба да се прекине доводот на пара кон турбината. При тоа, се разликуваат два случаја и тоа:

- без влошување на вакуумот во кондензаторот,
- со влошување на вакуумот во кондензаторот.

Во случај на *влошување на вакуумот* во кондензаторот, во излезниот дел на турбината и во кондензаторот, се пушта атмосферски воздух. Во овој случај парата не се носи во кондензаторот, туку преку сигурностните вентили и пароводи се испушта во атмосферата.

Во случај на влошување на вакуумот, по прекин на доводот на пара и исклучување на генераторот од мрежата, специфичниот волумен на средината во нископритисната турбина нагло се зголемува, што доведува до брзо забавување на вртењето на роторот. Овој начин на запирање на работата на турбината се применува само во случај кога има потреба од брзо запирање на вртењето на роторот.

Запирањето на работата на турбината *без влошување на вакуумот* се применува при хавариска состојба, кога нагло се влошува вакуумот заради оштетувања настанати во системот за регулација, а кои не можат да се отстранат во текот на работа и во некои други случаи. При оваа состојба не е неопходно парата да се пушта во атмосферата, туку истата може, преку БРОУ да се носи во кондензаторот.

Заради заштита на турбината од потешки повреди, после исклучувањето на доводот на пара, особено внимание треба да се посвети на:

- *Контрола на затнатоста на регулационите вентили* (пропуштањето на пара може да доведе до забрзување на роторот на турбината),

- *Обезбедување нормална работа на системот за подмачкување.* Заради намалување на бројот на вртежи на роторот, се намалува притисокот на маслото во системот за подмачкување на турбината. Заштитата од намалување на притисокот има три нивоа. Опаѓањето на притисокот до првото ниво, ја вклучува резервната пумпа за масло. На второто ниво се вклучува хавариската пумпа за подмачкување, погонувана од електромотор со еднонасочна струја (акумулатор). Третото ниво, преку системот за заштита, ги затвора сите вентили. Ако системот за заштита не дејствува, потребно е турбината да се исклучи рачно од дежурниот персонал.

Системот за заштита ја исклучува турбината и во случај кога температурата на маслото на излезот од лежиштата, е повисока од 75 °C и кога нивото на масло во резервоарот, ќе падне под минимално дозволеното.

- *Аксијалното поместување на роторот.* Ако турбината продолжи да работи при наголемено аксијално поместување, постои опасност да се оштети аксијалното лежиште. Ако аксијалното поместување ја надмине големината 0,15÷0,20 mm, потребно е турбината веднаш да се исклучи.

При појава на хавариска состојба на работа на турбинската постројка, која не е опишана во инструкциите за нејзина појава и отстранување, потребно е дежурниот персонал да дејствува брзо, но и промислено. Треба, пред се, да се дознае што е причината за појава на хавариска состојба. За тоа е потребно да се соберат сите можни информации, сврзани со хаваријата и реално да се предвиди развојот на процесот на хаварија.

Тоа значи дека треба да се претпостави причината за појава на хаваријата. Големо влијание при тоа има доброто познавање на турбината, нејзините карактеристики и историјатот на експлоатацијата. Конечно, сето тоа треба да се работи многу брзо, понекогаш мерено во секунди. После донесување на заклучокот за причината за појава на хавариска состојба, се пристапува кон нејзино отстранување.

Некои од причините за појава на хавариска состојба на работа на турбинската постројка се:

- Нагла промена на температурата на свежата и повторно прегреаната пара.
- Појава на метален звук, или необични шумови внатре во турбината или силни вибрации на турбината. Причина за ова може да биде свиткување на роторот, кршење на ред лопатки и тн.
- Појава на искри или чад од лежиштата, или од надворешните лавиринтски затинки на турбината и електрогенераторот.
- Појава на знаци на хидрауличен удар во цевководите за свежа пара или во турбината.
- Појава на пукнатини на цевководите за свежа, повторно прегреана и одземена пара, цевководите за основен кондензат и напојна вода, цевководите за масло, колекторите, а исто така и на вентилите и распределителните комори.
- Запалување на маслото од турбината и тн.

2.3.8. Заштита и конзервирање, при стоење на турбината

На турбинската постројка, при стоење, потребна и е нега и заштита. Најголема опасност за турбината и за некои други елементи од турбинската постројка, претставува корозијата.

Основна причина за појава на корозија е едновременото присуство на влага и воздух. Заради тоа после запирање на турбината, треба да се преземат мерки за нивно отстранување. Заради тоа цевководите за довод на пара кон турбината, се снабдуваат со вентили за обезпарување (обезвоздушнување), кои се отвораат кон атмосферата веднаш по застанувањето на турбината.

Комората на регулациониот степен, коморите за одземање на пара, коморите на регулационите вентили исто така треба да бидат поврзани со атмосферата, за да се избегне појава на кондензат, кој може да испари и да навлезе во турбината.

При запирање на турбината на подолго време, се преземаат дополнителни мерки и тоа:

- Со помош на непропусни мембрани (уред за затнување), турбината се исклучува од сите пароводи низ кои може да дотече пара, како што се пароводите за свежа пара, пароводите за одземање на пара, регенеративните загревачи и т.н.
- Роторот на турбината дополнително се затнува со коноп од азбест.
- Во парниот простор на кондензаторот, дополнително се поставува калциумхлорид (CaCl_2) за апсорбирање на влагата.
- Особена грижа се води на ракавците од вратилото. За да се создаде слој на масло на ракавецот, најмалку еднаш неделно, низ лежиштето треба да се пушта масло, а роторот, со помош на инсталацијата за бавно вртење, да се заврти за неколку вртежи.
- Инсталацијата за масло да се измие и да се продува. После тоа резервоарот и цевководите да се остават отворени или пак да се наполнат со масло.
- Машинската сала да се чува во чиста состојба и добро да се проветрува.

Уште подобар начин да се спречи појава на корозија е да се внесе во внатрешноста на турбината топол сув воздух, или инертен гас, како што е азотот. За таа цел, со помош на вентилатор, се шумка воздух од машинската сала, се пушта низ загревач на воздух, во кој се загрева на температура $3\div 5\text{ }^\circ\text{C}$ повисока од температурата на околниот воздух и со извесен натпритисок, се внесува во турбината, од каде излегува низ лавиринтските затинки.

2.3.9. Контрола на турбинската постројка

Основното барање што се поставува пред стабилните двигатели е да имаат мирна работа. Постоенето на вибрации покажува дека постои причина, што ги предизвикува. Откривањето на причината и нејзиното отстранување е тешка задача, но неопходна. Вибрациите претставуваат периодично отстапување на дадено тело од неговата состојба на мирување. Предизвикани се од периодичното дејство на возбудните сили, а најчесто се резултат од вртењето на маси, ексцентрично поставени во однос на оската на вртење. За да се добие осцилирање, потребно е еластичните сили на материјалот да го вратат во првобитната состојба. Вибрациите се карактеризираат со своја амплитуда, што се мери со специјални уреди - виброметри. Мерењата со виброметарот се вршат врз капакот на лежиштата, во три насоки: вертикално, хоризонтално-попречно и хоризонтално-надолжно (аксијално).

Определувањето на вибрации што се опасни за машината е сложена и тешка задача. Освен големината на амплитудата и опасноста по машината зависи од многу фактори, кои треба да се земат во предвид кога се извршува оценувањето:

- центрифугалната сила, а со тоа и амплитудата на вибрациите е пропорционална на квадратот на вртежите на турбината,
- растојанието меѓу роторските и статорските делови на турбината влијае на големината на вибрациите, односно при помали растојанија потребна е помирна работа на турбината,
- конструкцијата на спојување меѓу роторите на турбината и поврзувањето со другите машини, влијае на пренесувањето на вибрациите од еден ротор на друг,
- кога се поврзани два ротори, од кои едниот е потежок од другиот, полесниот може да вибрира не само со истиот тон на вибрации на потешкиот, туку и со повисок тон, иако самиот тој нема причина за такво вибрирање,
- во случај кога тежок ротор лежи врз лесно лежиште, вибрациите ќе бидат поголеми во споредба со случајот кога ротор лежи на лежиште предвидено за таа тежина.

Овие и други фактори од кои зависат вибрациите, не дозволуваат да се направат точни норми за вибрациите. Врз основа на долгогодишно искуство при експлоатација на турбините, можат да се усвојат средни норми за големината на дозволените вибрации, прикажани во таб. 2.3.1.

Таб. 2.3.1. Дозволените вибрации на парните турбини:

Номинална брзина на вртење на роторот, s^{-1}	Големина на двојната амплитуда, mm		
	Одлично	Добро	Задоволително
25	< 0,03	< 0,05	< 0,07
50	0,02	0,03	0,04
83,3	0,01	0,015	0,025
> 133,3	0,005	0,01	0,015

Кога турбината работи подолг временски период со значителни вибрации, побрзо се трошат лежиштата, се влошува центричноста, ослабуваат врските со завртки и сл. Постепено се појавуваат и други причини, кои влијаат на вибрациите и ги наголемуваат.

Промената на нивото на вибрациите во лежиштата може да биде предизвикана:

- Со дебалансирање на роторот на турбината заради излегување на работни лопатки од своите лежишта, кршење на бандажната лента, засолување на лопатките и др. Карактеристично за овој вид вибрации е нивното пропорционално менување со бројот на вртежите, а сосема малку во зависност од оптоварувањето.
- Заради извиткување на роторот под дејство на термичка нестабилност, или од допирањето на роторот со надворешните затинки. Карактерот на овие вибрации е сличен на оние опишани во претходниот случај. Можат да бидат привремени, доколку извиткувањето не предизвикало трајни деформации. Со подолго загревање на турбината, овие вибрации можат да се елиминираат.
- Заради нарушување на центричноста на спојниците.
- Заради неправилно поврзани цевководи (за пара, масло и сл.) со недоволна компензација на температурните дилатации.
- Заради брзи промени на параметрите на свежата пара и големи отстапувања од нормалните големини.

Контрола на вибрациите потребно е да се изврши при првото пуштање во погон, а потоа по секое пуштање на турбината во погон по извршениот капитален ремонт.

Мерењата се извршуваат за време на:

- процесот на наголемување на бројот на вртежите и тоа при брзини од 0,3; 0,4; 0,45; 0,6; 0,7; 0,8; и 1,0 во однос на номиналниот број на вртежи,
- процесот на наголемување на оптоварувањето и тоа при оптоварувања од 0,0; 0,25; 0,50; 0,75; и 1,0 во однос на номиналното.

Вибрациите се регистрираат со виброграф, периодично, во процесот на експлоатација, не поретко од еднаш на три месеци.

Контролата на состојбата на проточниот дел на турбината, во однос на засолување, потребно е да се врши еднаш месечно. Контролата се извршува со проверување на притисокот на парата во контролните турбински степени, при оптоварување со пара поголемо од 50%.

Наголемувањето на притисокот во контролните степени, во однос на номиналниот, за зададено оптоварување, не треба да ги надмине следните големини (таб. 2.3.2.):

Засолувањето на проточните делови на турбини кои работат поврзани со котли со среден притисок, се извршува со капки кои внесуваат соли во

турбината. Овие соли главно се состојат од сулфати, хлориди и натриум-карбонати, а се растворливи во вода.

Таб. 2.3.2. Притисокот во контролните степени во однос на номиналниот:

Притисок на парата пред турбината, МПа	Наголемување на притисокот зад степените, %
< 3,5	15
9,0	10
> 13	10 за високопритисен дел 15 за среднопритисен дел

Со наголемување на притисокот на парата до 13 МПа се наголемува количината на растворена силикатна киселина во парата. Кога се соединува со каустична сода, силикатната киселина преминува во натриумски киселини на силициумот, кои се лесно растворливи во вода. Ако во парата недостасува каустична сода, или ја има во недоволни количини за да се формираат силикатни соли, силикатната киселина се наталожува на лопатките во кристална или аморфна состојба.

Во турбините со наткритични параметри, во цилиндрите со висок притисок се наталожуваат главно метални оксиди, донесени од котелот. Тоа се талози од бакарни оксиди во количина од 50÷80 %, а останатите компоненти се главно железни оксиди, натриумови и силикатни соли, кои се растворливи во вода. Овие наталожувања во проточниот дел на турбината го намалуваат пресекот на струење на парата. Со тоа се намалува и протокот на пара низ тие пресеци, се намалува КПД на турбината, се наголемуваат аксијалните сили, а со тоа оптоварувањето на аксијалното лежиште, доаѓа до деформирање на дијафрагмите заради наголемувањето на разликата на притисоците пред и зад нив.

Како контролни степени, каде што се мери притисокот се усвојуваат: првиот регулационен турбински степен, коморите за одземање на пара за регенеративно загревање, а во турбините со меѓупрегревање се контролира притисокот на влезот во цилиндерот со среден притисок.

За да се отстранат овие наталожувања, се промива турбината во работна состојба:

- со влажна пара, кога наталожувањата се растворливи во вода,
- со раствор на каустична сода, кога е наталожена силикатна киселина во вид на кристали,
- со раствор на хемиски реагенси, при наталожување на бакарни и железни оксиди.

За време на спроведувањето на промивањето, турбината треба да биде оптоварена со 25÷50% од номиналното оптоварување.

Потребно е периодично да се контролира состојбата на филтрите на пумпите на разладна вода за ладилникот за масло и ладилникот на генераторот, филтрите во резервоарот за масло и на цевководите за довод на пара кон основниот ејектор. Со наголемување на количината на нечистотии во филтрите се намалува протокот на вода за ладење, а со тоа и температурата на медиумот (средството) кое се лади.

Во пароводните сита потребно е да се постават филтри за да се спречи навлегувањето на механички нечистотии во ејекторот, турбината и др. Филтрите за масло треба да се чистат еднаш неделно. Чистењето на филтрите е почесто веднаш после капиталните ремоти, а поретко за време на нормален погон. При нередовно чистење на филтрите се намалува притисокот на маслото, се намалува количината на масло која навлегува во лежиштата и со тоа се наголемува и нивната температура.

2.3.10. Ремонт на турбинската постројка

Планско-превентивниот ремонт претставува комплекс на работи, што треба да се извршат во одреден период, насочени кон обезбедување на надежна експлоатација и доведување на техно-економските показатели на работа на опремата на утврдените нормативи.

Тој во себе ги опфаќа: *капиталниот, средно-продолжителниот и тековниот ремонт*. Роковите за спроведување на планско-превентивниот ремонт (капитален, среден и тековен) на турбинската постројка и нивното времетраење, за различни турбини (различна моќност и притисок) дадени се во таб. 2.3.3., во која со Т се означени топлификационите турбини.

Ремонтот на турбинската постројка, како и останатата енергетска опрема, се организира и изведува по системот на мрежно планирање. Системот за мрежно планирање треба да го определи: бројот на персоналот за изведување на ремонтот, работите што треба да се изведат во било кој стадиум, времетраењето на секоја работа поодделно и т.н.

Перспективниот план за ремонт на опремата, во себе ги вклучува: капиталните, средните и тековните ремоти (сл.2.3.13.), а исто така работите што треба да се извршат заради реконструкција и модернизација на опремата.

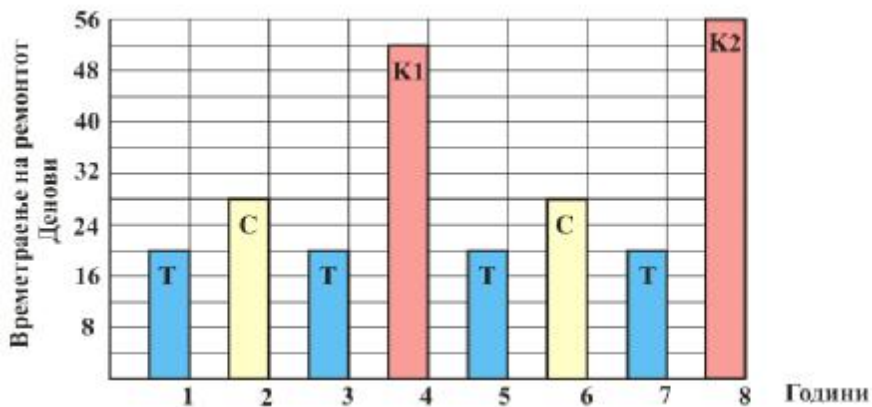
За време на *капиталниот ремонт* се извршува расклопување на турбината и отстранување на сите дефекти, со цел да се обезбеди надежна рабо-

та. Обемот и големината на работите при капиталниот ремонт, зависат од конструктивните и техничките особености на опремата, експлоатацијата и тн.

Таб. 2.3.3. Времетраење на планско-тековниот ремонт на турбинската постројка:

Моќ на турбината MW	Притисок на парата МПа	Период меѓу два ремонта god	Времетраење, календарски денови						Кога има само Т.Р.
			Во годината кога се спроведува О..Р.			Во годината кога се спроведува само С.Р.			
			О.Р.	Т.Р.	Вкупно	О.Р.	Т.Р.	Вкупно	
<12	<6	5	10	3	13	4	3	7	6
12-25		5	18	4	22	7	4	11	8
26-50		5	22	5	27	9	5	14	10
51-100		5	25	5	30	10	5	15	10
12	9	5	16	4	20	7	4	11	8
25	9	4	25	5	30	10	5	15	10
50	9	4	31	6	37	12	6	18	12
100	9	5	31	6	37	12	6	18	12
50	13	4	31	6	37	12	6	18	12
60	13	4	33	7	40	13	7	20	14
100	13	4	37	8	45	15	8	23	16
150	17	4	48	14	62	19	14	33	21
160	13	4	46	14	60	18	14	32	21
200	13	4	48	14	62	19	14	33	21
250Т	24	3	60	18	78	24	18	42	27
300	24	3	60	18	78	24	18	42	27

Ознаки во табелата: О.Р. – основен ремонт
Т.Р. – тековен ремонт
С.Р. – среден ремонт



Сл. 2.3.13. Перспективен план за ремонт на блок од 300 MW.

При капиталниот ремонт на турбинската постројка се извршуваат: *подготвителни, ремонтни и завршни работи*. Некои поважни работи што треба да се извршат се следните:

1. *Детален надворешен преглед на турбинската постројка пред запирање на работата*. Турбинската постројка се подвргнува на детален надворешен преглед и се извршуваат сите потребни мерења. При надворешен преглед се контролира дали има пропуштање на пара на цилиндрите, вентилите, а исто така се контролира и работата на лавиринтските затинки. Се проверуваат сите споеви на цевководите, работата на сите пумпи, работата на системот за регулирање, се контролира исправноста на сите контролно-мерни уреди, се определува степенот на загадување на ладилниците на масло, кондензаторот и проточниот дел на турбината. Се мерат вибрациите на лежиштата, топлинското ширење на турбината, роторот и зazorите. Се проверува затнатоста на системот за вакуум, работата на автоматскиот вентил за запирање и тн.

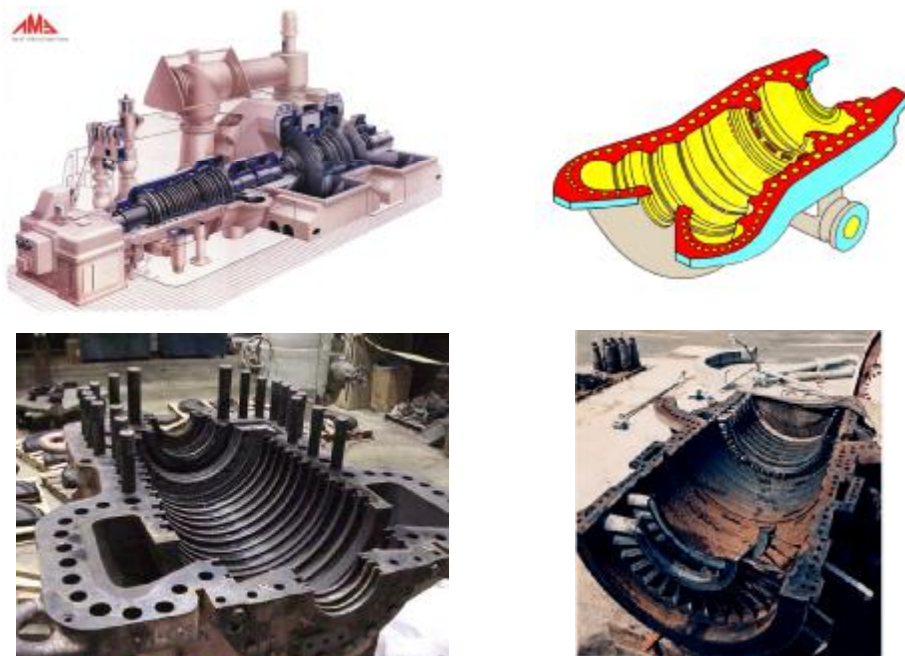
2. *Промивање на проточниот дел на турбината*. Како што е погоре кажано, таложеењето на растворените соли и оксиди во парата на проточниот дел на турбината, доведува до измена на формата на проточните канали, снижување на надежноста на лопатичниот апарат и до зголемување на притисокот во поедините пресеци. За таа цел, во текот на работата на турбината, наталожените соли и оксиди се отстрануваат со влажна пара, при намалено оптоварување (30 % од номиналното).

3. *Контрола на состојбата на металот и основните делови на парната турбина*, со високи параметри на парата (притисок и температура). Заради работа на парните турбини при температури повисоки од 450 °C, се јавува ползење и стареење на материјалот, што доведува до снижување на неговата работна способност. За таа цел, после одреден период (100 000 h) треба да се оцени дозволеното време на неговата понатамошна надежна експлоатација. Контролата на металот се врши по специјални инструкции. На контрола подлежат следните детали што работат на температури 450 °C и повеќе: телото на цилиндерот и вентилите, роторот (лопатки, дискови, вратило), пароводи, подметнувачи, дијафрагми, вретената на вентилите и заварените врски (конструктивни, монтажни и ремонтни).

4. *Ремонт на цилиндрите*. Основен дел на турбината е цилиндарот во кој се наоѓа проточниот дел на турбината. Тој е еден од најодговорните делови на турбината (сл.2.3.14.). Од него се бара да обезбеди висока херметичност.

За да се обезбеди херметичност, цилиндрите се спојуваат со прирабници со завртки. Затоа, при пуштање и запирање на турбината и при брзи

промени на режимот на работа, тие се загреваат различно и може да дојде до нивно извиткување и нарушување на херметичноста.



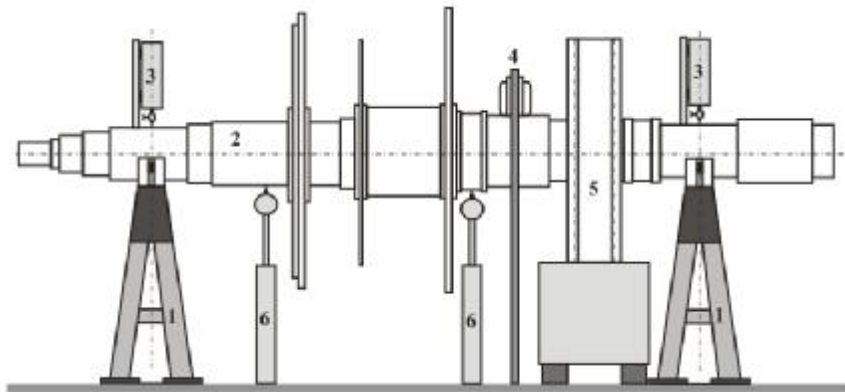
Сл. 2.3.14. Цилиндри на парна турбина.

За да се обезбеди херметичност, цилиндрите се спојуваат со прирабници со завртки. Затоа, при пуштање и запирање на турбината и при брзи промени на режимот на работа, тие се загреваат различно и може да дојде до нивно извиткување и нарушување на херметичноста.

При ремонт на турбината се врши снимање, чистење и контрола на сите површини за спојување на цилиндрите.

5. *Ремонт на роторот.* Роторот е најоптоварен дел на турбината (сл. 2.3.15). Во текот на работата, роторот е изложен на центрифугални сили од моментите на свиткување и силите на истегнување и притисок и од сопствената маса. Особено влијание имаат центрифугалните сили. Разликата на температурата по должината на роторот достигнува значителни големини (на К-300-240 ЛМЗ, 500 °С), што дополнително го оптоварува.

При контрола на вратилото, потребно е да се утврди "биењето" на роторот во радијална насока. Биењето се утврдува со помош на индикатор, а искривувањето на вратилото е половина од утврдената големина на биењето.



Сл. 2.3.15. Поправка на роторот по методата на релаксација.

1-ногарки на машината за балансирање, 2-ротор, 3-резервоар за масло, 4-постројка за притисок, 5-индукциона навивка, 6-индикатор.

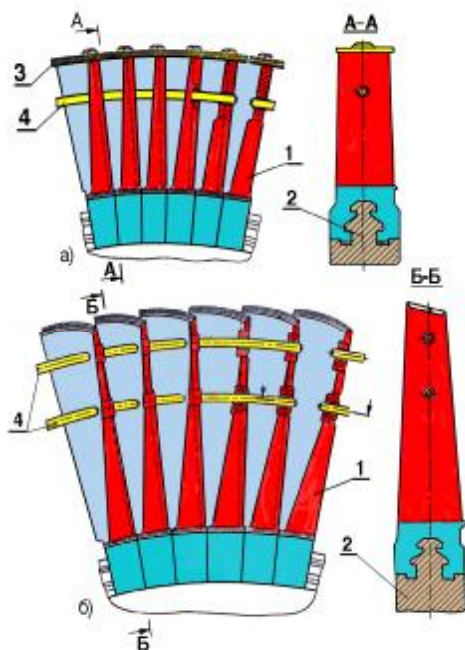
Причина за искривувањето на вратилото, може да биде нерамномерното загревање или ладење на роторот, а исто така и допирањето на роторот со лавиринтските затинки на дијафрагмите.

Искривените вратила можат да се исправат на повеќе начини и методи, а изборот зависи од степенот на искривувањето.

Многу е важна контролата на врската помеѓу вратилото на турбината и роторскиот диск. Во колку е таа слаба, претставува извор на зголемени вибрации на целиот ротор на турбината.

6. *Ремонт на лопатичниот апарат.* Лопатките се наменети за трансформирање на кинетичката енергија на парата, во механичка енергија, во вид на вртење на роторот.

Работните лопатки (сл.2.3.16.) се напрегнати со големи оптоварувања. При нормална експлоатација на турбината, на лопатките дејствуваат центрифугални сили, сили од притисокот на парата и сили од протокот на парата. Освен овие сили на лопатките, за време на работа, дејствуваат и променливи сили, кои предизвикуваат вибрации на лопатките.



- 1- лопатка;
- 2-корен на лопатката;
- 3-бандажна лента;
- 4-жица за спојување



Сл. 2.3.16. Работни лопатки споени со жица и бандажна лента.

При оценка на надежната работа на лопатичниот апарат, а во таа смисла и на големината на вибрациите, особено влијание има состојбата на самите работни лопатки.

Поради тоа, особено внимание треба да се посвети на надворешниот преглед на лопатките. После тоа лопатките се чистат. Така исчистените лопатки, многу внимателно се прегледуваат со помош на леќи за зголемување од 10÷20 пати. Тешко достапните лопатки се контролираат со огледалца за заби.

Најголемо внимание треба да се посвети на следните места:

- спојот на бандажната лента со врвот на лопатката,
- врвовите на лопатките, оставени за поврзување во пакети со помош на бандажни ленти,
- на отворите на лопатките предвидени за поврзување со жица за укрутување.

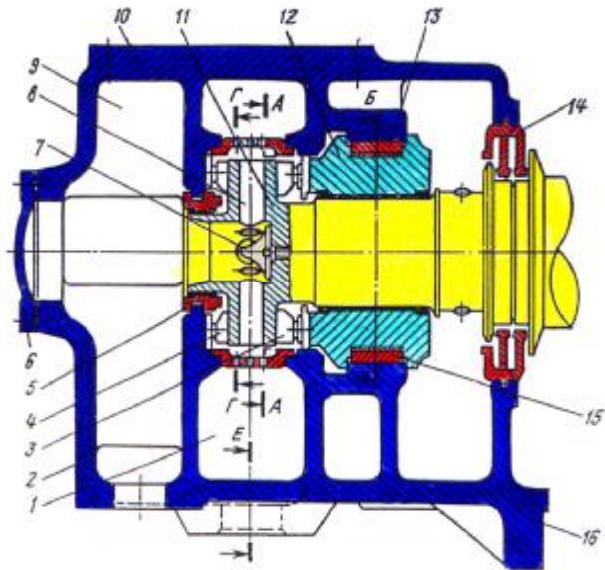
Сите повреди на лопатичниот апарат се сведуваат на пукнатини или кршење на поедини елементи. Не смее да се дозволи да се остави пукнат елемент во турбината, затоа што при работа на турбината тој може да предизвика големи оштетувања. Потребно е да се анализираат причините што довеле до пукање на поедините елементи.

Последните турбински степени се изложени на големи повреди од ерозија со водни капки. Затоа е потребно со шаблон да се контролира големината на ерозијата на роторските лопатки.

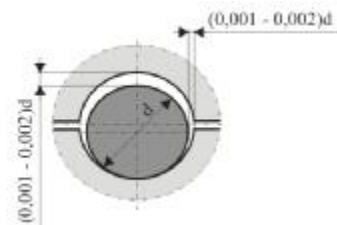
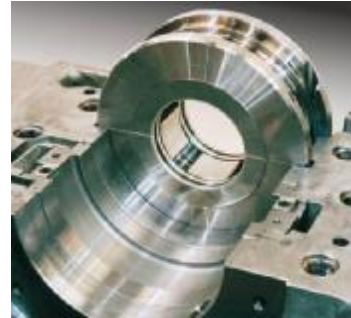
7. Ремонт на лежиштата. Радијалните и аксијалните лежишта ја фиксираат положбата на роторот на турбината во радијална и аксијална насока сл.2.3.17. Според тоа и тие се многу одговорни елементи од кои зависи надежната работа на турбината и целата постројка. За надежна работа на турбината, лежиштата треба да обезбедат: минимални загуби од триење, добро одведување на топлината, нормално вртење на роторот при сите услови на работа и др.

Налегнувањето на ракавецот на вратилото на лежиштето, треба да биде рамномерно и по целата должина. Заради тоа е потребно да се контролира состојбата на белиот метал со кој е залеано лежиштето, бидејќи тој може да биде: деформиран, пукнат, изгребан, нечист или одделен од лежиштето.

Се контролира растојанието помеѓу ракавецот на вратилото и лежиштето од левата, десната страна и одозгора (сл.2.3.18.).



Сл. 2.3.17. Пресек на акси-радијално (аксијално-радијално) лежиште.



Сл. 2.3.18. Растојанија кај радијално лежиште.

8. *Центрирање.* Економичната и надежна работа на турбината во значителна мерка зависи и од взаемната центричност на нејзините делови и центричността на роторот. При монтажата на турбинската постројка, последователно се врши центрирање на цилиндрите, прстените, дијафрагмите и роторот (сл.2.3.19.). Завршна фаза на центрирање на роторот е неговото центрирање во однос на спојниците.



Сл.2.3.19. Поставување на центриран ротор во кукиштето на турбината.

9. *Ремонт на системот за регулирање.* Одржувањето на турбинската постројка на одреден режим на работа, се извршува со помош на регулационите вентили. Регулационите вентили и стоп вентилите треба да овозможат потполно запирање на доводот на пара кон турбината, а кога истите ќе бидат затворени мора да бидат непропусни.

При ремонт на системот за регулирање, најпрвин се започнува со проверка на затнатоста на регулационите и стоп вентилите.

Ремонтните работи започнуваат со расклопување на системот и неговите елементи. При расклопувањето неопходно е да се води особено внимание, бидејќи секоја невнимателност, може да доведе до редица грешки.

Сите елементи од системот за регулирање, по расклопувањето, треба детално да се очистат, измијат и истријат, а внатрешните делови да се продуваат со компримиран воздух. Деталите што работат во масло, се мијат со керозин, а деталите што работат во услови на високи температури, исто така се мијат, но само со терпентин или вајтшпирит. Клипните прстени на сервомоторите треба детално да се проконтролираат и проверат.

Сите детали што работат во вода, значително оштетени од корозија или ерозија, се заменуваат со нови.

Сите зазори во основните детали на системот за регулирање, мора да се задржат на препорачаните големини и по ремонтот.

10. *Ремонт на системот за масло.* Работниот персонал треба да има особено сериозен однос кон системот за масло.

Како што е познато, до почетокот на ремонтот, се контролираат сите јазли на системот за масло (цевководи, резервоари, ладилници, лежишта и арматурата за масло) и се забележуваат сите оштетувања.

По запирањето на турбината, се контролираат цевководите и резервоарот за масло, за да се оцени степенот на валканост на системот за масло и во зависност од тоа ќе зависи кој начин на чистење ќе се примени.

За чистење на системот за масло кај помалите турбини, се користи топла вода со притисок $0,5 \div 0,6$ МПа и температура $90 \div 100$ °С и влажна пара.

Особено внимание треба да се посвети на местата од системот за масло, каде имало пропуштање на масло. Во текот на ремонтот, ладилникот за масло треба да се очисти и од страна на маслото и од страна на водата. Ладилникот, од водната страна, се чисти по механички (со челична четка) или по хемиски пат, со солна киселина.

Од страната на маслото, ладилникот се чисти на различни начини, како на пример: претходно се промива со пара со 5 % раствор на тринатриум-фосфат (околу 10 минути), а после тоа внимателно се промива со топол кондензат.

2.3.11. Контрола и одржување на системот за масло

Системот за масло е составен од повеќе елементи: главна, помошна и хавариска пумпа, цевоводи и арматура, ладилник за масло, филтри и др. Заради многу важната улога на маслото (регулација и одведување на топлината од лежиштата, како и обезбедување на влажно триење) потребно е многу внимателно да се контролира и одржува системот за масло.

Резервоарот за масло е конструиран така да за еден час маслото направи 8 круга низ турбината. Се претпоставува дека за 8 min водата, што се наоѓа во маслото, ќе успее да се оддели од него и да се наталожи на дното. Затоа од најнискиот дел на резервоарот потребно е повремено да се испушта насобраната вода и кал. Потребно е редовно да се контролира нивото на масло во резервоарот, а после испуштањето на водата, тој се дополнува со свежо масло.

При контролата на квалитетот на масло во однос на содржината на вода, потребно е да се определи количината на вода во него. Најчесто водата навлегува во системот за масло, од крајните затинки на вратилото на турбината. Во таков случај треба да се подобрат затинките и да се спречи навлегувањето на водата. Може да се смени и прстенот за заштита на маслото од навлегување на пара од лавиринтските затинки на турбината. Вода може да се најде во маслото и заради кондензирање на влагата во воздухот, што се случува кога температурата на маслото е ниска (под 35 °C).

Кога ќе се заклучи дека во маслото има мала количина на вода, која е сепак штетна за нормално функционирање на системот и треба да се отстрани на таков начин што ќе се намали количината на разладна вода во ладилникот за масло. При тоа се наголемува температурата на маслото до 55 °C. При тоа се отвараат сите вентили за обезвоздушување на цевките на системот за масло.

Треба многу да се внимава на киселоста на маслото, затоа што при наголемена киселост, се дозволува работа со тоа масло најмногу уште 100÷150 работни часа. Маслото во тој случај треба да се смени или да се запре турбината. Откако ќе се запре турбината и ќе се врати маслото во резервоарот, потребно е да се изврши ревизија на целата мрежа, која потоа се продувува со компримиран воздух во насока спротивна на насоката на

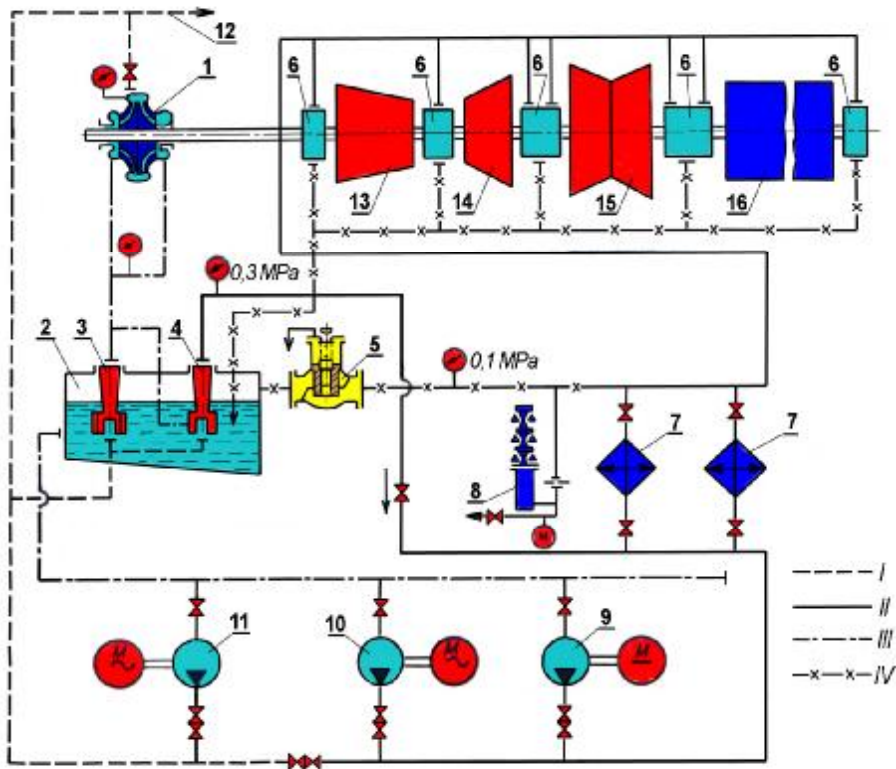
движење на маслото. Нормалниот работен век на турбинското масло е 30000÷60000 часа. На долговечноста на маслото многу влијае температурниот режим на работа. Температурата на маслото зад ладилникот на масло не треба да биде пониска од 35 °С. Во тој случај не може да се создаде клин од масло во лежиштата и се остварува полувлажно триење наместо хидродинамичко плива-ње на ракавецот. Маслото е ладно при пуштање во погон на турбината, не се создава клин од масло и се појавуваат вибрации. Со намалување на бројот на вртежите овие вибрации се губат.

Во лежиштата на турбината маслото се загрева за 10÷15 °С и достигнува ниво од 50÷55 °С. При повисоки температури стареењето на маслото станува многу брзо. Регулацијата на температурата на маслото се извршува во ладилникот за масло со додавање на поголема количина на разладна вода. Ако не може да се намали температурата, потребно е да се отвори ладилникот за масло и да се провери состојбата на цевките за ладење. После подолг период на работа во маслото се создава поголема количина на кал што се лепи од внатрешната страна на цевките. Чистењето на цевките се врши со растворање на калта со дихлоретан или трихлоретилен. Дихлоретанот е течност без боја, не гори, но гасовите се лесно испарливи и штетни при вдишување. При работа со него системот се измива со топла вода и веднаш се полни со масло. Чистењето на цевките од водната страна е слично како кај кондензаторите, објаснето во претходниот текст.

При контрола на системот за масло, потребно е внимателно да се прегледа задното лежиште на електрогенераторот, особено неговата изолација. Ако состојбата на изолацијата е влошена, се појавуваат виорни струи, кои од роторот на електрогенераторот преку лежиштата, се пренесуваат на роторот на турбината и така го затвораат кругот. Ваквиот ток може да достигне вредност од неколку стотици ампери и при релативно ниско напрегање. Од дејството на овој ток, маслото почнува да станува потемно, станува се покисело и на лежиштето се нафаќаат цврсти талози.

Одржувањето на системот за масло во исправна состојба е многу важна задача не само заради потребата од сигурна работа на постројката, туку и заради вредноста (цената) на маслото и треба да постои стремез тоа да се исползува во постројката со максимален број работни часови. Изработеното масло треба да се собере и по можност да се регенерира (доколку е можно), како би можело повторно да се искористи во постројката.

На сл.2.3.19. е прикажан систем за масло на парна турбина со главна пумпа, погонувана од вратилото на турбината. Главната пумпа (1) работи само кога турбината е во погон. При почетно пуштање на турбината потребно е да системот за масло обезбеди доволна количина на масло со потребен при-



Сл. 2.3.19. Систем за масло на парна турбина со главна пумпа погонувана од вратилото на турбината.

1-главна пумпа за масло; 2-резервоар за масло; 3,4-ејектори; 5-вентил за сливање на маслото; 6-лежишта на турбината и електрогенераторот; 7-ладилници за масло; 8-реле за притисок; 9-хавариска пумпа за масло со мотор на истонасочна струја; 10- хавариска пумпа за масло со мотор на наизменична струја; 11-пумпа за масло за пуштање на турбината во погон; 12-цевки за масло кон системот за регулација на турбината.

I - потисен цевковод за масло кон системот за регулација,
 II - потисен цевковод за масло кон системот за подмачкување,
 III - цевковод за масло кон пумпите,
 IV - цевковод за сливање на маслото во резервоарот.

тисок во системот за регулација и лежиштата на турбината. За таа цел се користи пумпата за масло за пуштање во погон на турбината (11). Оваа пумпа всисува масло од резервоарот замасло (2) преку цевководот (III). Преку цевководот (I) се доведува маслото до системот за регулација на турбината (12), а

преку цевководот (II) до лежиштата на турбината и генераторот (6). Турбината е повеќецилиндрична, составена од цилиндар за висок притисок (13), среден притисок (14) и низок притисок (15). На директен начин е споен и електро-генераторот (16). Маслото од лежиштата на турбината се враќа во резервоарот (2) преку цевководот (IV). На тој начин е обезбеден кругот на циркулација на маслото, кога главната пумпа не е во погон.

Кога турбината е во погон, главната пумпа работи и е во состојба да го транспортира маслото до системот за регулација на турбината. Маслото до главната пумпа се доведува од резервоарот за масло (2) со ејекторот (3) преку цевководот (III). За подмачкување на лежиштата (6), маслото од резервоарот (2) со ејекторот (4) преку цевководот (II) и ладилниците за масло (7), се транспортира кон лежиштата (6). Маслото во резервоарот за масло се враќа преку цевководот (IV). За регулација на притисокот на маслото се користи релето (8). Релето реагира, односно го отвора одводот на масло при евентуално зголемен притисок на маслото. Вишокот на масло, односно евентуално зголемениот проток на масло, преку вентилот (5) и цевководот (IV) се враќа во резервоарот за масло (2).

При хаварија на главната пумпа за масло (1) или ејекторите (3) и (4) се вклучува резерваната пумпа за масло на наизменична струја (10), која го снабдува со масло системот за регулација на турбината преку цевководот (I) и лежиштата на турбината преку ладилниците за масло (7) и цевководот (II). Доколку хаваријата е пропратена со прекин на електричната енергија, се вклучува хавариската пумпа за масло на еднонасочна струја (9) со независен извор на еднонасочна струја.

Турбината во никој случај неможе да остане во погон без да работи, со соодветни потребни карактеристики, системот за масло.

Турбинските масла главно ги имаат следните функции: хидраулично подмачкување на лежиштата, одведување на топлина, заптивање на системите, спречување на триењето и абење, заштита од корозија, а често се користат како хидраулични флуиди за пренос на моќта кај системите за регулација. Кај турбините прво се користеле чисто базни масла, но со зголемување на барањата на производителите на турбини, кон нив се додаваат адитиви за заштита од корозија и други адитиви. Турбинските масла се карактеризираат со висока оксидациона стабилност, хидролитичка стабилност, отпорност на појава на пара, добра филтрабилност и ниска тенденција кон појава на пена. Вискозната градација на маслата најчесто е VG 32, 46, 68, 100 (таб.2.3.4. и 2.3.5.).

Германскиот стандард DIN 51515 се однесува на минерални турбински масла за подмачкување и регулација на парни турбини, за масла за стационарни гасни турбини и постројки со електричен и турбински погон (гене-

ратори, компресори, пумпи). Тој ги опфаќа минералните масла со додатоци против оксидација и корозија, но без додатоци против абење.

Британскиот стандард BS 489 се однесува на турбински масла, а ги дефинира барањата за подобрена оксидациона стабилност, ја ограничува појавата на пена, корозивноста, и кеселинскиот број TAN=0,2 mg KOH/g без адитиви, Ги дефинира маслата за парни турбини и не се однесува на масла за работа со процесни гасови кои реагираат со базните масла и адитиви.

Таб. 2.3.4. Класификација на турбинските масла според ISO стандардот:

ISO L - TSA	Минерално масло кое се користи во ПТ во ТЕП без зголемена отпорност на оптоварувања од запчест пренос.
ISO L - TSC	Синтетичко масло кое се користи во ПТ, погоните и контролните системи, со висока оксидациона стабилност и добри својства на ниски температури.
ISO L - TSD	Незапаливо синтетичко масло на база на фосфатни естери кое се користи во ПТ и контролните системи.
ISO L - TSE	Минерално масло кое се користи во ПТ во ТЕП со зголемена отпорност на оптоварувања од запчест пренос.
ISO L - TGA	Минерално масло кое се користи во ГТ во ТЕП без зголемена отпорност на оптоварувања од запчест пренос.
ISO L - TGB	Минерално масло кое се користи во ГТ во ТЕП со зголемена отпорност на оптоварувања од запчест пренос.
ISO L - TGC	Синтетичко масло кое се користи во ГТ, погоните и контролните системи, со висока оксидациона стабилност и добри својства на ниски температури.
ISO L - TGD	Незапаливо синтетичко масло на база на фосфатни естери кое се користи во ГТ и контролните системи.
ISO L - TGE	Минерално масло кое се користи во ГТ, контролни, индустриски и бродски погони, со зголемена отпорност на оптоварувања од запчест пренос.

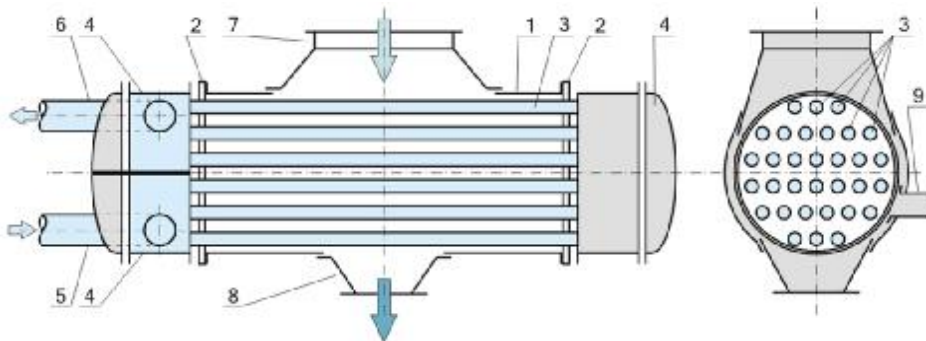
Таб. 2.3.5. Карактеристики на турбински масла:

Карактеристики	Вредности			Метода
	32	46	68	
Вискозна градиција	32	46	68	ISO 3448
Кинематска вискозност на 40°C, mm ² /s, min/max	28,8/35,2	41,4/50,6	61,2/74,8	ISO 3104
Индекс на вискозност, min.	80			ISO 2909
Точка на течење, °C, max.	- 6			ISO 3016
Точка на палење, °C, min.				
- отворен сад по Klivlend	177			ISO 2592
- затворен сад по Penski-Martens	165			ISO 2719
Пенливост, mL, max.				
Дел I на 24°C	450/0			ISO 6247
Дел II на 93,5°C	100/0			
Корозивност на бакар, 3h на 100°C, класа, max.	1			ISO 2160
Оксидациона стабилност:				
Вкупна киселост, mgKOH/g, max.	1,8			ISO 7624
Талог, % m/m, max.	0,40			

2.4. ОДРЖУВАЊЕ И КОНТРОЛА НА КОНДЕНЗАТОРСКА ПОСТРОЈКА

Правилната и сигурна работа на кондензаторската постројка е многу важна за економичноста и сигурната работа на целата турбинска постројка, а и на целата термоцентра (сл.2.4.1.). Со наголемување на вакуумот се наголемува и економичноста на целата постројка. Основен показател на работата на кондензаторската постројка е длабочината на вакуумот во кондензаторот.

Вакуумот во кондензаторот се одржува со помош на парни или водни ејектроски постројки, кои го шмукаат навлезениот воздух од парниот простор на кондензаторот. Со наголемување на притисокот во кондензаторот за 0,1 kPa, се наголемува специфичната потрошувачка на пара за околу 2%, па затоа потребно е да се контролира херметичноста на кондензаторската постројка во однос на воздухот.



Сл. 2.4.1. Површински кондензатор.

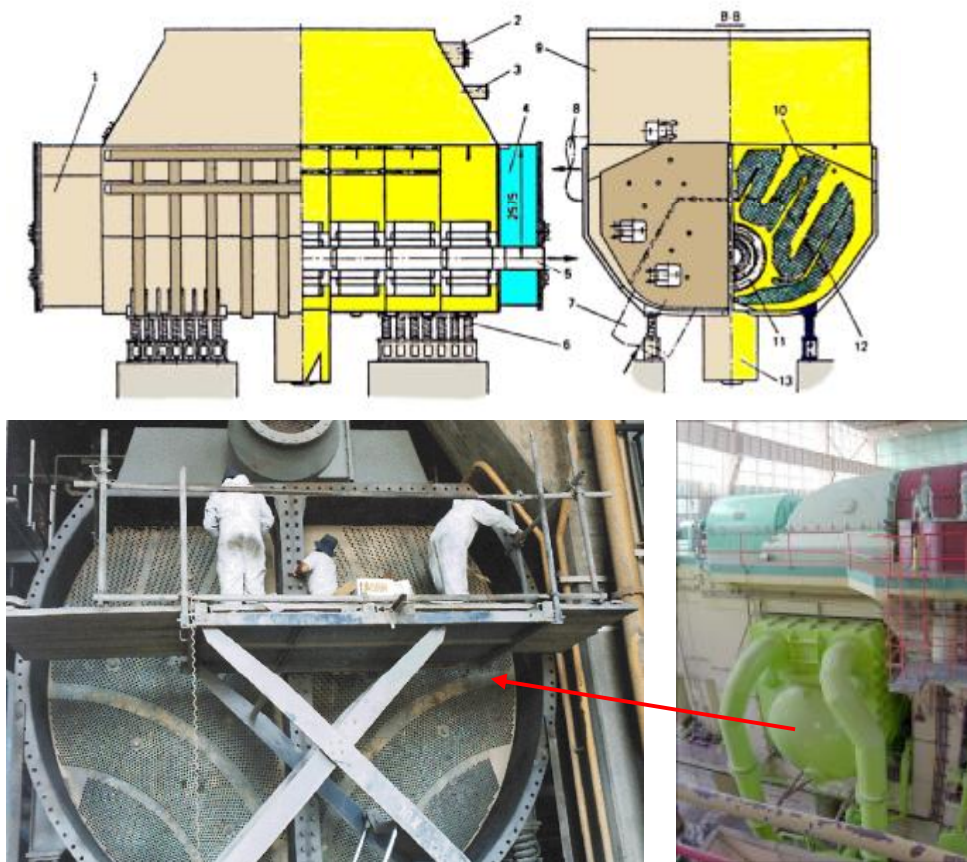
1-тело на кондензаторот; 2-цевна иштица; 3-кондензаторски цевки; 4-комори за разладна вода; 5-цевка за довод на разладна вода; 6-цевка за одвод на разладна вода; 7-отвор за довод на пара; 8-цевка за одвод на кондензат; 9-цевка за шмукање воздух.

Воздухот навлегува низ сите места каде што не е постигната херметичност: врската со прирабници на турбинските обвивки од нископритисниот дел на турбината, врската со прирабници на цевоводите кои работат под вакуум, во арматурата и низ надворешната лавиринтска затинка доколку таа не работи правилно.

Количината на воздух (таб.2.4.1.), што се смета дека е нормална за зададено оптоварување на турбината, не треба да биде поголема од:

Таб. 2.4.1. Нормална количината на воздух во кондензаторот во зависност од моќта турбината:

Моќ на турбината, MW	Количина на воздух, kg/h
50	10
100	15
150	18
200	20
300	30



Сл. 2.4.2. Кондензатор.

Една од многу важните задачи за обезбедување на сигурна работа е сочувување на потребниот квалитет на кондензат и напојна вода. Основна причина за влошување на квалитетот на кондензатот е навлегување на разладната вода во парниот простор, затоа што притисокот на разладната вода е

повисок 10÷15 mVS. Оваа количина на вода може да биде сосема мала, но сепак да го влоши квалитетот на кондензатот и тој да стане неупотреблив, доколку дополнително не се обработи. На пример, кај турбини од 300 MW, разладна вода со тврдина од 300 mg/l (чиста речна вода, езерска вода) не е дозволено нејзино навлегување ниту во количини од 8÷10 l/h.

Нарушување на херметичноста од водената страна на кондензаторот се случува на местата на спојување на цевките на кондензаторот со цевната штица или во материјалот на самите цевки, кои попуштил заради агресивното дејство на водата. Контролата на херметичноста од водната страна на кондензаторот се врши со помош на утврдување на тврдината на кондензатот на излезот од кондензаторот.

Современите кондензаторски постројки се опремени со дел за дегасирање на кондензатот, за да се спречи оксидирањето на елементите и цевките на кондензаторот. Воздухот може да навлезе и доколку не е добра херметичноста на цевководот за кондензат до пумпите за кондензат. Затоа се контролира содржината на кислород зад пумпите за кондензат.

Нечистотиите можат да бидат од следните видови (сл. 2.4.3):

- *Од растителни или животински организми.* На овој вид нечистотии подлегнуваат кондензаторите кои работат со речна или морска вода. При поволни услови за развој (поволна температура), овие организми брзо се размножуваат и ги исполнуваат од внатрешната страна цевките низ кои струи ладната вода. Со тоа се влошува преминот на топлина од парата кон водата, се влошува вакуумот, а се наголемуваат и хидрауличките отпори.

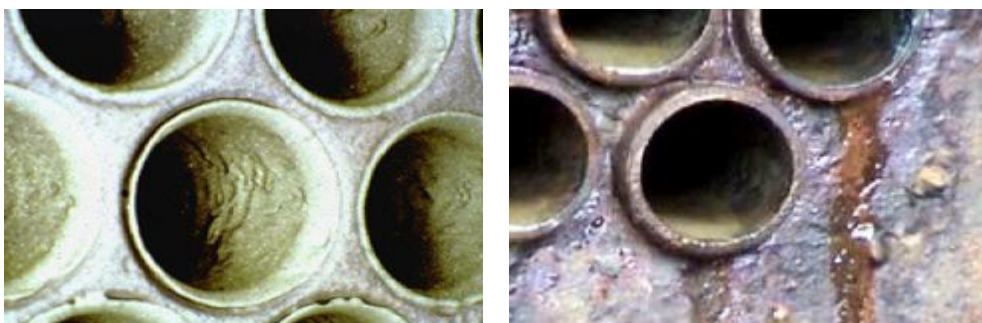
Најдобар метод за чистење е хемискиот. Кога е запрена турбината, водниот простор на кондензаторот се исполнува со вода заситена со хлор од 15÷20 mg/l. Оваа вода се задржува извесно време, потоа се испушта, а кондензаторот се мие со чиста вода. Чистењето може да се изврши по механички пат, односно секоја цевка се чисти со сврдло и четка. Најповолни резултати се постигнуваат со постојано или периодично хлорирање на водата, без да се запира турбината. Со тоа се спречува можноста за живот на микроорганизмите во кондензаторот.

- *Од нафаќање на соли од парната или водната страна на кондензаторските цевки.* Нафаќањето на соли од внатрешната страна на цевките се случува кога водата се загрева до релативно високи температури, а е заситена од леснорастворливи соединенија како $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$. Тогаш на сиовите на цевките се нафаќаат кристали на CaCO_3 и MgCO_3 .

Ако со контрола се утврди дека нафаќањето е меко и ровито, чистењето може да се изврши по механички пат со сврдла и четки. Ако наталожу-

вањето е тврдо, потребно е да се пристапи кон хемиско чистење. Во кондензаторот се внесува 3÷5 % раствор хлороводородна киселина преку посебна пумпа. При константна циркулација сите цевки рамномерно се мијат, се додека талогот не се распадне или не се одлепи од ѕидот на цевката. За да се намали штетното дејство на хлороводородна киселина врз металните елементи, во растворот се додава пасивизатор, како туткал или формалин во концентрација од 1,5 g/l. За да се забрза дејството, растворот се загрева до 50÷60 °C. Потоа цевките добро се промиваат со вода. Затоа што постои опасност да се одвои цинкот од месингот, заради слаба циркулација на растворот или неправилна работа. Хемиското чистење треба да го извршува добро обучен персонал (хемичар).

Спречување на нафаќањето на соли на цевките се врши со помош на неколку хемиски методи. Се препорачува да се додаваат чадни гасови во разладната вода. Со наголемување на содржината на CO₂ се наголемува растворливоста на бикарбонатите во водата. Со вториот метод се постигнува истиот резултат со внесување на суперфосфат, тринатриумфосфат и сл. во разладната вода. Третиот метод се базира на обработка на разладната вода со сулфурна или солна киселина. Со тоа, тешкорастворливите бикарбонати во водата, се претвораат во добро растворливи сулфидни, сулфатни и хлорни соли.



Сл. 2.4.3. Нафаќање на нечистотии на цевките во кондензаторот.

При контрола на разладните и кондензатните пумпи, потребно е да се утврди состојбата на лежиштата и нивно подмачкување, притисокот на водата, капацитетот и вибрациите на роторот. Намалувањето на капацитетот на пумпите се должи на шмукањето на воздух преку затинките. Ако се утврди, со контролата, дека од пумпата истекува вода или навлегува во неа воздух, потребно е да се стегнат затинките.

Намалувањето на капацитетот и притисокот во исто време се должи на големата истрошеност на роторскиот дел на пумпата и со тоа поврзано виорење на водата и појава на кавитација.

2.5. ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ДЕГАСАТОРСКА ПОСТРОЈКА

Нормалната експлоатација на термоенергетските постројки во голема мерка зависи и од надежната работа на дегасаторската постројка.

Созданиот кондензат во кондензаторот, со помош на пумпата за кондензат, се потиснува низ регенеративните загреватели. Во кондензаторот континуирано се одзема воздух за осигурување на неговата успешна работа. Тоа значи дека во парата има определена кличина на воздух, а исто така определена количина на воздух останува во кондензатот. Оваа количина на воздух содржи агресивни гасови O_2 и CO_2 , кои предизвикуваат корозија на инсталациите и цевководите. Особено е опасно ако напојната вода на влезот во котелот содржи кислород.

За да се заштити инсталацијата од корозија се применува термичко и хемиско одстранување на гасовите од водата. Прво се применува термичка дегасација, а потоа остатокот на кислород дополнително се врзува со дејство на хемиски адитиви, најчесто хидразин N_2H_4 .

Термичката дегасација се засновува на законот на Хенри, односно количината на гас растворен во водата е пропорционална на притисокот на гасот над водата. При загревање на водата при константен притисок, растворените гасови во неа постепено се издвојуваат. Кога температурата на водата ќе се покачи до температура на заситување, парцијалниот притисок на водната пара, над нивото на водата, го достигнува потполниот притисок над водата, а парцијалниот притисок и содржината на гасовите во водата се намалува до нула. Тоа значи дека водата се ослободува од гасовите содржани во неа (сл.2.5.1. и сл.2.5.2.).

За да се обезбеди сигурно отстранување на кислородот од водата, при термичката дегасација, потребно е освен одржување на температурата на заситување при одреден притисок и обезбедување на доволно време и доволна површина на допир на парата за загревање и обезвоздушената вода, како и постојано одведување на гасовите од дегасаторот.

Во зависност од намената, дегасаторите се делат на дегасатори за:

- напојна вода,
- повратна вода,
- додатна вода за топлификација.

Во зависност од начинот на загревање се делат на дегасатори со:

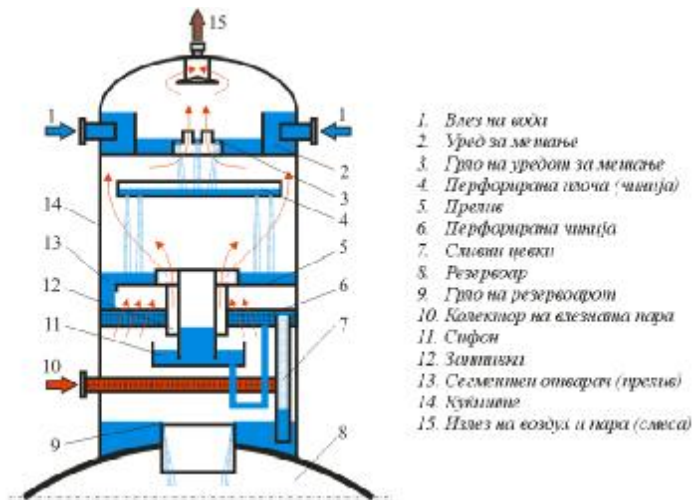
- внатрешно загревање со мешање на водата и парата.
- надворешно предходно загревање на водата (дегасатори на прегреана пара).

Во зависност од притисокот се делат на дегасатори со:

- натпритисок од $0,6 \div 0,7$ МПа,
- атмосферски притисок од $0,1 \div 0,11$ МПа,
- вакуумски,
- со променлив притисок.

За сигурна експлоатација на дегасаторите потребно е:

- обезбедување на потребниот проток на кондензат во дегасаторот во зависност од нивото на вода во кондензаторот,
- обезбедување на потребниот проток на пара за загревање,
- одржување на постојана температура на заситување на водата при определен работен притисок на дегасаторот ($165\text{ }^{\circ}\text{C}$ за $0,7$ МПа),
- одржување на потребната температура на кондензатот после регенеративните загреватели, односно на влезот во дегасаторот (за $10 \div 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ пониска од температурата на заситување на водата),
- одржување на потребното ниво на вода во дегасаторот.



Сл. 2.5.1. Дегасаторска постројка.

Во наредниот текст се прикажани причините за можни неправилни ситуации, кои се појавуваат при експлоатација на дегасаторите и начинот на нивно отстранување:

1. Зголемување на содржината на O_2 и појава на слободен CO_2 :

- Мал проток на пара која се исфрла во атмосферата.
За отстранување на оваа причина потребно е целосно отворање на вентилите за довод на пара за загревање.
- Намалување на температурата на кондензатот на влезот во дегазаторот.
За отстранување на оваа причина се преземаат мерки за зголемување на температурата кондензатот и зголемување на количината на пара за загревање.
- Преоптоварување на деаераторната колонка.
Неисправна деаераторна колонка, зачепување, кршење на одредени елементи и др.
За отстранување на оваа причина потребно е да се изврши ревизија на колонката.

2. Хидроудари во дегасаторот и колонката:

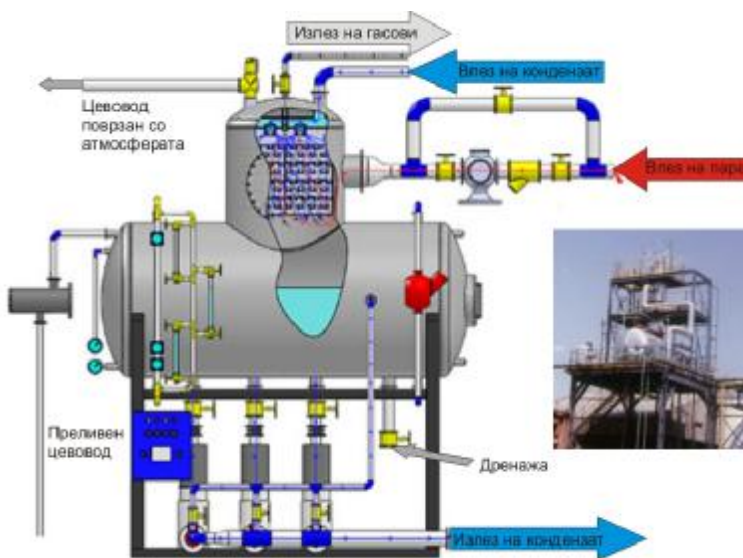
- Топлинско преоптоварување на дегасаторот поради ниска температура на влезниот кондензат.
За отстранување на оваа причина се врши контрола на температурата и протокот на кондензатот на влезот во дегасаторот, се врши контрола на работата на регенеративните загреватели.
- Неисправност на дегасаторската колонка
За отстранување на оваа причина се врши ремонт на колонката.

3. Намалување на притисокот во дегазаторот:

- Намалување на притисокот на парата за загревање.
За отстранување на оваа причина потребно е да се зголеми притисокот на парата на одземањето на пара за дегасаторот преку регулаторот на притисок.
- Лоша работа на регулаторот на притисок.
Доколку истиот работел автоматски се префрла на рачно или пак се вклучува резервниот регулатор на притисок.
- Зголемен проток на кондензат.
За отстранување на оваа причина потребно е да се зголеми температурата на влезниот кондензат.
- Протекување (губење) на кондензат.
Причина за губење на кондензатот, најчесто е евентуалното пропуштање на дренажните вентили. За отстранување на оваа причина потребна е проверка и замена на вентилите.

4. Зголемување на притисокот во дегазаторот.

- Неисправна работа на регулаторот на притисок.
До колку истиот работел автоматски се префрла на рачно или пак се вклучува резервниот.
- Довод на многу топол кондензат и вклучен РУ.
За отстранување на оваа причина потребно е да се намали температурата на кондензатот или да се намали протокот на пара за загревање.



Сл. 2.5.2. Принцип на работа на дегазаторска постројка.

5. Промена на нивото на водата во дегазаторот.

- Неисправна работа на регулаторот за ниво.
За отстранување на оваа причина се преминува на рачно регулирање на нивото.
- Недобро заптиваче на арматурата.
За отстранување на оваа причина потребно е неисправната арматура да се поправи или замени со нова.

2.6. ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ЦЕВКОВОДИТЕ ЗА ПАРА И ВОДА

2.6.1. Контрола и заштита на цевководите пред пуштање во работа

Нормалната експлоатација на термоенергетските постројки во голема мерка зависи и од надежната работа на цевководите и арматурата за пара и вода. Пред вклучување во работа, цевководите за пара и кондензат и арматурата се подложува на техничко испитување. Техничкото испитување во себе опфаќа: проверка на монтажнo-техничката документација, надворешен преглед и хидраулично испитување. Надворешниот преглед и хидрауличното испитување, се изведуваат кога цевководите не се изолирани.

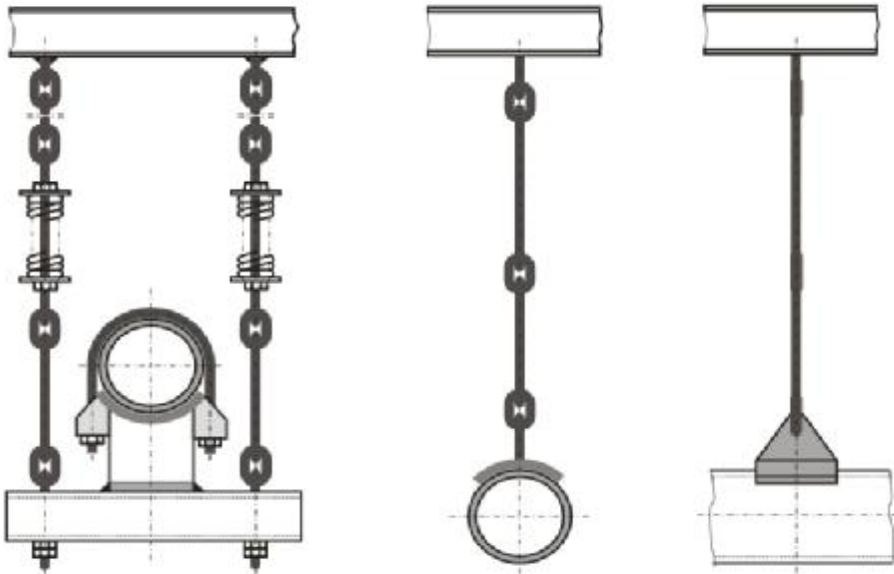
Пред да се изврши хидраулично испитување, цевководите треба да се измијат, со цел од нив да се отстранат талогот и другите предмети, кои останале во цевководите, за време на монтажата. Миењето на цевководите за вода и кондензат се изведува со вода, неколку пати. За да се подобри миењето, се применува претходно загревање на водата во дегасаторот, со помош на пара. Циркулацијата на водата се постигнува со помош на кондензатните, напојните или специјални пумпи за таа намена.

Според редоследот, најпрво се мие напојниот резервоар, потоа кондензаторот, цевководите за основен кондензат со загревачите за низок притисок. После тоа се мие цевководот за напојна вода со загревачите за висок притисок. Пароводите се продувуваат со пара со притисок помал од 40 bar. Времето на секое продувување изнесува 10÷20 минути. Пароводот се дели на неколку делови, така што посебно се мие (продувува) секој од нив. При продувувањето на пароводите се отвораат сите дренажни и сите запорни вентили.

Надворешниот преглед на цевководите и арматурата се состои во проверка на: монтажата на системите за носење на цевките (пароводите се со наклон во насока на движење на парата, а цевководите за вода со наклон спротивен од насоката на движење на водата), арматурата (тело, поклопец, затинки, вретена) и др.

Цевководите се прицврстуваат со монтажни и демонтажни држачи. Држачите можат да бидат подвижни и неподвижни. Подвижните држачи дозволуваат осовинско поместување на цевководите. Држачите за обесување ја фиксираат положбата на цевководот во просторот (сл. 2.6.1).

Цевководите изработени од јаглеродни и ниско легирани челици, при нивно загревање, на секои 100 °С, линеарно се издолжуваат за 1,2 mm/m’.



Сл. 2.6.1. Држачи за обесување.

а) со пружини со два држачи

б) нееластични со еден држач

Ако цевководите немаат можност слободно да се шират, во нив ќе се возбудат големи сили, способни да ја извиткаат цевката, откорнат неподвижните држачи, деформираат опремата и тн.

За обезбедување слободна дилатација на цевководите, се применуваат специјални делници, тн. *компензатори* (сл.2.6.2).

Компензаторите можат да бидат:

- со свиткување (сл.2.6.2.а.),
- во вид на армоника (сл.2.6.2.б.) и
- телескопски (со затинки) (сл.2.6.2.в).

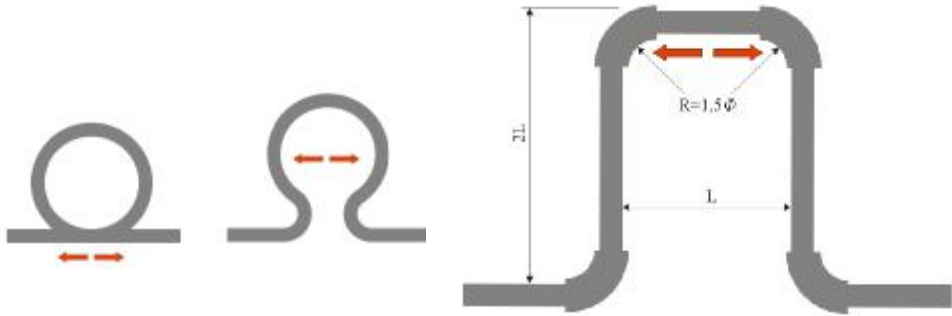
Големината на издолжувањето на цевката се определува:

$$d = a \cdot L \cdot \Delta t$$

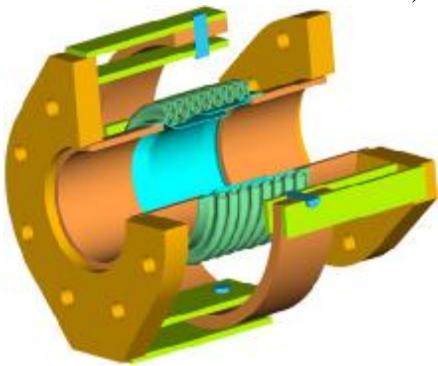
каде: a (mm/m°C)10⁻³ – коефициент на издолжување

L m – должина на цевководот

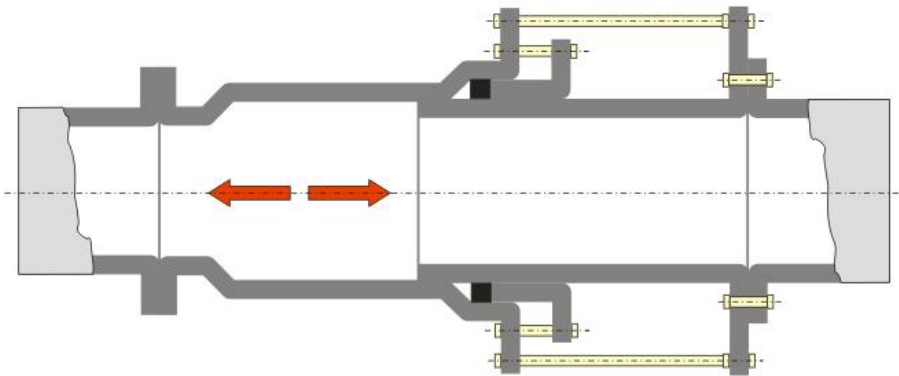
Δt °С – разлика на амбиентната температура и температурата при експлоатација на цевководот.



а) со свиткување



б) во вид на армоника



в) телескопски (со затинки)

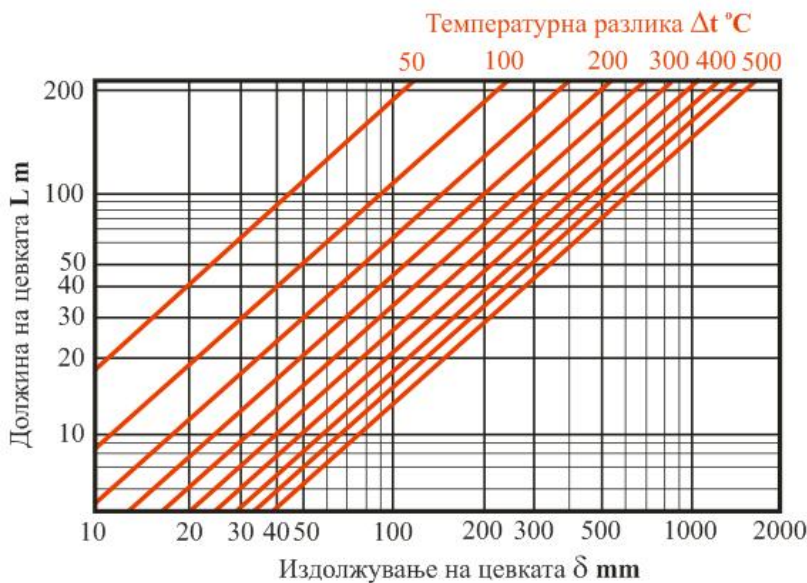
Сл. 2.6.2. Компензатори.

Коефициентот на издолжување за различни челици може да се определи од таб.2.6.1.

Таб. 2.6.1. Коефициент на издолжување a ($\text{mm}/\text{m}^\circ\text{C}$) 10^{-3} :

Материјал	Температурен ранг $^\circ\text{C}$						
	<0	0-100	0-200	0-300	0-400	0-500	0-600
Јагленороден челик (0,1%÷0,2% C)	12,8	13,9	14,9	15,8	16,6	17,3	17,9
Легиран челик (1% Cr, 0,5% Mo)	13,7	14,5	15,2	15,8	16,4	17,0	17,6
Нерѓосувачки челик (18% Cr, 8% Ni)	9,4	20,0	20,9	21,2	21,8	22,3	22,7

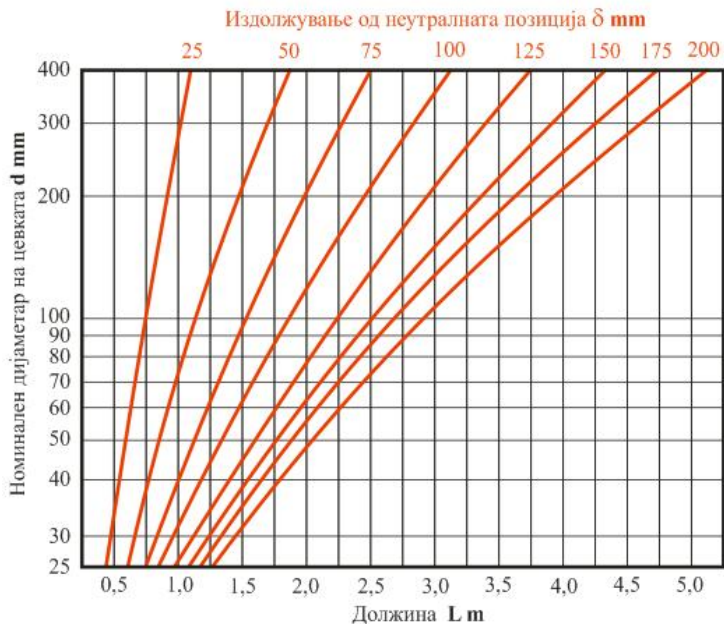
Издолжувањето за челични цевководи може да се определи и со примена на дијаграмот прикажан на сл.2.6.3.



Сл. 2.6.3. Издолжување на челични цевководи.

Издолжувањето на компензаторите со свиткување може да се определи со примена на дијаграмот прикажан на сл.2.6.4. во зависност од номиналниот дијаметар на цевководот d mm и должината L m прикажана на сл. 2.6.2.a.

Во таб. 2.6.2. се дадени растојанијата на поставување на држачите на цевководот, во зависност од номиналниот дијаметар на цевководот за челични и бакарни цевки, според Европскиот стандард EN 13480.



Сл. 2.6.4. Издолжување на компензаторите со свиткување.

Таб. 2.6.2. Препорачани растојанијата на поставување на држачите на цевководот:

Номинален дијаметар на цевководот mm		Интервал на хоризонтално движење m		Интервал на вертикално движење m	
Челик	Бакар	Челик	Бакар	Челик	Бакар
15	15	1,8	1,2	2,4	1,8
20	22	2,4	1,2	3,0	1,8
25	28	2,4	0,5	3,0	2,4
32	35	2,4	1,8	3,7	3,0
40	42	2,4	1,8	3,7	3,0
50	54	2,4	1,8	4,6	3,0
65	67	3,0	2,4	4,6	3,7
80	76	3,0	2,4	4,6	3,7
100	108	3,0	2,4	5,5	3,7
125	133	3,7	3,0	5,5	3,7
150	159	4,5	3,7	5,5	3,7
200		6,0		8,5	
250		6,5		9,0	
300		7,0		10,0	

За намалување на топлинските загуби низ цевководите се поставува соодветна термичка изолација. Термичката изолација на цевководите секогаш

се поставува пред пуштање на цевководите во погон, а потоа најчесто за време на изведување на ремонтните работи се контролира нејзината исправност. Постојат голем број на изолациони материјали кои се одликуваат со ниски коефициенти на премин на топлината.

За термичка изолација на цевководите кој работат на високи температури најчесто се користат изолациони материјали во вид на плочи или ленти изработени од минерални влакна (стаклена волна, минерална волна, камена волна и др.). Изолационите материјали од минерални влакна се изработуваат во различни облици, а најчесто се појачани од едната или од двете страни со пластични влакна, терхартија, жичана мрежа или се покриваат со алуминиумски лим (сл.2.6.7.). Плочите од стаклена и минерална волна може да се сретнат во различна дебелина поврзани со синтетички смоли.

Голема примена како изолациони материјали за цевководи со пониска работна температура наоѓаат пенастите материјали: полистирол, материјали од PVC и полиетилен, фенол смоли и полиуретан. Суровината може да биде цврста или течна. Пенаста состојба се добива со додавање на средство за ширење.

Коефициентите на премин на топлина за различни материјали за термичка изолација се прикажани во таб. 2.6.3.

Таб. 2.6.3. Средни коефициенти на пренесување на топлината λ на материјали за термичка изолација:

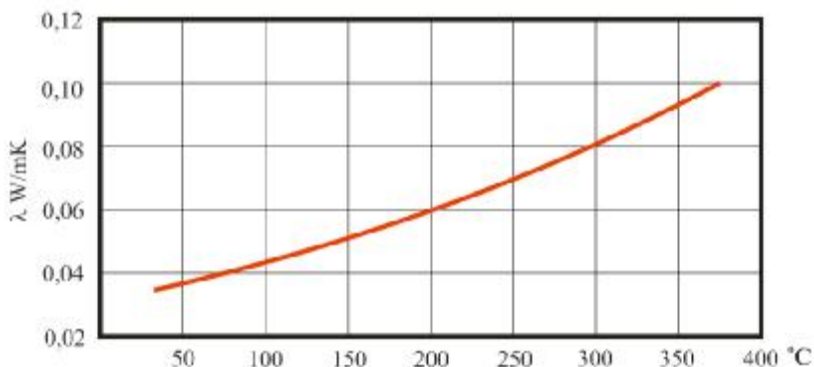
Материјал	Температура на постојаност °C	Густина kg/m ³	λ W/mK
Стаклена волна	600	119	0,033 - 0,039
Стаклена пена	430	135	0,053 - 0,060
Плуга	150	100	0,037 - 0,045
Пластични маси	500	200	0,049
Микротерм	950	240	0,017
Полистирол - стиропор	70	20	0,033
Минерална волна	250	100	0,035 - 0,041
Порозен гипс		300	0,072

Топлинските загуби на цевководите зависат од изборот на термичката изолација, но исто така зависат од дебелината на слојот со кој се покрива цевководот, односно поголема дебелина дава понизок коефициент на премин на топлината преку изолацијата. Во таб.2.6.4. се прикажани препорачаните вредности на дебелината на изолацијата за различни номинални дијаметри на цевководите, во зависност од температурата и видот на флуидот кој струи низ цевководот.

Таб. 2.6.4. Препорачана дебелина на изолација:

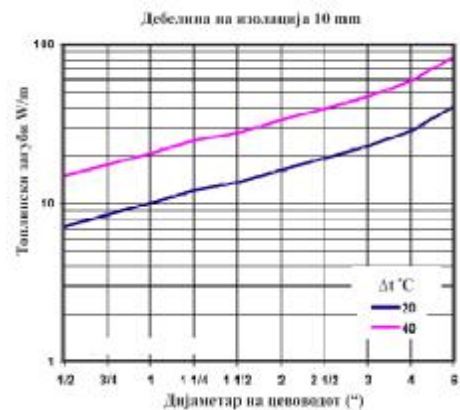
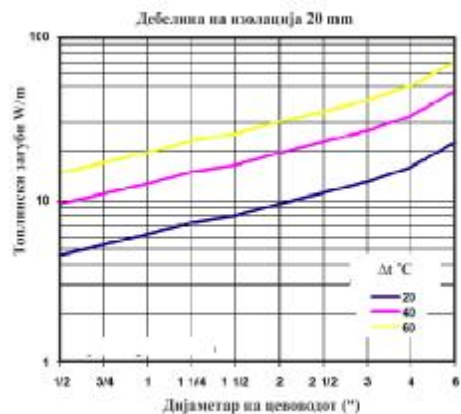
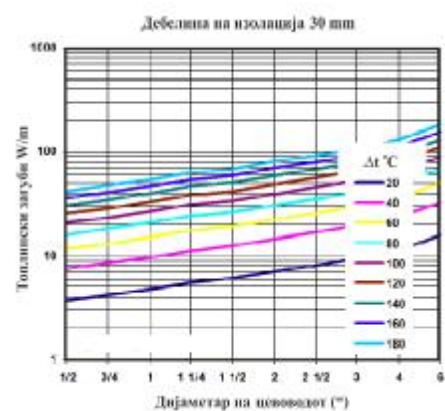
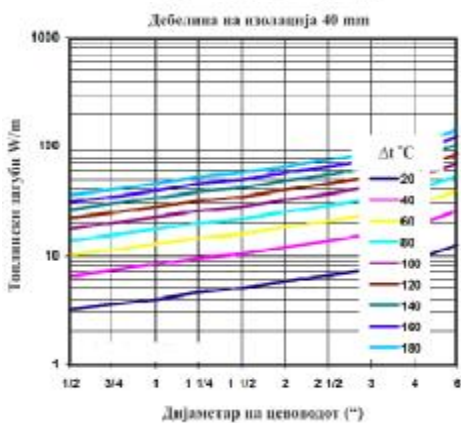
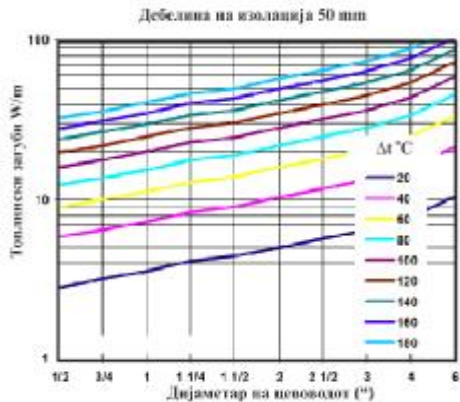
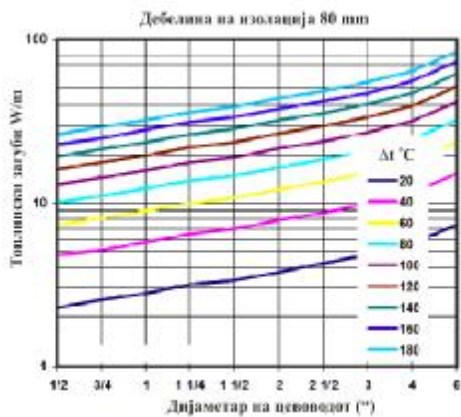
Препорачана дебелина на изолација во (")				
Номинален дијаметар на цевководот (")	Температура °C			
	50 - 90	90 - 120	120 - 150	150 - 230
	Топла вода	Пара со низок притисок	Пара со среден притисок	Пара со висок притисок
< 1"	1,0	1,5	2,0	2,5
1 1/4" - 2"	1,0	1,5	2,5	2,5
2 1/2" - 4"	1,5	2,0	2,5	3,0
5" - 6"	1,5	2,0	3,0	3,5
> 8"	1,5	2,0	3,0	3,5

При поставување на изолацијата треба да се води сметка за изборот на изолациониот материјал и температурата на флуидот што струи во него. Коефициентот на премин на топлината за одреден термички изолационен материјал се менува во зависност од температурата на флуидот што струи во него, односно неговата вредност се наголемува со пораст на температурата. Во дијаграмот на сл.2.6.5. е прикажана промената на коефициентот на премин на топлината во зависност од температурата, за стаклена волна.



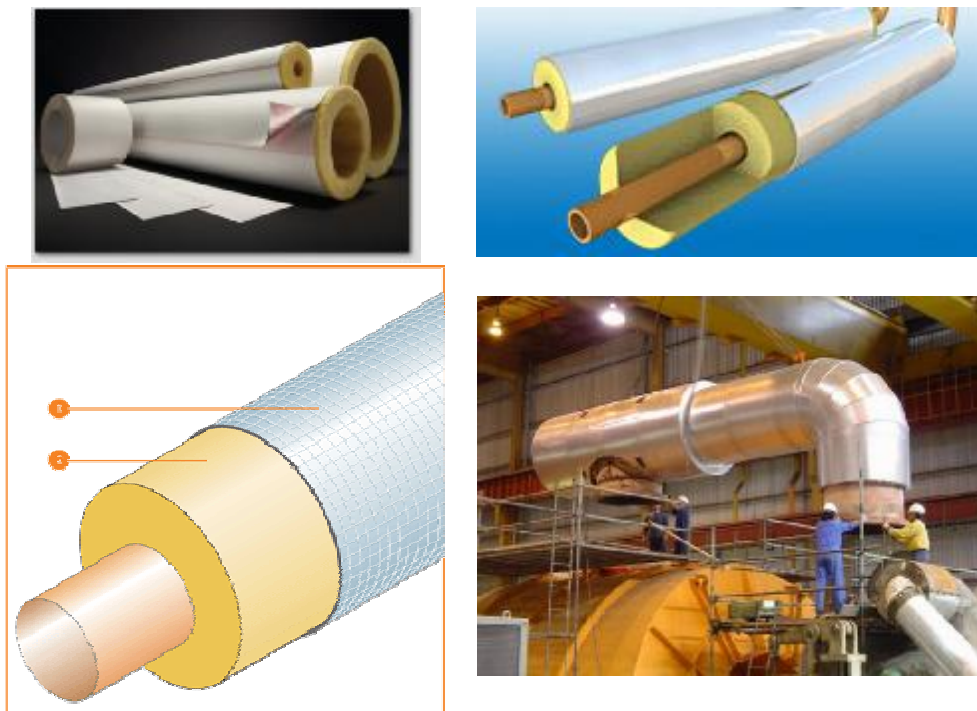
Сл. 2.6.5. Промена на коефициентот на премин на топлината λ W/mK во зависност од температурата °C, за стаклена волна.

Влијанието на температурата на флуидот, при различни дијаметри на цевководот, врз топлинските загуби при одредена дебелина на изолациониот материјал е прикажано на дијаграмите на сл.2.6.6. Од дијаграмите може да се види дека со пораст на температурната разлика се зголемуваат топлинските загуби на цевководите.



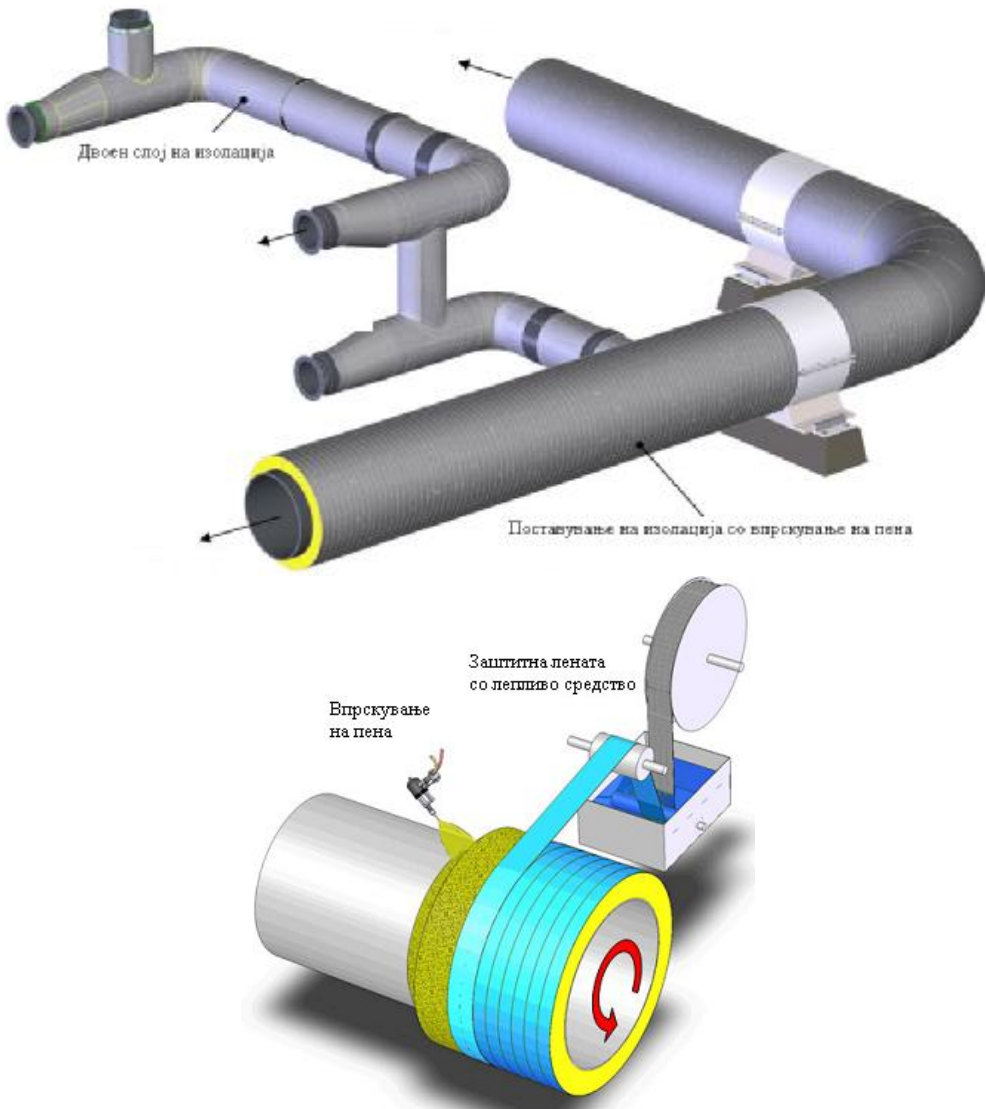
Сл. 2.6.6. Влијание на температурната разлика врз топлинските загуби на цевководите за различни дебелини на изолациониот материјал.

Најчесто применуван материјал за изолација на пароводите кај термо-централите е стаклена, минерална и камена волна обложена со алуминиумски лим (пр. дебелина 1,5 mm) за механичка заштита (сл.2.6.7.).



1. Стаклена волна 2. Алуминиумски лим
Сл. 2.6.7. Поставување на изолација на цевководите.

Во последно време за термичка изолација на цевководите се користат различни експандирачки пени кои се одлични изолатори. Пената на цевката се наносува со прскање со специјален уред. Уредот има ротационен пиштол, кој со ротација, пената ја наносува околу цевководот со иста дебелина по целата негова должина. Доколку се бара поголема дебелина на слојот се прават неколку должински наносувања на пената со пиштолот. За механичка заштита на пената се користат ленти со лепливо средство. Лентата се наносува со кружно движење по целата должина на цевководот. Овој начин е висококофикасен начин на термичка заштита на цевководите. Пред поставување на цевководите се наносува слојот од термичка изолација, а потоа се спојуваат цевководите со посебни сврзни елементи. Предноста на овој начин на изолација е во тоа што може едноставно да се изолираат и поедини елементи од арматурата, како вентили, држачи и др. (сл.2.6.8.).



Сл. 2.6.8. Нанесување на изолација со впрскување на експандирачки пени.

После надворешен преглед, се врши хидраулично испитување на цевоводот. Пред да се изврши хидраулично испитување на пароводите за низок притисок, со поголем дијаметар, на истите се монтираат дополнителни ослонци за носење, бидејќи проектите не се пресметани за носење и на масата на водата. За изведување на хидрауличното испитување, цевководите се полнат со вода, со температура блиска на температурата на просторијата.

При полнењето на цевководите со вода, треба од нив постепено да се отстранува воздухот. Присуството на воздух во цевководите, може да доведе до одредени дефекти или до негово растворање во водата, со што се смалува притисокот во цевководот. После тоа со помош на механички хидраулични преси, со електричен погон, се зголемува притисокот на водата во цевководите до големина од 25 % над номиналниот притисок.

За отстранување на евентуалните оштетувања, цевководот мора да се испразни. После отстранување на оштетувањата, цевководот повторно хидраулички се испитува. Времето на испитување трае 5 минути. Во случај да не се појават нови оштетувања, цевководот е спремен за пуштање во експлоатација.

Хидрауличното испитување на арматурата се врши на специјални пробни столови, на притисок 25 % поголем од работниот, пред истата да се монтира на цевководите.

2.6.2. Контрола и заштита на цевководите за време на експлоатација

Состојбата на системите за носење на пароводите, како и можните нивни поместувања, треба да се контролираат во работни услови и во ладна состојба. Заради можните поместувања, на изолираните пароводи, во однос на опремата и самата конструкција на постројката, треба да се предвидат процепи, кои ќе обезбедат нивно непречено поместување. Во спротивно ќе дојде до нивно оштетување, во смисол на сплескување, деформација, па дури и до прскање.

Најчести повреди на пароводите, заради термичките дилатации, се јавуваат на местата каде:

- пароводот поминува низ сидови и бетонски плочи со недоволни отвори,
- пароводите се положени еден покрај друг (се допираат со топлинската изолација),
- пароводите се допираат со конструкцијата или со делови од опремата,
- дошло до блокирање на подвижните држачи на пароводите,
- се поставени држачи со кратки врски, кои го ограничуваат поместувањето на пароводот и тн.

Максималното поместување на хоризонталните и вертикалните пароводи, се добива како резултат на контролите извршени при температури 0 °C и при работни услови.

Контролата на состојбата на пароводите се изведува во следните периоди:

- пред секое запирање на работата на постројката за капитален ремонт и после ремонт, при кое се изведени работи на пароводот.
- во случај на откривање на појава на корозија, појава на хидрауличен удар, појава на пукнатини, повреди на пароводите, замена на цевките на повеќе од 30 % од должината на пароводот помеѓу два неподвижни ослонци, повторно заварување на повеќе од 30 % на заварените врски и тн.
- во меѓурементен период, при нормална експлоатација, не поретка од еднаш во годината.

По извршување на ремонтот се контролира висината на пружините на држачите на пароводите. Ако отстапувањето изнесува повеќе од 25% се врши регулирање на висината во дозволените граници.

Основни извори на повреди на цевководите се:

- дефекти во технологијата на производството,
- дефекти при заварување на цевководите,
- прекумерни термички напрегања (температурни нееднакости),
- топлински замор на материјалот, поради на долготрајната работа,
- вибрација на цевководите,
- заради корозија или ерозија,
- зголемување на работниот притисок.

Суштествено влијание на повредите на пароводите имаат термичките напрегања предизвикани со промена на температурата, што се јавуваат при пуштањето, запирањето или брзите промени на оптоварувањето. Топлинскиот удар има големо влијание на надежната работа на пароводите.

Се разликуваат топлински удари при загревање и ладење на цевководите. При експлоатација се дозволува разликата на температурата меѓу сидот на цевката и парата или водата, да изнесува максимално до 50 °C.

Вибрациите на цевководите можат да доведат до разрушување на елементи од опремата, топлинската изолација, пукнатини на заварените врски и т.н. Причини за појава на вибрации се: зголемувањето на протокот и брзината на парата, совпаѓањето на сопствените осцилациите на цевководот со осцилациите на парата и т.н.

2.6.3. Ремонт на цевководите и арматурата

Основна карактеристика за неисправна работа на цевководите е нарушување на нивната херметичност, која може да биде предизвикана од појава на пукнатини на цевките, дефекти на прирабниците и корозија на истите. Пукнатините на цевководите се резултат на смалувањето на дебелината на сидот, заради корозија или абразивно однесување на материјалот, заради зголемените брзини, триењето на цевководите, при нивното прицврстување и т.н. Отстранувањето на дефектите на цевководите ќе зависи од степенот на нивната повреда.

При појава на локални повреди од корозија на цевките или мали пукнатини, повреденото делче се вади, се суши и се заварува со електро или гасно заварување. При значителни повреди, делот се заменува со нов.

Пропуштањето на прирабниците може да биде резултат на: недоволната затегнатост на завртките, несиметричноста, корозија на работните површини, вибрации или хидраулични удари.

Ако е повредена затинката, истата треба да се замени со нова, а ако се лабави завртките, истите треба да се притегнат. Ако се повредени допирните површини на прирабниците, истите се обработуваат, а при поголеми дефекти се заменуваат со нови.

Основни причини за дефекти на арматурата се: корозија на деловите за затнување и корозија на седлото на вентилот, повреда на површините на осовината, затворачите, затинките и други повреди на површините за затнување повреди на навоите на завртките и навртките и др.

Повредените површини за затнување, при ремонтот, треба да се очистат со стругање на допирните површини. После тоа на истите се нанесуваат специјални пасти за мачкање, или неколку капки масло. Операцијата се повторува неколку пати, се додека повредите на површините не се отстранат. Во колку се повредите такви, истите да не можат да се отстранат, оштетените делови треба да се заменат.

При појава на кондензат или пара од затинките на арматурата, истата треба да се притегне со помош на завртките. Во колку истекувањето не престане, затинката мора да се замени со нова. Пожелно е местото на кое лежи затинката претходно да се подмачка со графит.

При замена на материјалот за затнување не е дозволено: присуство на масла во затинката, употреба на материјал за затнување што не одговара на условите на работа, нерамномерно притиснување на поклопецот на затинката, што може да доведе до предвремено стареење и др.

Површините на вретената, што се во допир со затинките, не треба да имаат вдлабнатини и други повреди. Овие површини треба да бидат добро обработени и полирани, а во случај на поголеми повреди, вретеното треба да се замени. На површините на подметките не треба да постојат повреди. Се препорачува подметките да се покријат со графит, а подметките за заситена пара, со слој од раствор на битумен и тер. Не се дозволува употреба на стари подметки, без разлика на нивната состојба.



Сл. 2.6.9. Пароводи на влезот во парнотурбински постројки.

2.7. ПРОПИСИ ЗА ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИ ПОСТРОЈКИ

2.7.1. Закон за техничките мерки за заштита

Некои од поважните одредби од Законот за техничките мерки за заштита се:

1. Заради обезбедување на конструктивната и техничката сигурност на производството, односно изградбата, употребата и одржувањето на објектите, уредите и опремата, се пропишуваат технички мерки, во областа на индустријата, рударството, градежништвото, сообраќајот и врските.

2. Со прописите за техничките мерки посебно се определуваат:

- техничките нормативи, техничките елементи и карактеристики, коефициентите, употребата на материјал и дозволените напрегања на материјалот, дозволените оптоварувања, методите на мерење и пресметка, како и физичките, хемиските, геомеханичките и другите технички услови за објекти, постројки, уреди, опрема, водни и воздухопловни средства, како и за нивното производство, односно изградба.
- постапката за проектирање и конструирање и технолошката постапка за изработка на одредени производи, изградба на објекти, постројки, уреди, опрема и самото изведување на работите.
- начинот и техничките услови за употреба и одржување на објекти, постројки, уреди и опрема, за нивна заштита и заштита на материјалот од пропаѓање.

3. Објектите, постројките, уредите и опремата, можат да се градат само врз основа на однапред изработена техничка документација.

4. Со прописите за Техничките мерки за заштита, може да се предвиди поедините објекти, постројки, уреди и опрема, да подлежат на повремена техничка контрола, начинот и времето на вршење на таа контрола и кој може да ја врши.

2.7.2. Прописи за техничките мерки за погон и одржување на термоенергетски постројки

2.7.2.1. Општи одредби

Со овие прописи се определуваат техничките мерки за погон и одржување на термоенергетските постројки (термоцентралите).

Во смисла на овие прописи, подолу наведените изрази го имаат следното значење:

- Под поимот погон се подразбира, производство, пренос, распределба и користење на електричната енергија.
- Одржување е работа која се врши со цел термоенергетската постројка да се одржува во технички исправна состојба, во склад со упатствата за одржување и упатствата на производителот на опремата.
- Ревизија е периодичен преглед на термоенергетската постројка, заради утврдување на состојбата и погонската спремност, која се врши во временски интервали предвидени со упатствата за ревизија.
- Ремонт е работа, која има за цел со поголеми поправки, замена на дотраените делови, да се одржи термоенергетската постројка во технички исправна состојба, која се врши во временски интервали предвидени со упатствата за ремонт.

Заради правилно одржување, како и заштита и користење на термоенергетската постројка, мора да постои средена техничка документација.

Техничката документација, зависно од значењето и големината на постројката, по правило треба да содржи:

- Главните карактеристики на објектот, постројките, машините и апаратите.
- Упатство за погон на објектот и постројката.
- Упатство за одржување на објектот и постројката.
- Упатство за ревизија на објектот и постројката.
- Упатство за ремонт на објектот и постројката.
- Роковник за систематско одржување, со кое се регулираат поедините редовни работи, како што се: подмачкувањето, промената на маслото, испитување на маслото, замена на поедините делови и т.н.
- Техничка документација за објектот, машините или апаратите со шема на постројката, која мора да ги содржи основните податоци.

При техничкото одржување и ревизијата, треба да се состави и во техничката документација да се внесе извештајот за состојбата на објектот, машините или апаратите, со назнака што треба да се обезбеди и направи за време на наредниот ремонт.

Сите промени, реконструкции, хаварии и нивни причинители, или било какви работи што ги менуваат основните карактеристики на објектот, треба да се внесат во соодветно досие.

Секоја термоенергетска постројка мора да ја има потребната погонска документација.

Секој термоенергетски објект или негов дел кој чини засебна целина, мора да има документација за:

- примопредавањето на должноста на смените,
- наредбите и упатствата,
- погонските промени, реагирањето на заштитните уреди, оштетувањата и мерките што се преземени за нивно отстранување,
- работните налози и дозволи за работа на поедините делови на постројката при одржувањето, ревизијата, ремонтот или поправката,
- големините што ги покажуваат инструментите значајни за технолошкиот процес, а кои ги пропишува корисникот,
- податоците што автоматски се регистрираат.

Со посебен правилник на работната организација се одредуваат роковите и начинот на чување на погонската документација.

Дневната погонска документација секојдневно мора да ја прегледа и завери лице што за тоа го определила работната организација.

За секој термоенергетски објект, мора да постојат детални интерни прописи, за работа и безбедност, за одржување и контрола на постројката. За секоја постројка или уред, како што се: котелската постројка, цевководите, парната турбина, постројката за ладење, постројката за хемиска подготовка на водата, уредот за контрола и регулација на топлинскиот процес, уредите за истоварување, дробење, складирање и транспорт на горивото до бункерот на котелот, електрофилтрите, каналите за гасови и др., мора да постојат детални писмени упатства за погон, одржување, ревизија и ремонт, што ги дава производителот на опремата, односно проектантите на објектот.

За секој погонски објект, ладилниците, објектите за транспорт на јагленот, филтрите за вода, електрофилтрите и каналите за гасови, објектите за довод и одвод на погонска вода, резервоарите за технички гасови, резервоарите за течни горива, како и за сите останати градежни објекти значајни за

непречена работа на термоцентралата, мора да се изработат потребните упатства, со рокови, за технички надзор и контрола и упатство за погон и одржување.

Издавањето на налог, вршење надзор и непосредни технички работи во погон, при одржување, ревизија и ремонт, а од кои зависи безбедноста на луѓето, имовината, односно погонот, можат да го вршат само лица кои имаат соодветна стручна квалификација, према правилникот на работната организација.

Сите работи на делови на постројките што се во работа или вон погон, мора да се изведуваат под надзор на одговорно стручно лице.

Сите вработени лица во погонот мора добро да бидат запознаени со упатствата за давање на прва помош на повредените лица од електричен удар и упатствата во случај на избувнување на пожар.

Пристап во просториите и одредени простори кои служат исклучиво за погон на термоенергетски постројки, е дозволен само на стручни лица кои работат во погонот или одржувањето, ревизијата, односно ремонтот на соодветната постројка .

Во исклучителни случаи, во наведените простории, дозволен е пристап и на нестручни лица, во присуство на одредено стручно лице, а кои се запознаени со обемот на опасноста што може да настане, при работа на соодветната постројка.

Погонските простории мора да се одржуваат во чиста и уредна состојба и во нив не смеат да се наоѓаат предмети кои не се функционално поврзани со намената на тие простории, а сметаат на правилниот погон или можат да предизвикаат пожар. Патиштата на внатрешните и надворешните комуникации со ништо не смеат да бидат попречени.

Уредите за проветрување и климатизација на воздухот, осветлувањето и греењето, мора да се држат во исправна состојба. Инсталациите за резервно осветлување, исто така треба да се одржуваат во исправна состојба. Ако постројката нема помошно осветлување, на одредени места, во исправна состојба, треба да се чуваат акумулаторски батерии или батерии за рачни светилки.

Целокупниот помошен алат и опремата за изолирање, мора да се држи во исправна состојба. Алатот треба да биде испитан и атестиран од страна на соодветна установа или соодветната лабораторија на самиот производител.

2.7.2.2. Термоцентрали

2.7.2.2.1. Довод и подготовка на горивото

а. Цврсто гориво

- Во склопот на системот за подготовка и довод на цврстото гориво, мора да се контролираат и регистрираат карактеристичните податоци, со чија помош може да се прати технолошкиот процес и состојбата на постројката.

- Ако постројката за довод и подготовка на горивото, и лицата кои со неа ракуваат се загрозени, треба веднаш да се прекине работата на целата постројка, односно на загрозениот дел од постројката, во колку тој дел сочинува една технолошка целина.

- Сите сигурносни уреди, поред редовната контрола извршена после ремонтот, обавезно треба да се испитаат во временски интервали дадени во упатството за погон на постројката.

- Постојката за довод и подготовка на горивото треба да има можност за блокада, така што испадот на еден уред од синцирот ќе предизвика исклучување на сите останати уреди зад него посматрано во насока на движење на горивото.

- Уредот за довод и подготовка на горивото треба да се подложи на ревизија и ремонт во одредени временски интервали.

- При изведување на работи на уредите за довод и подготовка на горивото, работните места мораат прописно да бидат обезбедени.

б. Течно гориво

- При користење на течно гориво, мора да се контролира неговата потрошувачка.

- Пумпната станица за течно гориво, со соодветните уреди во самиот објект, мора да биде димензионирана така да обезбеди непрекинато снабдување на горилниците со гориво.

- Секој котел мора да има посебен довод за течно гориво од резервоарот за гориво. За секој довод мора да се предвидат пумпи со соодветен капацитет и со резервна пумпа со капацитет од 100%. Снабдувањето на котелот со течно гориво мора да биде автоматизирано, со можност за манипулирање од лице место и од командната сала.

- Резервоарите за течно гориво повремено треба да се одводнуваат, а филтрите за фаќање на грубите нечистотии редовно да се чистат.

- Електричните уреди на пумпната станица за течно гориво, мора да бидат изведени во склад со прописите за електрични постројки.

2.7.2.2.2. Котелска постројка

- Просторот околу котелот, сите приоди и степеници, мора да бидат лесно приодни и проодни.

- За време на погон на котелската постројка, сите излези мора да бидат отклучени и проодни. Вратите мора да се отвораат према надвор.

- Во близина на котелската постројка, забрането е да се држат лесно запаливи течности и предмети кои можат да предизвикаат пожар.

- Пред првото ставање на котелската постројка во погон, треба да се провери дали се отстранети сите предмети кои не припаѓаат на котелската постројка, дали се земени во обѕир сите прописни обезбедувања и дали е котелот, со сите помошни уреди, спремен за погон.

- Пред првото ставање на котелската постројка во погон, како и после ревизија и ремонт, обавезно треба да се испита работата на сите сигурносни и заштитни уреди, како и да се провери работата на уредите за мерење, сигнализација и далечинско управување.

- Ставањето во погон и потпалувањето на котелската постројка, се врши според упатствата за погон.

- За секоја котелска постројка се води дневен погонски лист, во кој се внесуваат часовните, или полчасовните читувања на карактеристичните големини, предвидени со упатството за соодветна постапка, а врз основа на кои може да се контролира работата и погонската состојба на котелската постројка. Од ова можат да се изземат котелските постројки кај кои се врши полуавтоматско, или автоматско регистрирање на погонските карактеристики.

- Кога ќе се забележат пречки, или неправилности во погонот, кои ја загрозуваат постројката или погонските лица, котелската постројка треба веднаш да се стави вон погон.

- Сите делови и средства за ракување и надзор над работата на котелската постројка, мораат да бидат означени со плочки со натпис.

- Кај сите котли, кои повремено или постојано се напојуваат со гасно, односно течно гориво, веднаш по прекилот на работата, треба да се извадат распрскувачите од горилникот и одвојат од цевководот за снабдување со гори-во.

- Ревизијата и ремонтот на котелската постројка се вршат во временски интервали према упатствата на испорачателот на опремата. Ако со упатството тоа не е прецизирано, ревизијата се врши после 2000 до 3000 погонски часа, а ремонтот еднаш годишно.

- Внатрешниот преглед на котелската постројка, се врши најдоцна два месеци по нејзиното прво ставање во погон. Натамошните прегледи се вршат најмалку еднаш годишно. Ако при тоа се најдат траги на корозија, каменец или талог, веднаш мора да се преземат соодветни мерки, заради отклонување на причинителите на тие појави.

- Котелската постројка во ладна резерва, треба да се одржува во исправна состојба, како да е во погон. Ако котелската постројка треба подолго време да стои во ладна резерва, се врши нејзино конзервирање, према упатствата на испорачателот на опремата.

- Котелската постројка, покрај редовното осветлување, треба да има и помошно. Помошното осветлување мора да биде такво да овозможи непречена работа на лицата кои ракуваат со постројката, за време на испадот од погон на основниот извор на осветлување. Покажувачите на ниво и манометрите, како и останатите значајни за погонот инструменти, потребно е посебно да се осветлат.

- Квалитетот на напојната вода, мора да ги исполнува барањата дадени во упатствата за соодветната котелска постројка. Контролата на квалитетот на водата се врши најмалку еднаш во текот на една смена.

2.7.2.2.3. Цевководи и соодветна арматура

- За секој цевковод мора да се изработи точна шема со вцртани симболи, пресеци, вид на материјал на цевките и карактеристиките на арматурата.

- Вентилите, засуните и останатата арматура, мора да имаат натписи со бројки, читливи ознаки за насоката на циркулацијата и степенот на отворање.

- Ако цевководот или на него припадната арматура, се оштети до таа мерка да може да го загрози останатиот дел на постројката и лицата кои ракуваат со неа, оштетеното место треба веднаш да се извади или прекине со работата на припадниот дел на погонот.

- Треба посебно внимание да се посвети на органите за затворање, заради зачувување на нивната непропустливост.

- Вентилите за сигурност, за редукција, за затворање и за брзо затворање, по извршениот ремонт, или ревизија, обавезно треба да се испитаат према упатствата на испорачателот на опремата.

- На цевководите за свежа пара, а посебно на цевководите за високи притисоци и температури, мора често да се прегледуваат ослонците (подвиж-

ни и неподвижни). Посебно треба да се внимава на состојбата на пароводите (пукнатини, корозија, зголемување на дијаметарот и тн.) за да се избегне опасноста при работа.

- Повремено треба да се контролира изолацијата, за да се утврди дали таа е заштитена од водени капки, влага, механички удари и тн.

- Сите цевководи и арматура, во кои температурата изнесува преку 50 °С, треба да се изолираат, заради смалување на загубите на топлина, постигнување на поголема погонска сигурност и заштита на погонските лица. Изолацијата треба да се изведе така да на нејзината надворешна површина, температурата не биде поголема од 45 °С.

- При првото влегување во погон, цевководот мора да се испере заради отстранување на нечистотиите, а цевководот за свежа пара, да се издува со пара.

- Цевководите и пароводите треба да се ставаат во погон према упатствата на испорачателот на опремата, или конструкторот. Ако тоа не постои, цевководот се става во погон со постепено отворање на запорните органи, со интензивно одводнување и интензивно испуштање на воздух.

- При запирање на погонот на пароводите, треба да се отворат сите органи за испуштање на кондензатот, за да се спречи корозија.

- Пароводите смеат да се поправат само за време на прекин на работата. Делот на цевководот на кој се врши поправка, мора да биде одвоен од останатиот дел на постројката со запорен орган.

- Загревањето и испитувањето на поправените делови на цевководот треба да се врши во присуство на одговорен раководител.

- Најстрого се забранува испитување на цевководи со компримиран воздух, или топла вода, ако на него претходно е извршена поправка. Во таков случај цевководот треба да се испита со ладна вода под притисок.

- Заради подобро распознавање и преглед, сите цевководи треба да се означат со следните бои:

Намена	Боја ознака на цевководот	Поблиска намена
пара	црвена	заситена пара
	црвена-бела-зелена	прегреана пара
	црвена-зелена-црвена	испусна пара
вода	зелена-зелена	вода за пиење
	зелена-бела-зелена	топла вода
	зелена-црвена-зелена	напојна вода
	светлозелена	бунарска вода
	зелена-жолта-зелена	кондензна вода
	светлозелена-црвена-светлозелена	мека вода
	зелена-црвена-зелена	отпадна вода

- Цевководите со дијаметар до 50 mm, треба да бидат обоени по целата должина. Цевководите со поголеми дијаметри, треба да бидат обоени и со стрелки обележени, на прирабниците и на одредени растојанија, зависно од должината на цевководот.

2.7.2.2.4. Уред за отстранување на пепелот и згурата

- Уредите за отстранување на пепелта и згурата мора да се користат, прегледуваат и одржуваат, во склад со упатствата на производителот на опремата, односно проектантот.

- Делот од постројката, директно поврзан со котелот, подлежи на ревизија и ремонт со котелската постројка.

- Електрофилтерот мора да биде исклучен за време на погон на котелот со течно, или гасно гориво. Филтерот се вклучува најмалку 10 min по пре-кинувањето на работата на котелот со цврсто гориво.

- Ако пепелта и згурата се транспортираат со отворени транспортери, истите претходно мора да се навлажат со вода.

2.7.2.2.5. Парни турбини со помошни уреди

- Пред ставање на турбинската постројка во погон, како и после ревизија и ремонт, треба да се испита работата на сите сигурностни, заштитни и регулациони уреди, како и да се провери работата на уредите за мерење, сигнализација и далечинско командување. Посебно треба да се посвети внимание на снабдувањето на парната турбина со масло и на притисокот на маслото зад главната и помошната пумпа.

- После извршената ревизија и ремонт турбинската постројка се става во погон, под надзор на раководителот на извршените работи и техничкиот раководител, во согласност со производителот на опремата.

- Турбинската постројка повремено треба да се запира со некој од сигурностните уреди, со цел да се провери нивната исправност.

- При секое ставање во погон на турбински постројки со моќ поголема од 30 MW, во погонскиот лист секои 15 минути се внесуваат карактеристичните големини. Погонскиот лист се води се додека турбината не се опто-вари.

- При појава на поголеми вибрации за време на задвижувањето на турбината од оние кои се наведени во упатството, турбоагрегатот мора да се запре.

- Пред и после секоја ревизија или ремонт на турбината, мора да се контролираат вибрациите на карактеристичните места, определени во упатството за погон и добиените податоци да се запишаат.

- Пред и после секоја ревизија или ремонт на турбинската постројка, обавезно треба да се измерат карактеристичните зазори на машината (меѓу статорот и роторот, во лежиштата, затинките и сл.).

- Во случаите кога се загрозува постројката или погонските луѓе, турбинската постројка веднаш мора да се запре.

- Ако со упатството за погон не е на друг начин регулирано, ремонтот на турбинската постројка се врши задолжително по истекот на една година, од првото ставање на погон, а понатаму од 1 до 5 год.

- Сите органи за затворање, средства за ракување и надзор над работата на турбинската постројка, мораат да бидат означени со плочки со натпис. На инструментите за мерење, покрај натписот на мерната скала, мора да бидат означено, со црвена боја, и најголемите и најмалите вредности на мере-ната големина.

- За секоја парна турбина, обавезно се контролира времето на запирање на роторот, по прекилот на доводот на свежа пара. Ако времето отстапува од порано утврденото, мора да се најдат причините и истите да се отстранат.

- Упатството за погон на парната турбина, мора да ги содржи дозволените големини на фреквенциите, температурите и притисоците на парата и релативните издолжувања, при кои турбината може трајно да работи. Упатството исто така треба да ги содржи и дозволените краткотрајни зголемувања на температурата и притисокот на парата.

- Пред секое стартување на турбината, од резервоарот за масло треба да се испушти водата, да се контролира нивото на масло, а најмалку еднаш годишно да се изврши хемиска анализа на маслото. Резервоарите треба да се дополнуваат само со масло со ист квалитет.

- Парната турбина во ладна состојба треба да се одржува во исправна состојба, како да е во погон. Ако парната турбина не се користи на подолго време, треба да се изврши нејзино конзервирање, према упатствата на производителот.

- Миењето на турбината се врши во временски периоди и начин што ќе го утврди производителот на опремата, односно техничката служба на корисникот.

2.7.2.2.6. Уреди за ладење

- Техничката документација треба да ги содржи топлинските карактеристики на ладењето на циркулационата вода, кои ги дава проектантот на ладилникот.

- Термоенергетските постројки за секој тип на ладилник, мораат да имаат детално разработен режим на работа, како и режим на распределба на водата по кондензаторите, што обезбедува најдобар вакуум во кондензаторот, зависно од режимот на работа на турбината и температурата на водата за ладење. За ладилници со вентилатори, мора да биде разработен режимот на работа на вентилаторите, за различни годишни времиња.

- Кај термоенергетските постројки, со проточно или комбинирано ладење, на температури пониски од +5 °C потребно е да се врши рециркулација на водата пред пумпната станица, со цел да се спречи водата да замрзне.

- При потполно прекинување на работата на ладилникот, треба да се обезбеди проток на извесна количина на топла вода, за да не замрзне базенот.

- Ладилниците повремено треба да се празнат, со цел да се отстрани талогот и намали концентрацијата на соли во водата.

- Водата што се додава во ладилниците, како дополнување на загубената вода со испарување и испуштање (отсолување), мора да биде бистра и хемиски припремена.

2.7.2.2.7. Подготовка на водата

Заради користење на хемиски средства, опасни по здравјето на луѓето, мора да се применуваат мерки предвидени со важечките прописи за заштита на работа од штетни материи.

- Котелската постројка мора да биде снабдена со соодветен уред за подготовка на напојната вода и соодветна апаратура за стручна контрола во зависност од типот на постројката.

- Уредот за подготовка на водата мора да има соодветни инструменти за континуирано пратење на квалитетот на напојната вода.

- Заради детално хемиско испитување на квалитетот на водата, термоенергетските постројки мораат да имаат лабораториска опрема, потребна за испитување на водата, парата и кондензаторот.

- Земање на пробни примероци за лабораториско испитување, треба да се врши најмалку еднаш во текот на една смена, ако со упатството за погон тоа не е на друг начин регулирано.

- Уредот за подготовка на водата, мора да дава квалитет на напојната вода, што одговара на типот на котелската постројка, за да не дојде до внатрешни оштетувања на котелот, односно до засолување на турбинските лопатки.

2.7.2.2.8. Контрола и регулација на топлинскиот процес

- Уредите за контрола и регулација на топлинскиот процес, треба да бидат изработени и така поставени, да обезбедуваат правилно функционирање на постројката.

- За исправно функционирање на уредите за контрола и регулација на топлинскиот процес, во случај на прекин на доводот на електрична енергија, овие уреди мора да се обезбедат со снабдување со струја од независен извор, со можност за автоматско или рачно вклучување. За уредите што користат масло или воздух под притисок, потребно е исто така да се обезбеди резервно напојување.

- Сите елементи на контролните и регулационите уреди, треба да бидат обележени со плочки со натпис или со броеви, според постоечките шеми.

- Уредот за контрола и регулација на топлинскиот процес, при нормална работа на постројката, мора да биде постојано во погон, а органите за заштита и сигнализација, секогаш исправни и спремни за функционирање.

- Кога било кој од основните уреди за контрола и регулација на топлинскиот процес откаже, работата на целата постројка, треба веднаш да се прекине.

- Работната организација е должна, со интерни прописи да ги пропише мерките за безбедност кои се спроведуваат, кога одржувањето, ревизијата, или ремонтот се вршат за време на погонот.

- Термоенергетските постројки треба да ги имаат потребните атестирани лабораториски мерни инструменти, со чија помош ќе се врши проверка на исправноста на работата на уредите за контрола и регулација на топлинскиот процес.

3

ЕКСПЛОАТАЦИЈА И ОДРЖУВАЊЕ НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ

Со правилна експлоатација и одржување на хидротурбинските постројки треба да се обезбеди сигурен и економичен погон, при соодветни стандарди на функционирање (параметри, капацитет и др.) и за време кое е што е потребно за пороизводна употреба.

3.1. ОСНОВНА ПОДЕЛБА И КАРАКТЕРИСТИКИ НА ХИДРОТУРБИНСКИТЕ ПОСТРОЈКИ

Хидротурбините се механички ротациони машини кои ја трансформираат потенцијалната (притисната) енергија, односно кинетичката (брзинска) енергија на водата во механичка работа во вид на вртење на роторот.

Хидротурбините можат да се поделат во однос на:

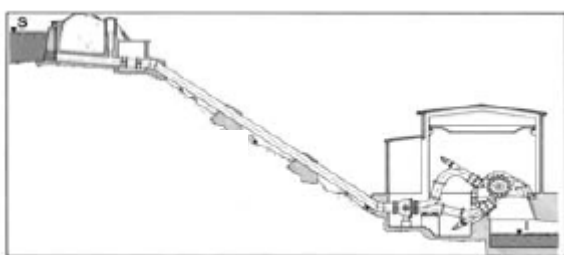
- насоката на движење на протокот на вода:
 - тангенцијални,
 - радијални,
 - дијагонални,
 - аксијални.
- притисокот на водата:
 - со константен притисок,
 - со предпритисок.
- поставеноста на турбината:
 - хоризонтални,
 - вертикални.
- конструкцијата на турбината:
 - Пелтон,
 - Францис,
 - Каплан,
 - Пропелерна и др.

Пелтоновата турбина пронајдена е во 1880 год. од страна на Lester Allan Pelton (1829-1908). Турбината работи со константен притисок со парцијален тангенцијален довод на струјата на вода. КПД на малите турбини се движи од 80÷85 %, а на големите 85÷95 %.

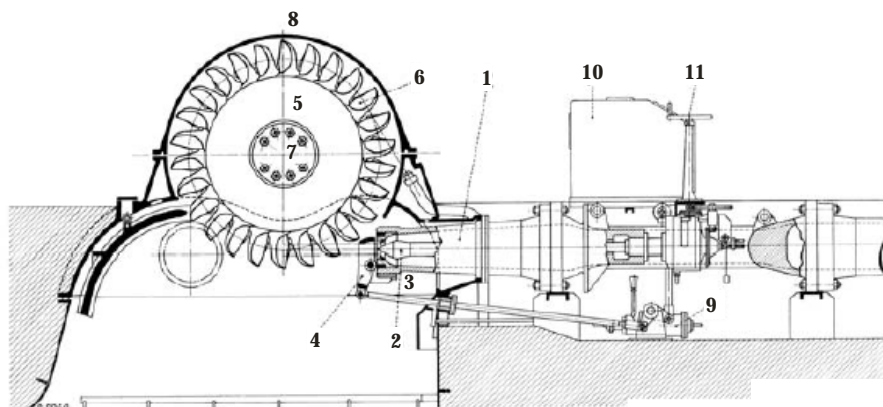
Водата се доведува полукружно преку спроводниот цевковод до млазникот. Преку прскалките струјата со кружен пресек удира на работните лопатки поставени по целиот обем на роторот. Лопатките се во облик на двојна лажица и се поставени спротивно на движењето на водната струја. Доволен е еден ротор за да се трансформира енергијата на водата во механичка работа на вратилото на роторот.

Протокот на вода се регулира со промена на излезниот пресек на млазникот, односно се промена на положбата на копјето (иглата) во него. За задвижување и промена на положбата на копјето се користи сервомотор. За брза промена на протокот, односно промена на моќта се применува отклонување на протокот (струјата) на вода со помош на дефлектор.

Пелтоновата турбина се користи за високи падови H m и мали протоци Q m³/s на водата (сл.3.1.; 3.2.). Се изработуваат во различни големини, а во енергетиката се користат со вертикална поставеност на роторот со моќ до 200 MW. Најмалите Пелтонови турбини се со дијаметар од неколку десетици сантиметри и се користат кај малите хидроцентрали со голем пад. Пелтоновите турбини можат да се употребуваат при голем дијапазон на падови од 15÷1800 m, но претежно се за падови од 50÷1300 m.

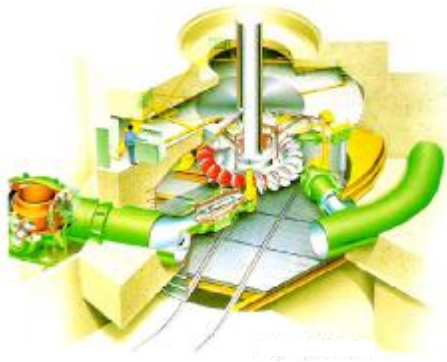


Сл. 3.1. Поставување на Пелтонова турбина.

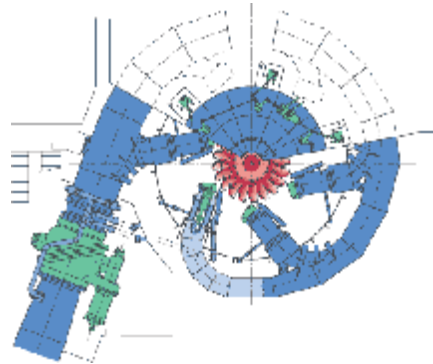


Сл. 3.2. Конструкција на Пелтонова турбина.

1-млазник; 2-копје; 3-грло; 4-дефлектор на млазницата; 5-ротор; 6-лопатка; 7-вратило, 8-кукиште, 9-сервомотор за задвижување на копјето и дефлекторот; 10-поклопец; 11-тркало за рачно задвижување на копјето и регулација на протокот..



Сл. 3.3. Изглед на Пелтон турбина.

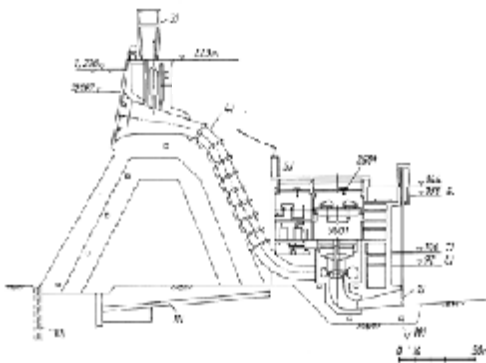


Сл. 3.4. Спроводен апарат (6 делен) на Пелтон турбина.

Франсисовата турбина е пронајдена во 1848 год. од страна на James V. Francis, која работела со КПД од 90 %. Турбината работи со предпритисок, што значи дека водата го менува притисокот при својот пат, односно при нејзиното струење. За задржување на насоката и за регулација на протокот на вода се применуваат спроводни лопатки. Роторот на турбината се наоѓа помеѓу високопритисниот довод и нископритисниот одвод на вода, поставен после падот на преградата (браната).

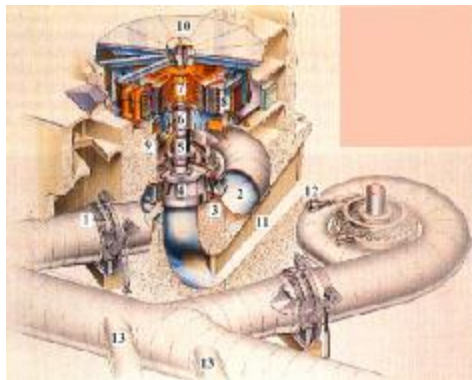
Доводниот цевковод на вода постепено се стеснува (спирала). Со помош на спроводните лопатки, кои автоматски се поставуваат (завземаат определена положба) преку регулаторот, водата се насочува кон роторот. При поминување на водата низ роторот, нејзината брзина се намалува и ја предава енергијата на роторот. Механичката работа преку вртење на вратилото (роторот) се предава на електрогенераторот. Одводот на вода (всисен дел) се изработува така да брзината на водата на излезот во одводот биде што помала. Тоа се постигнува со конфузорскиот облик на одводот (излезот) на водата од турбинскиот дел на хидроцентралата (сл.3.5.; 3.6.; 3.7.).

Турбината може да биде поставена во две варијанти: хоризонтална и вертикална. Таа наоѓа најголема примена во хидроцентралите за производство на електрична енергија.

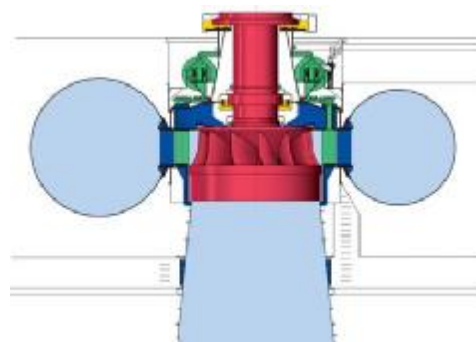


Сл. 7.5. Поставување на Франсис турбина.

Франсисовите турбини можат да се изработуваат за мала моќ, па се до максимална моќ од 1000 MW. Најголемата хидроцентрала во Европа е со две Франсисови турбини со моќ 2 x 325 MW. Овие турбини наоѓаат примена за падови од 10÷350 m и протоци од 1000 m³/s .



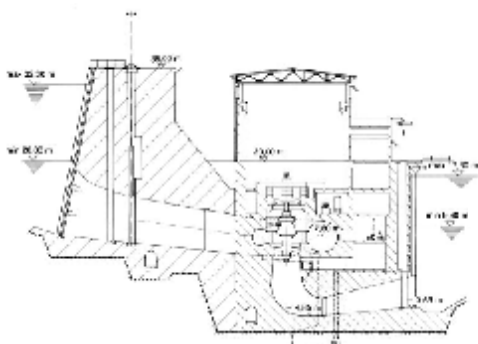
Сл. 3.6. Конструкција на Франсис турбина.



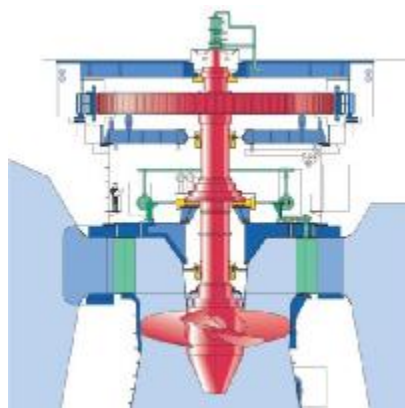
Сл. 3.7. Пресек на Франсис турбина.

1-Влезен турбински вентил; 2-Спирала; 3-Статорски лопатки; 4-Турбински ротор; 5-Турбинско коло; 6-Вратило на генераторот; 7-Електрогенератор; 8-Статор на генераторот; 9- Ладилник масло/вода; 10-Кукиште на генераторот; 11-Излезна цевка; 12-Сервомотор; 13-Вентили;

Каплановата турбина е пронајдена во 1919 год. од страна на Viktor Kaplan, која работела со КПД од 86 %.



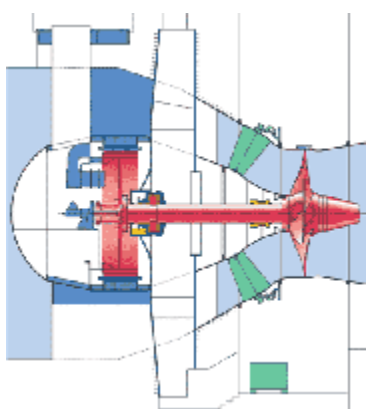
Сл. 3.8. Поставување на Каплан турбина.



Сл. 3.9. Пресек на Каплан турбина.

Турбината е аксијална со претпритисок и се одликува со одлична регулација. Во однос на Францисовата турбина, Каплановата има помал број лопатки, работно коло во вид на пропелер со можност за регулација на наклонот на работните и спроводните лопатки. Претежно се користи на места каде не може да се обезбеди постојат проток или пад (сл.3.8.;3.9.)

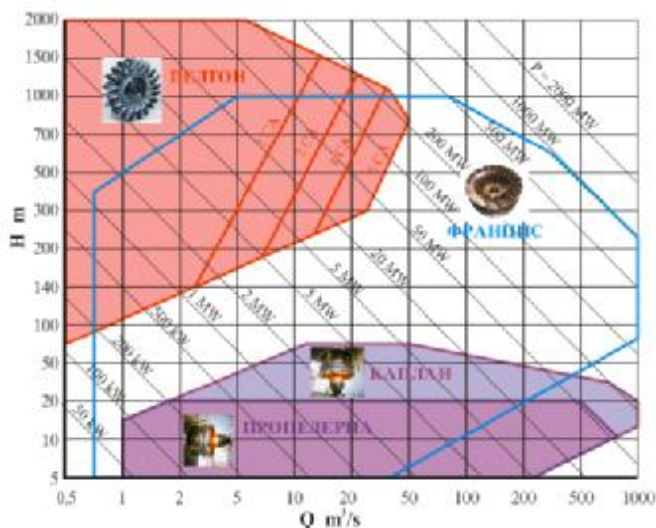
Пропелерната турбина (сл.3.10.) е многу слична по конструкција на Каплановата турбина. Целата турбинска постројка се поставува во проточниот канал во струјата на водата (турбината со електрогенераторот).



Сл. 3.10. Пресек на пропелерна турбина.

Овие турбини наоѓаат примена за мали падови до 20 m и големи протоци до 500 m³/s. Се изработуваат за различна моќ од 100 kW се до максимална моќ до 50 MW.

Подрачјето на работа на различни хидротурбини во зависност од падот H m, протокот Q m³/s и моќта P kW (MW), е прикажано на сл.3.11.



Сл. 3.11. Подрачје на работа на хидротурбините.

3.2. ПУШТАЊЕ ВО ПОГОН НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ

3.2.1. Услови кои треба да се исполнети при стартување на хидроагрегатот

Вредностите на сите параметри кои влијаат на стартувањето и работата на хидроагрегатите мора да се во согласност со пропишаните во упатствата на производителот или се добиени со специјални испитувања.

Карактеристика на ХЕЦ е неможноста за примена на стандардна опрема и по правило хидротурбинска постројка за секоја ХЕЦ се проектира и произведува посебно. При тоа се користат искуства од испитувањата направени на порано проектираните и во експлоатација испробани постројки. За проектирање и изведба на новите ХЕЦ се користат посовремени и подобри конструктивни решенија и материјали, кои овозможуваат подобрување на енергетските показатели и наголемување на дозволените параметри при работа. Според тоа сите ограничувачки параметри за стартување и запирање на хидроагрегатот се дадени во упатствата од производителот.

Во редица случаи врз овие параметри се прават корекции во текот на експлоатација, во согласност со сезонските промени на условите на работа на постројката, како уточнување на моќта и др. Исто така, дозволената температура на сегментите на лежиштата се корегира во зависност од летната и зимската температура на водата за ладење. Во зависност од сезонската промена на напорот, се корегираат отворите при стартување на спроводниот уред.

3.2.2. Пуштање во погон на хидротурбините после ремонт

Пред пуштање на хидроагрегат после ремонт, потребно е да се провери неговата исправност, според зададените инструкции и нормативи, односно треба да се провери исправноста на:

- основната постројка,
- средствата и технолошката заштита,
- деловите за блокирање,
- помошните постројки,
- цевководите за масло,

- средствата за регулација,
- далечинското управување,
- контролно-мерните инструменти,
- средствата за оперативна врска.

Горе наведеното е потребно да се провери со цел да се определат неправностите и подготвеноста на хидроагрегатот за работа. Обемот и редоследот на проверките и пробите се изведува според експлоатационите инструкции и типските инструкции за експлоатација на хидротурбинската по-тројка и механичкиот дел на хидрогенераторот. Пред пуштање на генераторот после завршување на ремонтот потребно е да бидат завршени сите проверки, средени работните места и документацијата за завршените ремонтни работи предадена на дежурниот персонал. Неопходно е да се обезбедат сите прооди од монтажните конструкции и слободен пристап кон целата постројка. Постројката детално визуелно се проверува.

Ако при ремонт се вршени поправки на потопениот дел на ХЕЦ потребно е да се посвети посебно внимание на состојбата и положбата на елементите за затворање, лаците и др., кои ја обезбедуваат херметичноста на проточниот дел. После проверката неисправните делови потребно е тие да се доведат до исправна состојба и да се пломбираат.

До стартувањето на хидроагрегатот потребно е да се провери положбата на вентилите, дејствувањето на механизмите за управување и контрола по пат на отворање и затворање на вентилите, можноста за нивно поместување до максимален проектен од. Пред проверката на вентилите потребно е да се провери дали постројката за подмачкување се наоѓа во работна состојба, а притисокот на масло е во нормални граници. При проверка на работните вентили, пред пуштање во работа на хидроагрегатот, посебно внимание потребно е да се посвети на точноста на вентилите во крајна положба и нивно затнување, после што вентилот може да биде поставен во отворена положба.

Ако во текот на ремонтот се извршени поправки на регулаторот на бројот на вртежите или на други делови на системот за регулација и управување, потребно е пред поставување на турбинските вентили во отворена положба да се провери:

- работата на регулаторот и уредите за управување со симулирање на работата на спроводниот уред,
- определи времето за отоворање и затворање на спроводниот уред при крајна положба во цилиндарот на регулаторот,
- хаварискиот цилиндар и електромеханичките елементи од регулаторот за управување.

При проверка на системот за регулација потребно е да се отворат клапните за вакуум поставени на куќиштето на турбината.

При проверка на подготвеноста на работните механизми и помошните постројки потребно е да се направат следниве работи:

- проверка на работата на пумпата за масло при рачна и автоматска работа,
- проверка на одот на клапните за вакуум и налегнувањето на клапната на седлото,
- проверка на работата на уредите за излез на водата од куќиштето на турбината, рачно или автоматски преку уредите за потопување,
- проверка на системот за подмачкување во сите јазли за подмачкување на хидроагрегатот и проверка на пумпите за масло при принудно подмачкување,
- проверка на правилно покажување на нивото на масло во лежиштата, после пумпата за масло,
- проверка на системот за кочење при рачна и автоматска работа,
- проверка на системот за отсисување на вода од комората на работното коло со компримиран воздух, при премин на хидроагрегатот во режим на синхрон компензатор.

Непосредно пред полнење со вода на доводните и одводните делови на турбинскиот блок, потребно е да се доведе во работна состојба системот за подмачкување и системот за регулација на хидротурбината, при што спроводниот уред потребно е да биде потполно затворен, а прекинувачот на сервомоторот вклучен.

Пред полнењето со вода на потопениот дел на хидротурбината се проверува затнувањето на затворачките уреди, а пред тоа потребно е да се провери работата на основниот уред за исфрлување на водата на куќиштето на турбината.

Првото пробно пуштање после капиталниот ремонт на хидроагрегатот се препорачува да се изведува рачно, преку управување со рачката на ограничувањето на отворањето, која е поставена на хидромеханичкиот дел на регулаторот на хидротурбината. Во почетокот, бројот на вртежи на хидроагрегатот треба да изнесува $15 \div 20$ % од номиналниот број на вртежи. При оваа работа на хидроагрегатот, треба да се провери појавата на ненормални шумови кои можат да се појават при вртење на подвижните делови, вибрации на потпорните делови и удари во хидроагрегатот. Потребно е да се внимава на евентуално отсуство на предупредувачките сигнали за неправилноста на

одделни делови и да се провери температурата во лежиштата. При нормална работа на хидроагрегатот, бројот на вртежи може да го достигне номиналниот. Тогаш сите проверки мора да се повторат. Кога ќе се постигне режимот на работа, потребно е да се проверат сите покажувања на експлоатационите инструменти, кои ја контролираат работата на хидроагрегатот и мерењата на вибрациите и ударите, а потоа да се внесат во специјален протокол.

Нивото на вибрации во потпорните делови после ремонтот не смее да ги надмине дозволените вредности.

3.2.3. Прекин на пуштање во погон (стартување) на хидроагрегатот

Стартувањето на хидроагрегатот се прекинува, при:

- неисправност на било која заштита која дејствува на запирањето на постројката,
- дефект на системот за регулација на хидроагрегатот, кога поради намалување на оптоварувањето автоматски се исклучува хидроагрегатот од погон,
- неисправности на системот за далечинско управување со вентилите и задвижувачите, кои се користат при хавариски ситуации,
- неисправност на клапните за вакуум и принудните испусти,
- при неправилност на една од пумпите за масло или нивното автоматско вклучување,
- при квалитет на маслото кој не одговара на експлоатационите норми и при несоодветна температура на маслото.

Основни хидромеханички заштити кои дејствуваат врз прекин на хидроагрегатот, ги контролираат следниве параметри:

- притисокот на масло во резервоарот за масло на уредот за подмачкување,
- температура во лежиштата,
- протокот на масло кон турбинското лежиште или работата на пумпата при принудно подмачкување на лежиштата,
- бројот на вртежи на хидрогенераторот.

Покрај тоа постојат и електрични заштити кои ја контролираат состојбата на генераторот. Ненавремено запирање на хидроагрегатот поради надминување на дозволените параметри доведува до хаварија и сериозни повреди на постројката. При навремено запирање на хидроагрегатот поради недозво-

лено намалување на притисокот на масло може да доведе до губење на управувањето со хидротурбината, влез на воздух во системот за регулација, што може да предизвика сериозни повреди на хидрогенераторот. Од овие параметри може да се согледа дека, пуштање во работа на хидроагрегат со неисправности во заштитата не е дозволено.

Производителот, во техничката документација за поставување на хидротурбината и во прирачниците, дозволува кусовремено покачување на бројот на вртежите при намалувањето на оптоварувањето на хидроагрегатот. Дозволеното наголемување на бројот на вртежите се постигнува со помош на специјално подесување на регулаторот на бројот на вртежи во согласност со гаранциите на производителот. Покрај тоа современите електрохидраулични регулатори на бројот на вртежи во својот состав имаат специјални уреди, кои ја контролираат положбата на цилиндарот и бројот на вртежи на хидроагрегатот и влијаат на откажување на прекилот на работа на хидроагрегатот, поради неисправност на сензорот или други неисправности на регулаторот.

Други дефекти при кои се прекинува стартувањето на хидрогенераторот:

- неисправност на електрохидрауличниот претворац на регулаторот,
- истрошување и кинење на повратните врски,
- прекинување на врската на регулаторот со генераторот на регулаторот,
- истрошување на главниот и помошниот цилиндар,
- несоодветно време на отворање и затворање на спроводниот апарат со времето зададено од производителот при крајните положби на главниот цилиндар,
- нерамномерно поместување на уредите за регулација на хидротурбината и др.

Проверката на системот за регулација за исполнување на барањата на гаранциите за регулација се изведува по пат на симулација на намалување на оптоварувањето при празна спирална комора. Не е дозволена неисправност на далечинското управување на вентилите кое се користи при елиминирање на хавариските ситуации, освен при далечинско управување кога е можно навремено оперативно затворање на водовите при откажување на работата на системот за регулација на хидротурбините. По правило, управувањето со вентилите се изведува со рачна команда или автоматски поради дејството на заштитата од прекин на работа на хидроагрегатот. Времето на затворање на турбинските вентили зависи од типот на вентилот и местото на неговото поставување, но не смее да е предолго поради можноста за автоматско вклучување на вентилите во работа.

При намалувањето на оптоварувањето и брзото затворање на спроводниот апарат на турбината во просторот на работното коло се појавува разредување, што може да го промени притисокот и предизвика завртување на протокот на вода, со тоа и појава на удари со спротивен проток врз работното коло. Силата на спротивниот проток е многу голема. Во редица ХЕЦ тоа предизвикало подигање на ротирачките делови на хидроагрегатот и кршење на лопатките од работното коло кај Каплановите хидротурбини. За намалување на разредувањето во полето на работното коло, на поклопецот на турбината се поставуваат клапни за намалување на вакуумот, кои при појава на потпритисок сами се отвораат и овозможуваат влез на атмосферски воздух, со што се елиминира вакуумот. Клапните за намалување на вакуумот се поставуваат кај турбините кои работат при напори помали од 150 m.

На спиралните комори кај високонапојните Францис хидротурбини за ограничување на наголемувањето на притисокот во напорниот цевковод (турбовод), при брзо затворање на спроводниот апарат се поставуваат принудни испусти. Поставувањето на принудните испусти дозволува ограничување на наголемувањето на притисокот до 20÷25 % од статичкиот напор. Принципот на нивната работа се карактеризира со тоа што, при брзо затворање на спроводниот уред на хидротурбината, принудните испусти се отвораат, при што од спиралната комора и од напорниот турбовод се одзема толкаво количество на вода, колку што е потребно за намалување на протокот на водата низ турбината. Како резултат на тоа, во напорниот турбовод протокот на вода останува каков што бил пред затворањето на спроводниот уред, а тоа значително ја намалува можноста за појава на хидрауличен удар.

Клапните за намалување на вакуумот и принудните испусти обезбедуваат безопасна работа на хидроагрегатот и затоа неговата работа при неисправност на овие уреди не е дозволена.

Одржувањето на зададениот притисок на маслото во резервоарот на системот за подмачкување во нормални експлоатациони услови се обезбедува со работа на една пумпа за масло. Втората пумпа за масло е резервна и се вклучува при неисправност на првата пумпа за масло или во моментот на пад на оптоварувањето на хидроагрегатот, кога е зголемена потребата од масло за брзо поместување на уредите за регулација на хидротурбината. Пуштањето во погон на хидроагрегатот со неисправна пумпа за масло не е дозволено.

При изработка на лежиштата, огледалните површини на дисковите се обработуваат со висока класа на чистота. Наголемувањето на нерамнините ја влошува работата на лежиштата при стартување и запирање, ја наголемува силата на триење и ја покачува температурата на сегментите од лежиштата. Во одделни случаи, појавата на значителни оштетувања на дискот и на рапа-

вост, може да доведе до кршење на лежиштето, а тоа да доведе до хавариско исклучување на хидроагрегатот.

Навлезената вода во маслото на системот за регулација, исто така ја нарушува неговата нормална работа, односно се појавува корозија во цилиндрите, помошните сервомотори и електрохидрауличниот претворач. Тоа предизвикува неправилна работа на системот за регулација, го намалува квалитетот на регулацијата и може да доведе до откажување на регулаторот на бројот на вртежи.

Температурата на маслото во лежиштата при која се дозволува стартување на хидроагрегатот, при услови на нормална работа на системот за регулација, дадена е во инструкциите на производителот. Обично стартувањето на хидроагрегатот при температури пониски од +5 °C не е дозволено, затоа што на тие температури значително се наголемува густината на маслото и се намалуваат неговите мазивни својства.

3.3. ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ

3.3.1. Оптимална експлоатација на хидротурбинските постројки

При експлоатација на хидротурбинските постројки потребно е: обезбедување на непрекината работа, оптимален коефициент на полезно дејство (КПД) на хидроцентралата при зададено оптоварување и режим на работа во енергетскиот систем и постојана подготвеност за постигнување на оптимално оптоварување.

Непрекината работа на хидротурбинските постројки претставува надежна работа на хидроцентралата за обезбедување на производството на електрична енергија во зависност од зададеното оптоварување или зададениот режим на автоматска регулација на моќноста, бројот на промени на моќноста во зависност од потрошувачите, а исто така постојана подготвеност на резервните хидроагрегати за покривање на оптоварувањето.

Под надежност се подразбира способност на постројката да работи без застои, односно прекин на работа на постројката во одделни делови на постројката, при што одредени параметри ја преминале дозволената граница и не ја исполнуваат зададената функција.

Добро проектирана, изработена, монтирана и правилно експлоатирана постројка не треба да одкажува во текот на работата. Сепак, испитувањата покажуваат дека веројатноста за непрекината работа, по правило, не постигнува вредност од 100%.

Бројот на откажувања на постројката, претставува еден од параметрите за математичко определување на надежноста и се нарекува интензитет на откажувањата. Интензитетот на откажувањата се изразува преку бројот на откажувања во определен временски интервал (1000 h) на работа на постројката.

Својството на постројката за постојана работоспособност до нејзино запирање предвидено со техничкиот прирачник за работа и ремонт се нарекува долговечност (долготрајност).

Параметрите кои се показатели на надежноста се опфатени во посебни стандарди за работа со хидротурбините и хидроцентралите. Стандардите за овој вид постројки опфаќаат показатели за математичко, графичко и табеларно определување на надежноста на хидротурбините.

За определување на надежноста на хидротурбините (хидроагрегатите) се користат следните коефициенти:

- коефициент на подготвеност K_p ,
- коефициент на хаварија K_h ,
- коефициент на техничко искористување K_{ti} .

Вредноста на овие коефициенти математички се определува со помош на следните изрази:

$$K_p = \frac{T_{gen} + T_{sk} + T_{rez}}{T_{kal}} = \frac{T_p}{T_{kal}}$$

- каде: T_{kal} = календарски период на следење, при определување на надежноста изнесува (8760 h);
 T_{gen} = вкупен број на часови на работа на хидротурбината во генераторски режим за период T_{kal} ;
 T_{sk} = вкупен број на часови на работа на хидротурбината во режим на синхрон компензатор за период T_{kal} ;
 T_p = вкупен број на часови на подготвеност на хидротурбината за период T_{kal} ;

$$K_p = \frac{T_r - T_{pr}}{T_{kal}} = \frac{T_{hr}}{T_{kal}}$$

- каде: T_p = вкупен број на часови за ремонт за период T_{kal} ;
 T_{pr} = вкупен број на часови за планирани ремонти за период T_{kal} ;
 T_{hr} = вкупно време во h на хавариски ремонти за период T_{kal} ;

$$K_p = \frac{T_{gen} + T_{sk}}{T_{kal}}$$

Средниот коефициент на подготвеност на хидротурбините изнесува $0,9 \div 0,91$. Коефициентот на техничката искористеност на хидротурбините на хидроцентралите во последните години има тенденција на намалување. Тоа се објаснува со тоа што, современите хидроцентрали по правило се проектираат за покривање на врвните оптоварувања на енергетскиот систем. Тоа значи дека периодот на работа на хидроцентралата е покус, а со тоа и вкупниот број на работни часови односно календарскиот период за следење е покус и се движи од $3000 \div 3500$ h, што директно се одразува на вредноста на погоре наведените коефициенти. Поради поголемиот број на причини постепено се намалува и работата на хидротурбинските постројки во генераторски

режим, што дополнително негативно се одразува врз надежноста на овие постројки.

Непрекинатата и надежната работа на хидротурбинските постројки во голем дел зависи од нивото на експлоатација, навремената реконструкција и модернизација на постројката, замена на потрошените делови, од бројот на ремонти и дотерувања.

3.3.2. Организација на ефективна и надежна експлоатација

За организација на ефективна и надежна експлоатација на хидротурбинските постројки неопходно е после нивното комплексно испитување во периодот на експлоатација да се направат реални (вистински) испитувања. Со нив можат да се корегираат:

- евентуални грешки во проектот, изработката и монтажата на постројката,
- се проверува постигнувањето на техничките услови и фабричките гаранции во однос на енергетските и механичките карактеристики,
- гаранциите за регулација на хидротурбините,
- се проверува надежноста на одделните делови на хидротурбината во целина,
- се воспоставуваат оптималните режими и услови на работа на хидротурбините,
- се определуваат полињата на статичка и динамичка постојаност на хидротурбините при паралелна работа во енергетскиот систем.

Обемот на овие испитувања е опфатен во упатствата и прирачниците за работа на хидротурбините. Голем дел од овие испитувања треба да ги реализираат специјализирани организации или служби овластени од државата, кои располагаат со подготвен персонал и инструменти со соодветна метролошка точност.

Опслужувањето на основните и помошните делови на хидротурбинските постројки треба да се одвива според строго пропишани инструкции од производителот на опремата во текот на целиот период на експлоатација.

Одделните инструкции за персоналот кој ја опслужува постројката при експлоатација или ремонт, треба да се во согласност со инструкциите и препораките дадени во упатството на производителот или во согласност со стандардните инструкции за работа со хидротурбинските постројки и механичкиот дел на хидротурбините.

Во типските инструкции за организација при опслужување со хидротурбинските постројки спаѓаат дејствијата на експлоатацискиот персонал:

- при пуштање,
- запирање,
- експлоатација во различни режими на работа,
- работа при промена на оптоварувањето и
- хавариски ситуации.

Во типските инструкции се содржани основните неисправности на хидротурбинската постројка и дејствијата на персоналот при нивното појавување со цел да се оствари нивно побрзо отстранување и елиминирање на нивното понатамашно ширење.

За наголемување на надежноста на работата на постројката најпрвин е потребно да се заменат елементите од постројката со ниска надежност со елементи со повисока надежност и долговечност како на пример:

- роторските лопатки на хидротурбината кои се изработени од обични јагленородни челици се заменуваат со лопатки од кавитациски постојани (нерѓосувачки) челици,
- брзовремено воочување на местата на кавитациски оштетените лопатки и другите елементи на роторот,
- воочување на евентуалните пукнатини на лопатките,
- навремено заменување на деловите на прицврстување на лопатките за роторот,
- цилиндарот на хидротурбината,
- деловите за подмачкување на лежиштата и др.

Покрај тоа, потребно е:

- да се подобруваат системите за ладење на и лежиштата,
- следење со цел рамномерно распределување на оптоварувања на пооделни делови и подобрување на контролата на температурата при нивната работа,
- постојано следење на дотерување на апаратите за контрола на електричните и механичките работни параметри на хидротурбината,
- поедноставување на помошните уреди на хидротурбинската постројка (подмачкување, снабдување со вода и воздух и сл.),
- поедноставување на системите за автоматско управување и т.н.

Надежноста на постројката зависи во голема мерка од степенот на исполнување на ремонтите и затоа во хидроцентралите е потребно постојано усовршување на организацијата на ремонтите.

3.3.3. Обезбедување работа со оптимален КПД на хидроцентралата

Оптималниот КПД (коэффициент на полезно дејство) на хидроцентралите се определува при зададено оптоварување и режим на работа во енергетскиот систем. Режимот на работа на хидроцентралата зависи од потребите на енергетскиот систем, со цел добивање максимален економски ефект. Основни енергетски показатели на хидроцентралите се постигнатата моќ и годишното производство на електрична енергија.

Постигната моќ на хидроцентралата претставува вкупна номинална моќ на сите нејзини генератори. Постигнатата моќ се пресметува при пресметка на $\cos\varphi$. Годишното производство на електрична енергија зависи од количината на вода во реката, односно акумулацијата. Односот на годишното производство на електрична енергија и постигнатата моќност претставува број на часови на искористување, при постигнатата моќност или бројот на работни часови. Во зависност од функцијата на годишното производство на електрична енергија во енергетскиот систем бројот на работни часови за хидроцентралите изнесува:

- за ХЕЦ (хидроелектрични централи) кои служат за покривање на врвовите на графикот се движи од $2000 \div 3000$ h,
- а за базните ХЕЦ од $6000 \div 6500$ h.

Еден од основните техно-економски показатели на ХЕЦ претставува цената на електрична енергија S den/kWh, а претставува однос помеѓу годишните производствени трошоци I_E den и годишното количество на произведена енергија E_g kWh при врвно оптоварување:

$$S = \frac{I_E}{E_g}$$

Годишното производство на електрична енергија E_g ги зема во обсер тршоците за сопствени потреби и загубите во трансформаторите. Колку е повисоко годишното производство на електрична енергија толку е пониска цената на електричната енергија, а трошоците зависат од производството на електрична енергија. Годишните трошоци на ХЕЦ ги земаат во обсер: експлоатационите трошоци (плати на персоналот, за материјал, за тековни ремоти и др.) и потребните средства за амортизација на уредите и построј-

ките (реновирање и капитален ремонт). На последните отпаѓаат 70÷80 % од вкупните годишни трошоци за ХЕЦ.

При енергетско искористување на водотокот, оптимален режим на работа се определува врз основа на минимум годишни трошоци на целиот енергетски систем, при правење на билансот на моќности и производство на електрична енергија, при постигнување на соодветен квалитет на производство на електрична енергија во однос на фреквенцијата на напонот. При познати потреби на електрична енергија, минималните годишни трошоци одговараат на минималната цена на чинење на енергија за вкупниот енергетски систем.

Во приближните пресметки, експлоатационите трошоци во енергетскиот систем се сметаат за константни, освен трошоците за гориво. При тоа како критериум за оптималност на ХЕЦ претставува минимална цена на чинење на потребното гориво за ТЕЦ во енергетскиот систем, што е прикажано на следниот начин:

$$\sum SB = \min$$

каде е: B = потрошувачка на гориво,

S = цена на чинење на горивото по единица маса.

При истата цена на чинење и долна топлинска моќ на горивото и при приближно еднаква цена при неговото согорување во сите ТЕЦ во енергетскиот систем, услов за оптималност може да биде минимална потрошувачка на гориво односно:

$$\sum B = \min$$

Во приближните пресметки на годишно ниво се смета дека минимум потрошувачка на гориво, одговара максимум производство на енергија во ХЕЦ, при соодветно учество на ХЕЦ во покривањето на максималните потреби на енергетскиот систем. За определување на дневниот режим на работа на енергетскиот систем, не може да биде применет критериумот за максимално производство на електрична енергија. Познато е дека дневната регулација обично предизвикува загуби на енергија и затоа на максимум производство на енергија во ХЕЦ, одговара базниот режим на работа без дневна регулација. Но при тоа ТЕЦ мора да работат во врвните режими, со наголемена поединечна потрошувачка на гориво, што при крајните пресметки предизвикува наголемување на трошоците за гориво во енергетскиот систем. Покрај тоа, во базниот режим на работа на ХЕЦ во периоди на ниски водостои (водотеци) се намалува нејзината расположива моќ, што може да предизвика нарушување на билансот на моќности на енергетскиот систем. Затоа оптими-

зацијата на дневниот режим на работа на ХЕЦ се прави за минимум цена на чинење или потрошувачката на гориво во енергетскиот систем.

Со пресметките на годишните, сезонските и моменталните режими на работа се занимаваат специјални служби од електростопанството. Режимот на работа го задаваат диспечерите на енергетскиот систем во вид на графици на оптоварување или со директно управување со хидроагрегатите по телекомуникационен пат од диспечерскиот центар на енергетскиот систем.

Во одделни случаи во определено време во текот на денот, на некои поголеми ХЕЦ, кои се снабдени со специјална опрема, може автоматски да биде регулирана фреквенцијата, промената на моќ и сл. За сите режими на работа на ХЕЦ неминовен услов претставува работа на хидроенергетската постројка при највисок КПД, односно такво искористување на постројката на највисок КПД (коэффициент на полезно дејство).

Моќта на хидротурбината се определува според равенката:

$$P_T = 9,81 \cdot Q_T \cdot H \cdot \eta_T$$

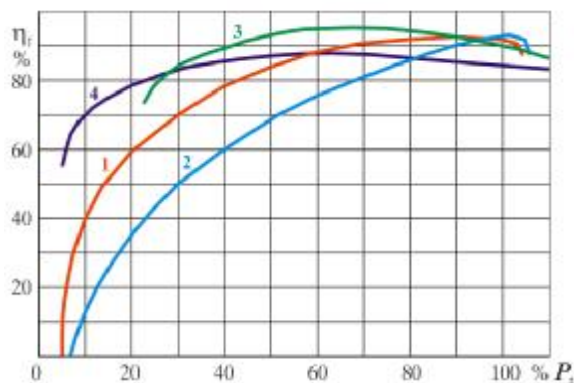
каде: $Q_T \text{ m}^3/\text{s}$ = проток на вода низ турбината,
 $H \text{ m}$ = работен напор,
 η_T = коэффициент на полезно дејство.

3.3.4. Оптимална работа при променливо оптоварување на турбината

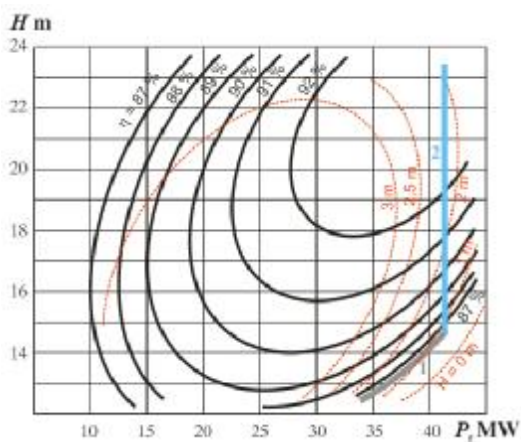
При промена на оптоварувањето на турбината се менува протокот на вода низ турбината и КПД. Взаемниот однос на основните параметри на турбината кои работат со ист број на вртежи се определува во зависност на нивните работни и експлоатациони карактеристики. Работната карактеристика, претставува однос на КПД на турбината од моќта $\eta_T = f(P_T)$ при постојан број на вртежи и напор. Каплановите и Пелтоновите хидротурбини имаат подобра карактеристика при промена на оптоварувањето, во однос на радијалните хидротурбини. Од тоа произлегува дека при избор на ХЕЦ за регулација на фреквенцијата на енергетскиот систем подобро е да се користат Капланови и Пелтонови хидротурбини.

Работата на пропелерните и Франсис хидротурбините во пониските зони од оптималната моќ (75÷100 % оптоварување), економски е неисплатлива, поради намалувањето на КПД на ХЕЦ. Од друга страна при работа во оптимален режим, поголемите Франсис хидротурбини имаат повисок КПД во однос на Каплан хидротурбините.

Во редица на случаи работните карактеристики на пропелерните и Францисовите хидротурбини може да завршуваат со карактеристичен пад (сл.3.12.), што е резултат на падот на моќта поради промена на хидродинамичкиот режим при отворање на спроводниот уред во хидротурбината. Работата во режим со пад на моќта не е дозволена поради можната појава на кавитација, намалувањето на КПД и по правило наголемување на вибрациите на потпорните делови на хидроагрегатот.



Сл.3.12. Работни карактеристики на различни типови хидротурбини.
1-Францис; 2-Пропелерна; 3-Каплан; 4-Пелтон.



Сл. 3.13. Експлоатациона карактеристика на Капланова хидротурбина.
1-линија на ограничување на моќта на турбината;
2-линија на ограничување на моќта на хидрогенераторот.

Работните карактеристики не даваат потполна слика за работата на хидротурбините, поради отсуството на низа битни показатели, а исто така се непогодни за работа на персоналот, затоа што за секој работен напор е потребна друга крива. За добивање на потполна слика на енергетските и кавитационите својства, хидротурбините се снабдени од страна на производителот со универзални експлоатациони карактеристики. Универзалната експлоатациона карактеристика претставува фамилија од линии, константни КПД, а на координатните оски се наоѓаат моќта и напорот. Во карактеристиките се внесени линиите на ограничување на моќта (сл.3.13.).

При повисоки напори, кога хидротурбината е способна да даде поголема моќ, се формира граница при излезот од определена моќност на хидроагрегатот. При пониски напори ограничувањето се определува со смалување на моќта на хидротурбината, а во зависност од кавитацијата. Линиите на ограничување се формираат со пресметки и постепено се подобруваат во тек на експлоатација, со цел наголемување на моќта на хидроагрегатот со можност за работа при ниски напори. Уточнување на ограничувањето на моќта се прави со користење на резултатите на природните испитувања на хидротурбината и хидрогенераторот.

3.3.5. Заштита од кавитација

Основна карактеристика кај хидротурбините претставува кавитационата карактеристика. Кавитацијата предизвикува нагизување (ерозија) на челикот од кои се изработени лопатките, коморите и други елементи на хидротурбината, го намалува КПД и механичката издржливост на поедини јазли (сл.3.14; 3.15; 3.16). Појавата на кавитација е неминовна кај сите реакциони хидротурбини. Ерозијата на металот на проточниот дел на турбината предизвикува намалување на моќта и КПД. Понатамашната ерозија предизвикува шум во проточниот дел на хидротурбината, наголемување на вибрациите на куќиштето на хидротурбината и другите потпорни делови на хидроагрегатот и предизвикува понатамошно намалување на КПД и моќта. За таа цел роторот и проточниот дел се изработуваат од материјали со високи антикавитациски способности, односно од високо легирани нерѓосувачки челици (литиумски) и навлаки од аустенитни и високохромирани челици.

Основна мерка на заштита од кавитација кај реакционите хидротурбини претставува воочливото вдлабнување на работното коло. Во тој поглед многу битно е точното определување на коефициентот на кавитација σ , врз основа на испитувањата направени на моделот на работното коло. Физички, овој коефициент претставува однос на апсолутниот притисок во разгледуваната точка во однос на работниот напор.

За современите хидротурбини, коефициентот на кавитација σ се движи за:

- Каплановите хидротурбини се движи од 0,2 (со среден напор) до 1,4 (со низок напор),
- Францисовите хидротурбини од 0,03 (со висок напор) до 0,25 (со среден напор).



Сл. 3.14. Кавитација.



Сл. 3.15. Видови кавитација.



Сл. 3.16. Оштетувања од кавитацијата.

Како површина се зема:

- за вертикалните Франсисови и Пелтонови - пониската површина на влезниот уред,
- хоризонталните Франсисови и Капанови - површината која проаѓа низ највисокиот дел на работното коло,
- вертикалните Капанови и пропелерни хидротурбини - површината во оска на лопатките на работното коло.

Дозволената висина на отсисување според условите на бескавитациона работа приближно може да се определи:

$$H_s \leq p_B - s \cdot H$$

каде: H m = работен напор,
 s = коефициент на кавитација,
 p_B = барометарски притисок: $p_B = 10,33 - (\nabla / 900)$,
 ∇ m = апсолутна надморска висина на турбината,
10,33 mVS = атмосферски притисок на ниво на морето.

3.3.6. Експлоатациони карактеристики

На секој режим на хидротурбината која работи при променлив напор и моќност, одговараат определен КПД и дозволена висина на отсисување (одведување) на водата. Овие податоци се даваат во универзалните експлоатациони карактеристики.

Универзалните експлоатациони карактеристики имаат големо значење за организација при експлоатација на хидротурбинските постројки. Тие се формираат врз основа на испитувањата на моделите на хидротурбините. По правило вистинските вредности на КПД на хидротурбините се разликуваат од пресметковните вредности кои се нанесени на кривите на универзалната експлоатациона карактеристика. Затоа за уточнување потребно е во експлоатација на хидротурбините да се направат природни испитувања, поради постигнувањето на КПД и формирањето на линиите на ограничување на моќноста. Испитувањата ги спроведуваат специјализирани фирми во присуство на производителот. При тоа се формира експлоатационата карактеристика на хидротурбината и хидроагрегатот, со линии со константни КПД и протоци, земајќи ги во обзир вкупните загуби на моќ на хидротурбината и генераторот.

При работа на еден хидроагрегат, со користење на експлоатационата карактеристика, едноставно е да се определи дијапазонот на оптоварувањата при кои се постигнува највисок КПД, а со цел обезбедување најмала кавитација и ерозија на проточниот дел на турбината. Во случај на работа на поголем број на хидроагрегати при зададено оптоварување и одреден напор, најпогоден режим при кој се постигнува највисок КПД, може да се постигне во случај кога ХЕЦ ќе работи со оптимален број на хидроагрегати, а оптоварувањето помеѓу нив ќе биде респределено во согласност со равенката за прираст на потрошувачката на вода.

Кај хидроагрегатите од ист тип со еднакви карактеристики, промената на оптоварувањето помеѓу нив се распределува според равенката за електрична моќ или за отворањето на спроводниот уред. За определување на оптималниот број на хидроагрегати, потребен за покривање на соодветно оптоварување, се прави експлоатациона крива на ХЕЦ, која претставува зависност помеѓу моќта на хидроагрегатите, напорите, вкупните потрошувачки на вода за сите агрегати кои работат и КПД. Карактеристиката се прави во вид на линии (криви) на константна потрошувачка. Во двата случаи во карактеристиката се внесуваат граничните криви за разделување на областите на работа при различен број на хидроагрегати.

При изборот на бројот на работни хидроагрегати потребно е покрај активната моќ, да се смета и со реактивната моќ, која се произведува во ХЕЦ. Ако бројот на хидроагрегати, оптимален во однос на зададеното активно оптоварување, е недоволен за покривање на реактивното оптоварување, а дополнително вклучените во работа хидроагрегати се користат во режим на синхрони компензатори, тогаш загубите на активна моќ се помали од активната моќ, која дополнително се изработува на сметка на наголемувањето на КПД на хидроагрегатите кои работат во генераторски режим на работа. Ако ова не биде согледано тогаш вкупното активно оптоварување се распределува помеѓу сите вклучени хидрогенератори. Изборот на бројот и режимот на хидроагрегатите за покривање на активните и реактивните оптоварувања го прави дежурниот персонал по пат на пресметка или по однапред подготвен експлоатационен дијаграм.

Искусствено природните испитувања на Капланови хидротурбини, покажуваат дека комбинираниите односи подготвени за работа на хидротурбините од страна на производителот не обезбедуваат работа при максималем КПД. За таа цел во тек на експлоатација се прават природните испитувања со кои се уточнуваат комбинациите на односите при работа на хидротурбините, а со тоа можноста од автоматска корекција на комбинираниите односи со напорот. Секое отстапување може да доведе до намалување на КПД за 0,5%. За ХЕЦ со низок и среден напор при нивна работа во врвен режим можат да бидат постигнати моментални промени на напорот од 5÷10% (средна вредност), кои можат да се повторуваат. Во тој случај персоналот неможе да обезбеди рачна (мануелна) корекција на комбинираниите односи со напорот.

3.3.7. Автоматизација на хидротурбините

Потребно е хидроагрегатите да се целосно автоматизирани. Уредите за автоматско управување, контрола и заштита на хидроагрегатите со помошните механизми потребно е да се постојано вклучени во работа.

За потполно автоматизирани хидроагрегати можат да се сметаат оние кај кои пуштањето и запирањето се изведуваат со еден команден импулс испратен од страна на дежурниот персонал или од автоматски управувачки уред.

Контролата на работата се извршува автоматски, а регулацијата на режимот на работа може да се изведува преку автоматски систем за управување, со уреди за регулирање на моќта и фреквенцијата од страна на дежурниот персонал, преку далечински уреди за управување кои дозволуваат автоматско оптоварување и растоварување на моќта при хавариски ситуации на енергетскиот систем.

Со автоматизацијата се опфатени следните работи:

- пуштање,
- вклучување на мрежа и прекин,
- регулација на режимот на работа,
- контрола на работата на најосетливите делови и контрола на работните параметри,
- управување со работата на сите помошни системи потребни за сигурна работа на хидроагрегатот,
- заштита и сигнализација во случај на неисправности.

Пуштањето и запирањето на хидроагрегатот се изведува со еден команден импулс од страна на оперативниот персонал од командниот пулт на ХЕЦ, диспечерскиот пункт на енергетскиот систем или енергетскиот реон, со помош на уреди за автоматско управување, електронски машини за управување, уреди со системска автоматика (повремено пуштање, хавариско растоварување) и тн. При добивање на командниот импулс, механизмите за управување на хидроагрегатот и автоматските уреди стапуваат во дејство на потребна последователност која се обезбедува преку одбрана програма на операцији и вршат блокирање по електричен, механички или хидрауличен пат.

Пуштањето се изведува под дејство на механизмите на регулаторот на брзината на вртење на отворените делови за регулација на хидротурбината. При тоа за пуштање најповеќе се користи механизам за ограничување на отворањето или специјален соленоид со хидраулично блокирање (така наречено хидраулично пуштање).

Бројот на вртежи на хидротурбината се постигнува со отворање на спроводниот (влезниот) уред на хидротурбината до отворот при пуштање, при што се постигнува номиналниот број на вртежи без напрегања. После тоа се вклучува регулаторот на хидротурбината кој ја регулира пропишаната фреквенција. Дотерување на бројот на вртежи на хидротурбината со фреквенцијата на мрежата и изборот на моментот на вклучување на хидроагрегатот на мрежа се изведува со помош на автоматски синхронизатор.

Во хавариски ситуации, со цел за забрзување на вклучувањето на резервните хидроагрегати на мрежа, а исто така во редица на други случаи за малите и средните хидроагрегати, се користи метод на синхронизација, односно при дозволена разлика на фреквенциите на хидроагрегатот и мрежата се вклучува невозбудениот хидрогенератор на мрежа, а после тоа се возбудува и влегува во синхрона работа. Тоа предизвикува намалување на потребното време за синхронизација, односно по пат на методот на самосинхронизација се скратува времето за $1,5\div 2$ пати.

Во нормални услови, пуштањето и вклучувањето на хидроагрегатот на мрежа, со методот на прецизна синхронизација, трае $1,5\div 2$ минути. Подолг временски интервал најчесто е резултат на неисправности на системот за регулација на хидротурбината или на автоматскиот синхронизатор. Во хавариски ситуации потребното време за пуштање и вклучување на хидроагрегатот треба да изнесува $30\div 40$ s.

Нормалното запирање на хидроагрегатот исто така се изведува преку еден импулс, после кој е потребно да започне автоматското растоварување на хидроагрегатот на активната и реактивната моќ, исклучување на хидроагрегат од мрежа и затворање на влезниот уред на хидротурбината.

После затворањето на влезниот уред, хидроагрегатот продолжува да се врти под дејство на инерција со значително намален број на вртежи од првиот момент. Понатаму уште повеќе се забавува и ослободен може да застане за десетина минути. Периодот на запирање зависи од маховиот момент на хидроагрегатот, силите на триење во лежиштата, вентилационите загуби, потопеноста на роторот и протокот на вода преку спроводниот уред.

За време на вртење на хидроагрегатот со пониска фреквенција, се менуваат условите на подмачкување, што може да предизвика нежелни појави, затоа за скратување на периодот на слободно вртење се преминува на принудно кочење на хидроагрегатот со помош на механички плочести кочници. За да се намали трошењето на плочките од кочницата, кочењето започнува после намалувањето на бројот на вртежи за $20\div 30$ % од номиналниот број на вртежи. Во голем број на случаи, влезниот уред е лош и потполното запирање на постројката е незамисливо без принудно запирање (кочење).

Скратување на времето на запирање на агрегатот, многу поволно влијае на зголемувањето неговата работна способност.

Хавариското автоматско запирање на хидроагрегатот се изведува преку контактите на излезното заштитно реле на системот за запирање и тоа во следните случаи:

- при намалување на притисокот на маслото во резервоарот на уредот за подмачкување,
- при наголемување на бројот на вртежи над дозволениот број на вртежи на хидроагрегатот, како резултат на намалувањето на оптоварувањето,
- при прекин на протокот на вода за ладење на турбинските лежишта,
- при покачување на температурата на турбинските лежишта над дозволената,
- други дејства за заштита.

Регулирањето на режимот на работа се изведува автоматски или далецински под раководство на персоналот, при промена на акционата и реакционата моќ или при промена на режимот на работа од режим на генерирање на режим на синхрон компензатор. Во автоматските уреди спаѓа регулаторот на моќ на ХЕЦ на влезот на водотекот, кој автоматски ја регулира моќта на хидроагрегатите, со цел одржување на константно ниво на вода во горната предкомора на ХЕЦ.

Во некои ХЕЦ се поставуваат електронски сметачки системи (компјутерско водење).

Најголеми ХЕЦ во принцип се снабдени со автоматски системи за регулирање на бројот на вртежи, моќта, промените на оптоварувањето и потребите од електрична енергија, кои служат за регулирање на активната моќ на хидроагрегатите заради постигнување на бараните параметри од енергетскиот систем (фреквенција, моќ, промени на потрошувачката на електрична енергија).

Најраспространет начин на регулација на режимот на работа на ХЕЦ претставува групна регулација и регулација на моќ на неколку и на сите хидрогенератори од ХЕЦ, преку системот на групна регулација на активната моќ. Во тој случај дежурниот персонал ги управува сите хидрогенератори од едно место (една склопка), со задавање на автоматскиот режим за одржување на моќта поради регулација на фреквенцијата на енергетскиот систем, проме-

на на моќ поради промена на потребите од електрична енергија или регулација на други параметри.

Управувањето на помошните системи на хидрогенераторот потребно е да биде потполно автоматско.

Во помошните системи спаѓаат:

- уредот за подмачкување на системот за регулација,
- системот за подмачкување на хидрогенераторот,
- системот за техничко снабдување со вода,
- системот за дренажа на водата и маслото,
- пневматскиот систем со компримиран воздух за кочење,
- уредот за префрлање на хидроагрегатот во режим на синхрон компензатор со всисување (одведување) на водата од работното коло на хидротурбината.

Сметачките системи спаѓаат во автоматски режим без интервенција на персоналот. Помошните системи се должни да обезбедуваат постојана подготвеност на хидроагрегатот за влегување во работа од состојба на резерва, влегување во полно оптоварување и примање на промените во режимот на работа.

3.3.8. Заштита и сигнализација

Заштитата и сигнализацијата е должна да обезбеди навремено јавување на неисправностите при работа на постројката, со предупредување на персоналот, па се до исклучување и потполно запирање на хидроагрегатот, а со цел заштита од деструкција на постројката. Во ХЕЦ се применуваат два системи за сигнализација: *централна хавариска* и *централна предупредувачка*. Сигнализацијата се спроведува со светлосни и звучни сигнали при што проработува уредот кој покажува за кој вид на неисправност се работи.

Хавариската сигнализација се вклучува поради заштита на било какви електрични и хидромеханички неисправности, при што се исклучува и запира хидроагрегатот. Електричната заштита се користи за обезбедување на правилна работа на електричните уреди. Хидромеханичката заштита се мобилизира во случај на механички нарушувања на хидроагрегатот поради појава на неисправности во работата на одредени делови или поради губење на управувањето поради падот на притисокот или нивото на масло во резервоарот за масло-воздух.

Централната предупредувачка сигнализација дејствува:

- при вклучување на сите видови на електрична заштита, освен на оние за исклучување на генераторот,
- на релето за контрола на оптоварувањето предвидено за заштита на хидроагрегатот,
- загуби на напонот поради сопствени потреби,
- поради дејството на електрична заштита кон мрежата,
- поради дејство на излезното реле на базенот за обезбедување на напор за ХЕЦ,
- по дејство на хидромеханичката заштита: сигнализацијата која се вклучува поради промена на параметрите во поедини делови и помошни системи.

Хидродинамичката заштита дејствува во случај:

- на пад на притисок на маслото во резервоарот на уредот за подмачкување, се до вклучување на резервната пумпа за масло,
- намалување на нивото на масло во резервоарот за масло,
- намалување на нивото на масло во лежиштата,
- намалување на протокот на вода кон турбинското лежиште,
- намалување на притисокот на воздух во системот за кочење или во ресиверите за всисување на вода при премин на хидроагрегатот во режим на синхрон компензатор,
- наголемување на температурата на лежиштата,
- кршење на разделените делови на лопатките на спроводниот уред,
- покачување на нивото на вода во кукиштето на турбината или масло во уредите за регулација,
- намалување на нивото на масло во горниот дел за подмачкување на хидроагрегатот и вклучување на резервната пумпа за масло,
- преполнување на долниот дел за подмачкување на хидроагрегатот,
- нарушување на врската електрохидрауличниот претвораач на регулаторот на хидротурбината со генераторот на регулаторот.

Автоматизацијата на хидротурбинските постројки овозможува:

- Намалување на бројот на оперативниот персонал кој управува и ги регулира режимите на работа на ХЕЦ. Бројот на оперативниот персонал, дури и кај големите ХЕЦ, со примена на потполна автоматизација и понатаму ќе се намалува, односно ќе се движи од 6÷7 луѓе во смена. Некои ХЕЦ работат без постојано дежурство на оперативниот персонал на командниот пулт.

- Обезбедување на подобра и надежна работа на енергетскиот систем. Во хавариски режими на работа, кои се појавуваат како резултат на дефицитот на моќ во енергетскиот систем, автоматиката овозможува брзо вклучување на резервните хидроагрегати, при што се наголемува нивото на оптоварување, а при исклучување на големите потрошувачи исто така реагира во насока на намалување на оптоварувањето. Автоматската регулација на возбудувањето на хидроагрегатите ја зголемува сигурноста при паралелна работа на енергетскиот систем и овозможува брзо постигнување на напонот во мрежа после кусите прекини.

- Рационална експлоатација на помошните постројки и механизми, како и нивно исклучување од работа во нужни услови, а со тоа намалување на непотребната потрошувачката на електрична енергија за сопствени потреби, односно намалување на трошоците на постројката.

- Наголемување на ефикасноста на искористување на водотокот по пат на избор на оптимален број хидроагрегати во работа, рационална распределба на оптоварувањето за секој од нив (помеѓу нив), а исто така стабилно одржување на највисоко ниво водата при регулација на моќта на ХЕЦ во однос на водотекот.

- Навремено елиминирање на неисправностите појавени при работа на постројката и превземање на мерки за спречување на хаварија. Затоа е потребно да се внимава сите уреди за автоматско управување да бидат во употреба и навремено активирани.

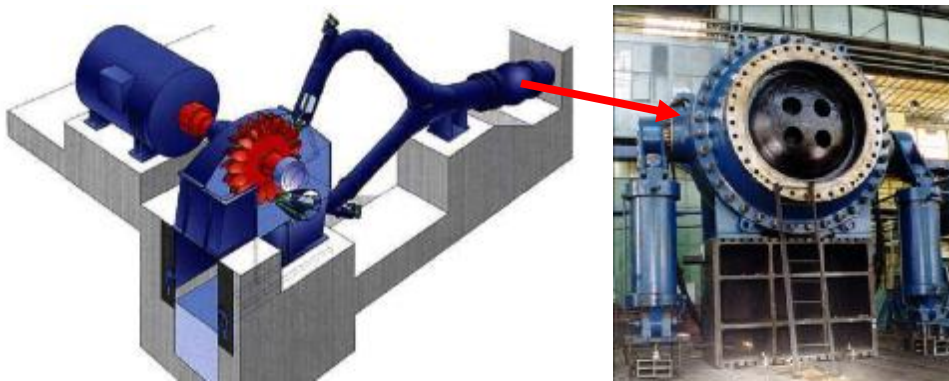
3.4. ПРОМЕНИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ

3.4.1. Причина за работа со потполно отворени вентили на влезните цевководи

Хидротурбините потребно е да работат со потполно отворени вентили поставени на влезните цевководи, делумно отворен спроводен уред на хидротурбината, што одговара на максимално дозволеното оптоварување на хидроагрегатот при соодветен напор.

Вентилите на цевководите за вода кон турбината се поставуваат со цел за потполно затворање на доводот за вода кон хидротурбината. Во зависност од напорот и условите на довод на вода кон ХЕЦ, се разликува конструкцијата и местоположбата на вентилите.

При довод на вода кон хидротурбините низ поединечни цевководи за сите хидротурбински постројки со напор поголем од 300 m, а кај тие со со број на работни часови на хидроагрегатите до 2000÷3000 h/god и напор поголем од 200 m, вентилите се поставуваат непосредно пред хидротурбината или на почетокот на напорниот турбински цевковод (сл.3.17.).



Сл. 3.17. Поставување на вентили за затворање на влезот кај хидротурбините.

Поради тоа се применуваат различни типови на вентили. Најприменувани типови на вентили се ламелни, топчести и игличести а за поголеми

хидротурбини и плоснати, клинести, а за помали и шибер вентили (сл.3.18). Кај Францисовите и Пелтоновите хидротурбини кои работат при многу низок напор, вентилите се поставуваат само на почетокот на напорниот цевковод кон турбината. За затворање на турбинските цевководи кај Каплановите хидротурбини и големите Франсисови турбини се користат плоснати брзо-затворачки вентили, а за ремонтни затворања се користат плоснати секциони вентили.



Моторен/мануелен контролен плоснат вентил (неперуткаст)



Контролен хидрауличен плоснат вентил со тег (неперуткаст)



Моторен/мануелен влезен плоснат вентил



Моторен контролен плоснат вентил



Хидраулички контролен топчест вентил со тег



Моторен/мануелен контролен топчест вентил

Сл. 3.18. Видови вентили применувани кај хидротурбините.

Турбинските вентили потребно е да затвораат во моментот на течење на водата, за да обезбедат заштита на хидроагрегатот при неисправности на системот за регулирање и при прекин на работа на уредите за регулација на хидротурбините. Нормалната положба на вентилите на сите хидротурбини е потполно отворени или затворени вентили. При работа на хидроагрегатот со потполно отворен турбински вентил се нарушува структурата на протокот на вода, се создава варирање на притисокот и се наголемуваат хидрауличните загуби на напор, се намалува КПД на хидротурбината и се појавуваат пречки за постигнување на максималната моќ на хидроагрегатот, наголемување на вибрациите на вентилот и цевководот.

Механизмот за ограничување на отворот на спроводниот уред во регулаторот на бројот на вртежи се користи за оневозможување на преоптоварувањето при работа со максимални напори, ограничување на оптоварувањето при појава на неисправности во одделни јазли, а исто така за управување на хидротурбината во случај на неисправност на автоматскиот дел од регулаторот. Сметајќи дека, вклучениот хидроагрегат во енергетскиот систем мора да има способност на брзо примање на оптоварувањето при намалување на фреквенцијата на енергетскиот систем, во зависност од регулаторот, ограничувачот на отворот на спроводниот уред не е потребно да реагира на тоа и мора да се наоѓа во положба која одговара на максимално дозволеното оптоварување на хидроагрегатот. Тоа се бара и од сите системи за регулација на фреквенцијата и на активната моќ на ХЕЦ, а ограничувачите не мора да го следат тоа и остануваат во положба на полно оптоварување, што зависи од напорот и висината на отсисување.

За исклучување при преоптоварување на хидроагрегатот, во однос на моќта при промена на напорот на ХЕЦ, се користат специјални уреди за автоматска корекција на положбата на ограничувачот на отворот на регулаторот на турбината. Доколку ХЕЦ не е снабдена со овие специјални уреди, положбата на ограничувачот треба да ја следи оперативниот персонал.

3.4.2. Преод од генераторски режим на работа во режим на синхрон компензатор

Хидрогенераторот кој се користи во генераторски режим на работа и во режим на синхрон компензатор, потребно е да има далечинско и автоматско управување за премин од еден режим во друг. Хидроагрегатите кои работат во режим на синхрон компензатор мора да се подготвени за постепен премин во генераторски режим. При работа на хидроагрегатот во режим на

синхрон компензатор, спроводниот уред е затворен, доводот на вода кон турбината затворен, генераторот приклучен на мрежа и се врти како мотор со реактивен ротор во статорска намотка. При тоа, потребана моќ на генераторот се троши поради појава на механички и вентилациони загуби, кои зависат од условите на вртење на работното коло. Кога нема проток на вода низ работното коло (случај на ниско ниво на водата или посебни отсисувања на вода од работното коло), потребната моќ е 2÷4 % од номиналната моќ на хидрогенераторот, а при потопено работно коло потребната моќ се наголемува на 15÷20 % од номиналната.

Неопходноста од работа на хидроагрегатите во режим на синхрон компензатор се појавува во следниве случаи:

- при недостаток на реактивна моќ во енергетскиот систем и
- при вишок на реактивна моќ, предизвикана поради мали активни оптоварувања на линијата на потрошувачите.

Хидроагрегатот при недостаток на реактивна моќ на системот, работи како премногу возбуден синхрон електромотор, добива електрична енергија, а со тоа тој го подобрува коефициентот на моќност ($\cos\phi$) на мрежата. При вишок на реактивна моќ работи како недоволно возбуден синхрон електромотор кој оддава индуктивна струја и со која ја компензира струјата во мрежата.

Реактивната моќ во режимите на преголемо или недоволно возбудување на хидрогенераторот при работа како синхрон компензатор се ограничува со дозволените покачувања на температурата на намотката на роторот и во некои делови од навивката на статорот, што е пропишано од страна на производителот или испитано при приемните испитувања на генераторот.

Преминот во режим на работа на синхрон компензатор кај Каплановите, Францисовите и дијагоналните хидротурбини, кои работат при ниско ниво на вода се извршува на следен начин:

- хидроагрегатот се растоварува од реактивна моќ до постигнување на празен од, спроводниот уред потполно се затвора,
- генераторот останува приклучен на мрежа,
- во моментот на потполно затворање на спроводниот уред се отвора клапната за компримиран воздух со цел нарушување на вакуумот во зоната на работното коло и негово ослободување од вода,
- компримираниот воздух влегува во цевката за отсисување, се до потполно отсисување на водата од работното коло.

Нивото на отсисување на водата од работното коло треба да изнесува:

- за Францисови хидротурбини - 1 m пониско од излезот на лопатките при нивно потполно извртување,
- за Капланови хидротурбини со четири лопатки - 1 m пониско од излезот на лопатките при нивно потполно извртување,
- за Капланови хидротурбини со осум лопатки - 2,5 m пониско од излезот на лопатките при нивно потполно извртување.

После исфрлувањето на вода генераторот се оптоварува со реактивно оптоварување. Притисокот на компримираниот воздух кој се искористува за исфрлување на водата од работното коло на хидротурбината, при премин на хидроагрегатот во режим на синхрон компензатор изнесува 7÷8 bar за системите со низок притисок и 36÷40 bar за системите со висок притисок.

Времето на исфрлување на вода од работното коло при правилно проектиран и дотеран пневматски систем и нормални протоци на вода и при затворен спроводен уред, не треба да е поголемо од 1 min од моментот на добивање на импулс за промена на режимот на хидроагрегатот во режим на синхрон компензатор.

Редоследот на преминување на хидроагрегатите од капсулен тип во режим на синхрон компензатор се изведува по истата предходна постапка, со таа разлика што не се уфрлува воздух во комората на работното коло, а лопатките се завртуваат во положба на разделен агол. Преминувањето на пелтоновите хидротурбини во режим на синхрон компензатор се врши после растоварувањето на активната моќ, со затворање на иглите на спроводниот (влезниот) млазник. При тоа не е потребно исфрлување на водата, затоа што овие турбини располагаат со ниско ниво во предкомората.

Прминувањето на хидроагрегатот од режим на синхрон компензатор во генераторскиот режим се изведува со далечински команди од командниот пулт или автоматски (при хавариско намалување на фреквенцијата во енергетскиот систем). Потребата од потполна подготвеност на хидроагрегатот за промена на режимот на работа е диктирана од потребата за брзо воведување на резервната моќ при хавариски ситуации во енергетскиот систем, кои се појавуваат поради намалување на фреквенцијата. Оваа потреба најдобро се задоволува со таков процес на наголемување на оптоварувањето на хидроагрегатот, при премин од режим на синхрон компензатор во генераторски режим, при кој времето на постигнување на потребното оптоварување зависи од брзината на отворање на спроводниот уред кое може да изнесува 15÷20 s.

3.4.3. Работа со рачно управување на хидроагрегатите

Хидроагрегатите мора да работат во режим на автоматска регулација. Преминувањето на регулаторите на хидротурбината во режим на работа на ограничувачот на отворот или на рачно управување е дозволено само во случај на посебна наредба, а во согласност со диспечерот на енергетскиот систем.

ХЕЦ по правило заедно со другите електрични центри учествуваат во автоматската регулација на режимот на работа на енергетскиот систем. Затоа, уредите за регулација на моќта на ХЕЦ претставуваат составен дел на вкупниот систем за регулација. Според функционалноста уредите за регулација на моќта во големите ХЕЦ можат да се поделат во два дела: уреди во ХЕЦ и во системот.

Уредите во ХЕЦ се предвидени за одржување на моќта на ХЕЦ според зададената вредност од страна на уредите на системот. При тоа се должни да обезбедат економична распределба на оптоварувањето меѓу хидроагрегатите. Слично, како регулаторите на хидротурбините, статичката зависност помеѓу сумарната моќ на ХЕЦ и фреквенцијата на енергетскиот систем, дозволено е ХЕЦ да учествуваат независно во регулацијата на фреквенцијата, без да се вклучени уредите во системот.

Регулаторите на бројот на вртежите на хидротурбините претставуваат основен функционален дел на уредите за регулација во ХЕЦ. Поради тоа потребно е тие да се наоѓаат во постојан режим на автоматска регулација. Преминот на регулаторите во работен режим на ограничувачот на отворот или на рачно управување, го исклучува нивното учество во регулација на фреквенцијата и моќ на енергетскиот систем. При промена на оптоварувањето до 10 % од оптоварувањето на енергетскиот систем, постои можност во полето на дозволени отстапувања на фреквенцијата во енергетскиот систем, да се постигне регулација со регулаторите на хидротурбината, а без учество на оперативниот персонал и учество на уредите за регулација на системот, освен кога поради било која причина тие не работат. Ограничувачот на отворот на спроводниот уред на хидротурбината кај регулаторот на бројот на вртежите, потребно е да биде во положба на максимално дозволеното отворање кое зависи од напорот и висината на отсисување.

При експлоатација можно е да се создадат услови при кои се појавува потреба за премин на хидроагрегатот од режим на автоматска регулација во режим на работа на ограничувачот на отворот. Тоа се следните услови:

- Прекината врска помеѓу сензорот за фреквенција и роторот на хидроагрегатот. При тоа се постигнува потполно оптоварување на хидроагрега-

тот, затоа што поради прекин на врските е предизвикано значително намалување на фреквенцијата во енергетскиот систем. Автоматската регулација на хидроагрегатот се нарушува.

- Појава на големи протоци на масло во системот на регулација. Најдобар показател за тоа претставува промената на режимот на работа на пумпата за масло на системот за подмачкување, при што почесто се вклучува пумпата за масло, а времето на работа се продолжува. При константно оптоварување на хидроагрегатот циклусот на пумпата за масло, односно периодот помеѓу две вклучувања изнесува $1:10 \div 1:20$. Поголемиот број вклучувања предизвикува ненормална работа на системот за регулација. Наглото наголемување на протокот, може да предизвика неисправности на повратната и потисната клапна, на цевководите за масло, на пумпите за масло и др. Во случај на појава на неисправности на чувствителните делови на системот за регулација, потребно е при првата можност да се исклучи и ремонтира.

- Неопходноста од ограничување на отоварувањето може да се примени при појава на одредени услови на работа или состојби на електричната или хидротурбинската постројка.

- При работата на регулаторот на ограничувачот може да се појави ограничување само на наголемувањето на моќта. При намалување на оптоварувањето, регулацијата на системот обезбедува затворање на регулационите уреди на хидротурбината со максимална брзина, која е постигната при изведување на гаранциските испитувања.

3.4.4. Услови кои мора да ги исполни системот за регулација на хидротурбините

Системот за регулација на хидротурбините е должен да обезбеди:

- автоамтско и рачно стартување и запирање на хидроагрегатот,
- непрекината работа на хидроагрегатот во сите режими,
- учество на регулацијата на фреквенција во енергетскиот систем,
- навремена и постепена промена на елементите за регулација при промена на моќта хидроагрегатот,
- да не дозволи преминување на зададените вредности на бројот на вртежите, притисокот и протокот на проточниот тракт на хидротурбината, при промена на оптоварувањето,
- автоматско ограничување на мксималниот отпор на спроводниот уред, при промена на напорот.

Податоците за степенот на нерамномерност на регулацијата ги задава службата за управување со системот/диспечерот и неможат да бидат променети без нивна согласност.

Системот за автоматско управување е составен од два основни дела: објект на регулација и регулатор. Кај хидротурбинските постројки објект на регулација претставува хидротурбината, а регулатор е регулаторот на бројот на вртежите, кој го регулира во определено време бројот на вртежите и управува во целина со работата на хидроагрегатот.

Кај ХЕЦ се користат два вида ја регулатори на бројот на вртежи:

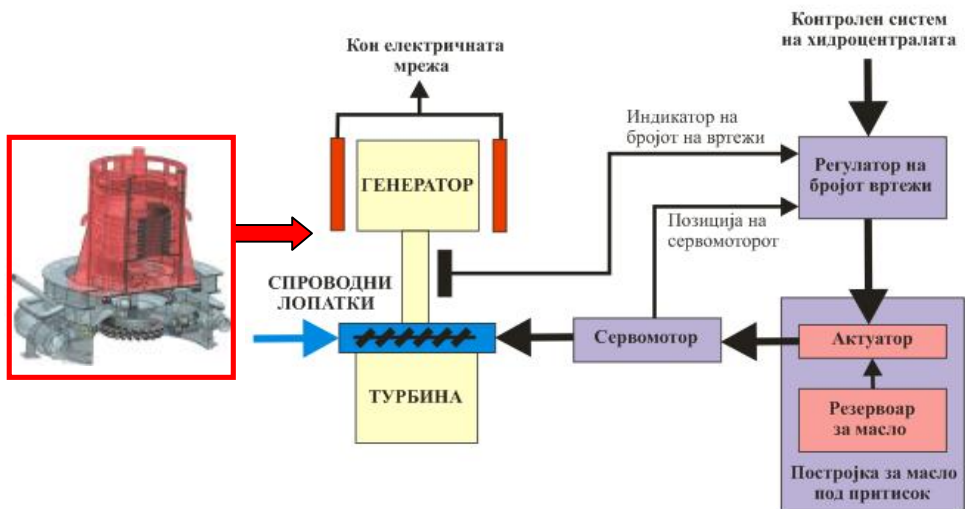
- хидромеханички и
- електрохидраулични.

Хидромеханичките регулатори се користени до крајот на 1950 год. Во почетокот на 1960 год. се појавиле електрохидрауличните регулатори. Разликата на хидромеханичките во однос на електрохидрауличните е во тоа што сите елементи на регулаторот, како јавувачот, појачалото, изомеханизмот и повратната врска, работат на хидромеханички принцип. Електрохидрауличните регулатори работат и на двата принципа. Електричниот систем обезбедува мерење и спроведување на зададените вредности на бројот на вртежите на хидротурбината, отворот на спроводниот уред или моќта на хидроагрегатот, исто така сумирање на сигналите кои влегуваат во регулаторот и нивното засилување, промена и формирање во вид на определен закон за регулација.

Хидромеханичкиот дел на електрохидрауличните регулатори, со помош на специјален претворац, го претвора излезниот електричен сигнал на регулаторот во механичко поместување на појачувачот, кој дејствува врз елементите на органите за регулација на хидротурбината.

Електрохидрауличниот регулатор се состои од електричен ормар и хидромеханичка линија. Во електричниот ормар се наоѓа: чувствителен елемент во вид на LC-контура, електричен механизам за промена на брзината на вртење, механизам за промена на моќта, магнетен појачувач и други електрични елементи на регулаторот. Сигналите од овие електрични елементи се сумираат во трансформаторот за сумирање, а излезниот сигнал преку фазочувствителниот емитер се праќа кон магнетниот појачувач. Во хидромеханичката линија се наоѓаат: електрохидрауличен претворац, потенциометри за положба на сервомоторот, механизам за ограничување на отворот, главни и помошни цилиндри. Најсложен елемент на овој регулатор претставува електрохидрауличниот претворац. Денес се користат претвораачи со хидропојачувач, кои покажуваат висока сигурност и стабилна работа. Во последно време

се користат електрохидраулични регулатори врз основа на пропорционално интегрално диференцијални закони за регулација (сл.3.19.).



Сл. 3.19. Електро-хидрауличен систем за регулација на бројот на вртежите.

3.5. ЗАПИРАЊЕ НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ

3.5.1. Причини за брзо запирање на хидроагрегатот

Хидроагрегатот мора да биде брзо запреен под дејство на заштитата или од страна на персоналот во следниве случаи:

- при намалување на притисокот во системот за регулација под најниско дозволената вредност,
- при ниво на масло во собирните корита и лежиштата, во сливниот дел на резервоарот за масло на уредот за подмачкување под дозволениот минимум,
- при појава на чад, искри или пламен од генераторот,
- при покачување на температурата на маслото во сегментите од лежиштата на хидроагрегатот над дозволената,
- при наголемување на бројот на вртежи на роторот на хидроагрегатот над погонскиот, пропишан од страна на производителот,
- при испад од погон на системот за управување со лопатките кај Каплановите хидротурбини.

Во прикажаните случаи за брзо запирање на хидроагрегатот, автоматската заштита дејствува во сите случаи освен во случаите на појава на чад, искри и пламен од генераторот, како и во последниот случај на испад на системот за управување на лопатките на хидротурбините. Персоналот мора да го запре хидроагрегатот при откажување на автоматиката.

Појавата на чад, искри и пламен од генераторот може да биде незабележано од страна на автоматската заштита, при повредена навивка на статорот на возбудиот генератор, затоа што во тие случаи автоматската заштита не реагира. Сите случаи претставуваат опасност за понатамошната работа на хидроагрегатот, затоа тој мора брзо да биде запреен.

Намалување на притисокот на масло во системот за регулација под дозволената граница не е дозволено, затоа што може да се загуби управувањето со хидроагрегатот. Хавариското реле за низок притисок во уредот за подмачкување дејствува на спроводниот уред и запирање на лопатките на

работното коло под агол на стартување. После затворањето на спроводниот уред и преместувањето на лопатките на работното коло под агол на стартување, во резервоарот за масло на уредот за подмачкување мора да има доволна количина на масло, при што се исклучува влезот на воздух во системот за регулација на хидротурбината. Вредноста на големината на притисокот, односно хавариско најниската вредност е пропишана во инструкциите на производителот.

Нивото на маслото во собирните корита и лежишта, сливниот дел и во резервоарот за масло во уредот за подмачкување, се ограничува во согласност со инструкциите на производителот или како резултат на специјалните приемни испитувања. Нивото на маслото визуелно се контролира преку показното стакло и автоматски со специјални сензори за ниво. На стаклата за масло мора да се обележани максималното и минималното дозволено ниво на масло, при одредена густина на маслото. Во коритата за масло намалувањето на нивото на масло под дозволеното ниво, не е дозволено затоа што при тоа значително би се нарушиле условите за подмачкување на сегментите, би се наголемила температурата на маслото и сегментите, а тоа може да доведе до повредување на лежиштата. Превисоко ниво на масло во коритата за масло може да предизвика преливање на маслото преку оградата и валкање на хидроагрегатот. Намалувањето на нивото во сливниот дел е предизвикано поради намалувањето на работата на пумпите за масло и недостаток на масло во резервоарот за масло, а со тоа се појавува опасност од влегување на воздух во системот за регулација на турбината, што предизвикува нагли хидраулични удари во цевководите за масло, вибрации во цилиндрите и нарушување на нормалниот процес на регулација.

Појавата на чад, искри и пламен од генераторот е очевиден предзнак за пожар во генераторот. Причината за пожар најчесто е краток спој на навивката на статорот, како резултат на електрични или механички повреди на нејзината изолација. Во тој случај покрај запирањето на хидроагрегатот се предвидува и брзо вклучување на системот за гасење пожар.

Дозволените граници за покачување на температурата на сегментите на лежиштата, директно влијаат врз можноста за запирање на хидроагрегатот брз повреди на лежиштата. Во различни временски периоди во зависност од температурата на разладната вода се препорачува корегирање на граничните вредности на температурите.

Во техничките упатства за изградба на хидротурбините и инструкциите од производителот е дадено дозволеното наголемување на бројот на вртежи на роторот на хидроагрегатот при потполно растоварување од страна на генераторот. Оваа наголемување на бројот на вртежите се вика привремена нерамномерност на регулацијата.

Привремената нерамномерност Δn_{vr} % во зависност од типот на хидротурбината, маховата маса на роторот, напорот и времето на затворање на спроводниот уред, се движи од 35÷50 %:

$$\Delta n_{vr} = \frac{n_2 - n_1}{n_0} \cdot 100$$

каде: n_0 = номинален број на вртежи на хидрогенераторот,
 n_1 = број на вртежи пред растоварувањето,
 n_2 = број на вртежи по растоварувањето.

Според границите на производителот на хидротурбини привремената нерамномерност се ограничува со дефинирање на времето на затворање на спроводниот уред при растоварување. Процесот за воспоставување на нормалниот број на вртежи после растоварувањето треба да се одвива периодично со едно пререгулирање. Времето на овој процес е различно за различни типови турбини, а се движи од 30÷40 s.

При нормална работа на регулаторот на бројот на вртежите после растоварувањето и промена на фреквенцијата на роторот не смее да е повишока од 0,05÷0,1 Hz. Наголемувањето на фреквенцијата при растоварувањето на хидроагрегатот е резултат на неправилната регулација на одот на клипот во цилиндарот на регулаторот.

Причини за ова може да бидат:

- истрошување на главниот и помошниот цилиндар на електрохидрауличниот претворувач,
- доцнење при обработка на сигналот,
- прекинување на електричните врски помеѓу регулаторот и генераторот и др.

Наголемувањето на бројот на вртежите на роторот над дозволеениот, го фиксира релето за број на вртежи и преку контактите со кои се вклучуваат клапните на хаварискиот цилиндар и доводот за масло, дејствува на затворање на сервомоторот на спроводниот уред под дејство на цилиндарот на регулаторот на хидротурбината. Запирањето на хидроагрегатите кои имаат турбински вентили, при растоварување, се изведува со затворање на вентилите. Во случај на откажување на релето за бројот на вртежи при растоварување на хидроагрегатот, персоналот мора брзо да го запре хидроагрегатот, поготово кога зголемениот број на вртежи предизвикува повеќекратно наголемување на вибрациите или наголемување на механичките напрегања на вртежните делови на роторот.

Испаѓање од погон на системот за управување на лопатките кај Кап-лановите хидротурбини е опасно, затоа што таквата работа на хидроагрегатот, доведува до намалување на оптоварувањето, може да доведе до кршење на лопатките на работното коло и оштетување на вртежните делови на хидроагрегатот.

Неправилности при работа на системот за управување со лопатките може да се воочат со визуелна проверка на постројката или со појава на следните знаци:

- наголемување на вибрациите,
- неконтролирана промена на моќта,
- несоодветност помеѓу моќта на хидроагрегатот и отворот на спроводниот уред,
- покачување на температурата на сегментите на лежиштата и др.

3.5.2. Причини за растоварување на хидроагрегатот

Хидроагрегатот мора да се растовари или запре во период определен од страна на раководителот на погонот на ХЕЦ:

- при појава на неправилности на технолошките заштити кои дејствуваат на запирањето на постројката,
- при неправилности на системот за регулација,
- при појава на необични удари во проточниот дел на хидротурбината, лежиштата и другите делови на хидроагрегатот,
- при нагло наголемување на нивото на вода во поклопецот на хидротурбината,
- при намалување на доводот на вода кон турбинското лежиште,
- при неисправности на нормалната работа на помошните уреди, ако одстранувањето на тие неисправности не е можно да се изведе без запирање на хидроагрегатот,
- при напор и висина на отсисување, повисоки од дозволените, пропишани од страна на производителот на хидротурбините.

Во процесот на работа на хидроагрегатот, можат да се појават отстапувања од нормалниот режим на работа на уредите, кои не предизвикуваат повреди и поради кои хидроагрегатот може определено време да работи без негово запирање. Одредени грешки можат да бидат отстранети со промена на режимот на работа на хидроагрегатот. Карактерот на режимот на работа зависи од видот на нисправноста и условите на работа на хидроагрегатот.

При појава на неисправности на технолошката заштита на работата на хидроагрегатот, потребно е постојано набљудување и контрола на параметрите на заштита и преземање на мерки за нормализација на работа на заштитата во најкус рок.

Неисправностите во системот за регулација при работа на хидроагрегатот се појавуваат при:

- неконтролирана промена оптоварувањето,
- нерамномерно поместување на уредите за регулација на хидротурбината при регулација на моќта,
- периодични отстапувања на отворот на спроводниот уред и моќта на хидротурбината.

Во редица на случаи овие неправилности можат да бидат локализирани со премин на регулаторот на хидротурбината од автоматски на рачен режим на управување или со ограничувачот на отворот. Кај првата можност, хидроагрегатот потребно да се запре, поради отстранување на неисправноста во системот на регулација.

Појавата на необични шумови при работата на хидротурбинските постројки претставува еден од најнепријатните и најопасни знаци за ненормална работа на постројката. Причините за ова можат да бидат од различен карактер и можат да доведат до кршење на одредени делови. За отстранување на овие шумови мора да се преземат мерки за постепено растоварување на хидроагрегатот до постепено нивно исчезнување, а ако тоа не помага потребно е да се запре хидроагрегатот.

Појавата на вибрации и удари во одделни делови на хидроагрегатот е показател за неисправна состојба на уредите за довод на вода. Во многу случаи наголемувањето на вибрациите може да предизвика кршење на лопатките на работното коло на Каплановите хидротурбини, искривување на роторот, откинување на делови на облогата на напорниот цевковод (турбовод) и др. Сите овие неисправности се потенцијална опасност по работата на хидроагрегатот и затоа е потребно тој да биде што е можно побрзо запрен.

Појава на вибрации на цевководите за масло на системот за регулација најчесто е резултат на навлегувањето на воздух во цевководите за масло или при појава на неисправности на цилиндарот на регулаторот на хидротурбината. Вибрациите на цевководите за масло можат да предизвикаат влошување на затнувањето на споевите со прирабници и откинување на потпорите на цевководите за масло. Тоа може да се елиминира со промена на ограничувањето на отворот на регулаторот или со рачно управување.

Наголемувањето на нивото на водата во поклопецот на турбината најчесто е поврзано со неисправност на затнувањето на роторот на турбината, лопатките на спроводниот уред или при откажувањето на уредите за отстранување на водата. Можна е појавата и на посериозни повреди како олабавување на сите видови на врски и повреди на ремонтните лаци, но такви случаи се појавуваат многу ретко. При појава на зголемено ниво на вода во поклопецот на турбината, должни се автоматски да се вклучат резервните средства за празнење. Ако при тоа, нивото на водата не се намалува, потребно е да се промени оптоварувањето на хидроагрегатот, така да под поклопецот на турбината се појави отпор кој ќе овозможи одстранување на вода, за да не се потопи шахтата на хидротурбината.

Неисправностите при работа на помошните уреди може да предизвикаат промени на условите за работа на хидроагрегатот или промена на неговото оптоварување. На пример при испад на една од пумпите за техничко снабдување со вода, може да се намали протокот на вода за ладење на хидроагрегатот и намалување на притисокот на воздухот во системот за кочење. Неисправностите во системот за отстранување на водата и маслото може да предизвикаат покачување на нивото на вода во поклопецот на турбината и коритата за масло. После воочувањето на неисправноста на помошните уреди, таа мора да биде благовремено отстранета по пат на замена на неисправниот дел, а уредот доведен во исправна состојба.

Долгата работа на хидротурбините во непресметковни големини на напорот, предизвикува наголемување на кавитациската ерозија на проточниот дел, наголемување на вибрациите и удари во хидроагрегатот, што доведува до неефикасно искористување на водотококот како резултат на намалувањето на КПД на хидротурбината. Познати се случаи, кога експлоатацијата на хидротурбините при непресметковни напори, довела до појава на значителни кавитациски повреди и вибрации на одделни делови. Затоа долгата работа во тие услови не е дозволена и мора да се прекине. При проектирање на хидротурбинските постројки, мора да се земат во предвид овие недостатоци, посебно при проектирање на работните кола. Работните кола треба да овозможат постигнување на пресметковните напори без појава на кавитациски повреди, односно новите постројки се прават за повисоки напори во однос на напорите предходно определени.

3.6. ОДРЖУВАЊЕ И РЕМОНТ НА ХИДРОТУРБИНСКИ ПОСТРОЈКИ

3.6.1. Контрола при експлоатација

За време на експлоатацијата на хидроагрегатот со визуелна контрола и периодични мерења со помош на стационарни и преносни инструменти потребно е да се прави контрола на работата на постројката по обем и периодичност, според инструкциите дадени во упатствата на производителот.

За секој хидроагрегат во согласност со производителот на хидротурбината, во претходно утврдени периоди и рокови, се контролираат следните процеси:

- затворање на спроводниот уред на хидротурбината до зона на пригушување при промена на оптоварувањето,
- отворање на спроводниот уред на хидротурбината при промена на оптоварувањето,
- завртување на лопатките на работното коло кај Каплановите хидротурбини,
- затворање и отворање на регулаторната игла и наклонот на струјата кај Пелтоновите хидротурбини,
- затворање на спроводниот уред при проработување на цилиндарот за хавариско затворање,
- затворање и отворање на турбинските вентили или брзодејствувачките вентили поставени на турбинските цевководи,
- затворање на принудниот испуст на хидротурбината.

За нормална бесхавариска работа неопходна е контрола на должината на одделните процеси при работа на хидротурбинската постројка. Времето на затворање на спроводниот уред на хидротурбината T_z , при намалување на оптоварувањето бара исполнување на некои гаранции на регулацијата: дозволено покачување на притисокот на вода во турбинскиот цевковод како резултат на хидрауличен удар и бројот на вртежи на хидроагрегатот, односно појавување на вишок на момент на цилиндарот на турбината. Промената на времето на затворање на спроводниот уред заради подобра сигурност на постројката и цевководите доведува до покачување на притисокот во турбинскиот

цевковод и намалување на бројот на вртежи по намалување на оптоварувањето.

За обезбедување на сигурна работа на хидротурбинската постројка, одот за затворање на спроводниот уред се регулира со мало задоцнување после преод во празен од на агрегатот.

Времето на затворање на спроводниот уред до постигнување на празен од на агрегатот изнесува, за:

- Каплановите хидротурбини е $0,7 T_z$,
- Франсисовите хидротурбини е $0,9 T_z$.

Времето на поместување на уредите за регулација се определува од страна на производителот, за спроводниот уред ориентационо се движи, кај:

- малите хидротурбини $2 \div 3$ s,
- средните хидротурбини $3 \div 7$ s,
- големите хидротурбини $7 \div 20$ s.

Времето на постигнување на потребниот агол на лопатките на работното коло кај Каплановите хидротурбини се пропишува од страна на производителот, а е во согласност со постигнувањето на минимални осни напрегања, елиминирање на спротивиот хидрауличен удар во цевководот за празнење при брзи промени во процесот и најмали динамички промени во процесот на регулација.

Времето на завртување на лопатките на работното коло обично е подолго во однос на времето на отворање на спроводниот уред. Односно, тоа е за $3 \div 5$ пати подолго од отворањето на спроводниот уред, а кај големите хидротурбини се движи до $60 \div 70$ s. Проверката на брзината на затворање на спроводниот уред и лопатките на работното коло се прави без проток на вода со празна спирална комора.



Сл. 3.20 . Регулација на протокот кај Пелтоновите турбини.

Кај Пелтоновите хидротурбини за регулација се применуваат: копјето и дефлекторот на струјата. Дефлекторот на струјата потребно е да ги обезбеди параметрите за регулација при одреден број на вртежи на хидроагрегатот, односно брзината на неговото поместување треба да е поголема во однос на поместувањето на копјето, која го обезбедува дозволения притисок во цевководот на турбината со затворање на протокот на вода кон турбината.

Затворање на спроводниот уред под дејство на цилиндарот за хавариско затворање се остварува при откажување на регулаторот на хидротурбината, при што се наголемува бројот на вртежи на хидроагрегатот над дозволеният, следен со намалување на оптоварувањето. Производителот го определува времето на затворање на спроводниот уред на Каплановите хидротурбини, при проработување на хаварискиот цилиндар, а е за 3÷6 пати подолго во однос на тоа при нормално затворање при намалување на оптоварувањето. Тоа се случува кога проработува хаварискиот цилиндар, при зголемен проток на вода преку спроводниот уред во однос на протокот при нормален број на вртежи. Со цел спречување на делење на површината на протокот и опасноста од покачување на притисокот во турбинските цевководи при влегување на агрегатот во погон, времето на затворање на спроводниот уред треба да е поголемо.

3.6.2. Вибрации кај хидроагрегатите

Вибрациите во лежиштата на вертикалните хидроагрегати, вибрациите во поедини делови на хидроагрегатите (лежишта, поклопецот, потпорите) и вибрациите во лежиштата на хоризонталните хидроагрегати, при номинален број на вртежи не смеат да бидат повисоки од:

Номинален број на вртежи min^{-1}	до 100	до 187,5	до 375	до 750
Двојна амплитуда на вибрациите mm	0,18	0,15	0,10	0,07

Вибрациите на статорот кај вертикалните хидроагрегати при постигнување на режимот на работа не смее да бидат повисоки од:

Фреквенција на вибрациите Hz	до 20	до 30	до 40	до 50	над 80
Двојна амплитуда на вибрациите mm	0,08	0,06	0,045	0,035	0,020

Привремена работа на хидроагрегатот со вибрации повисоки од прикажаните е можна само со дозвола на раководителот на погонот.

При постигнување на работните режими, вибрациите се појавуваат во вид на периодични промени во одделните јазли и делови на хидроагрегатот. Временскиот интервал во кој се повторува поместувањето се нарекува период на вибрациите. Бројот на поместувања во единица време се нарекува фреквенција на вибрациите. Вибрационите состојби кај хидроагрегатите се искажуваат со двојна амплитуда на поместувањата (вибрациите), мерена во карактеристични точки на хидроагрегатот.

Вибрациите претставуваат непожелна појава кај машините, затоа што се услов за дополнително напрегање на конструкцијата. При променливи напрегања предизвикани од вибрации, отпорноста на материјалот е 2÷3 пати помала во однос на статичките напрегања. Појавата на вибрации во хидроагрегатите ја намалува сигурноста на посројката, ги ослабува потпорите, предизвикува појава на пукнатини, прегревање на лежиштата и во редица случаи предизвикува повреди на постројката со поголеми последици.

Основните сили кои ги предизвикуваат вибрациите може да се поделат во три групи:

- *Механичките сили* се појавуваат под дејство на неурамнотеженост на вртежните маси на хидроагрегатот, а највеќе поради:

- неурамнотеженост на роторот на хидроагрегатот,
- искривување на централната оска на цилиндарот на хидроагрегатот,
- неправилно центрирање на вртежните делови на хидроагрегатот,
- механички допирања помеѓу вртливите и неподвижните делови,
- неправилната регулација на процепите во лежиштата,
- ослабнување на потпорите на лежиштата и др.

Фреквенцијата на вибрациите под дејство на механичките сили по правило се совпаѓа со фреквенцијата на вртењето на роторот. Кај различни хидроагрегати во зависност од бројот на вртежи, фреквенцијата се движи од 0,8÷12,5 Hz. Појавата на вибрации предизвикана од механичките сили е резултат на премин на режимот на работа во празен од без возбудавање, при премин на режимот во режим на синхрон компензатор со исфрлена вода од комората на работното коло, а кога на него не дејствуваат електричните и хидрауличните сили. Механичкиот дисбаланс на роторот се појавува при мерење на вибрациите при различна фреквенција на роторот. При тоа двојната амплитуда на вибрациите во лежиштата на генераторот расте пропорционално со квадратот на бројот на вртежите, односно $2A=f(n^2)$.

Појава на вибрации од *хидрауличките сили* се случува како резултат на следното:

- нерамномерната распределба на протокот во проточниот дел на хидротурбината, што е во тесна врска со неправилната регулација на спроводниот уред,
- нарушување на проектните размери на решетката од лопатки и др. поради појава на виорни струења и пулсации на притисокот во проточниот дел,
- зголемената појава на кавитација во хидротурбината,
- нарушување на комбинираната врска кај каплановите хидротурбини.

Фреквенцијата на вибрациите во тие случаи може да се менува во широк дијапазон. Во зависност од карактерот на силите, врз фреквенцијата има влијание бројот на лопатки на работното коло и спроводниот уред, бројот на вртежите и оптоварувањето на хидроагрегатот. Затоа при определување на големината на хидрауличните сили се појавуваат потешкотии и потребно е спроведување на посебни испитувања за регистрација на амплитудата и фреквенцијата на вибрациите на хидроагрегатот и промените на притисокот во проточниот дел на хидротурбината.

Вибрациите од хидрауличните сили се појавуваат при работа на хидроагрегатот во режим на синхрон компензатор, при исфрлена вода од комората на работното коло. За намалување на вибрациите предизвикани под дејство на хидрауличните сили, во зоната на работното коло на Францисовите турбини, се доведува атмосферски или компримиран воздух. Атмосферскиот воздух се додава низ клапната поставена на цилиндарот. Треба да се има во предвид дека додавањето на големи количества на воздух може да предизвика намалување на моќта и КПД на хидроагрегатот.

Појавата на вибрации од *електрични сили* се случува поради:

- нерамномерност на воздушниот процеп помеѓу роторот и статорот на хидрогенераторот,
- при делумни отстапувања во чекорот на навивката на роторот,
- несиметричен режим на работа на хидрогенераторот во фази,
- асинхроната работа на синхронниот хидрогенератор.

Фреквенцијата на вибрациите на потпорните делови на хидрогенераторот зависи од неправилна форма на роторот или врската на навивките, бројот на испусти и вдлабнатини на роторот или од бројот на кусите врски на навивките. Радијалните вибрации на срцевината на хидрогенераторот со

фреквенција 100 Hz, се појавуваат поради недоволна издржливост на пресуваните железни пакети на срцевината и врските на статорот на хидрогенераторот. Ексцентричното поставување на роторот не предизвикува појава на големи променливи сили, туку предизвикува прегревање и повреди на лежиштата на генераторот, ослабување на потпорите на половите и расклинување на ободот на роторот и наголемување на вибрациите на срцевината со фреквенција 100 Hz.

При празен од, нема појава на вибрации под дејство на електрични сили. Специјалните испитувања на вибрациите на хидроагрегатот се изведуваат со инструменти за мерење на вибрациите и понатамошна обработка на измерените вредности преку методата на фреквентна анализа.

За тековна експлоатациона контрола на вибрациите се користат специјални инструменти за нивно мерење. За таа цел на хидроагрегатот се определуваат поголем број на мерни места за контрола на вибрациите со одредена периодичност. Резултатите од мерењата се впишуваат во соодветни формулари. Споредбата на измерените вредности на вибрациите за потпорните делови се прави во зависност од бројот на вртежите, а за срцевината и куќиштето на вертикалните генератори во зависност од измерената вибрација.

3.6.3. Поправки при стојење на хидроагрегатите

Сите запрени хидроагрегати, освен тие во фаза на ремонт, потребно е да се доведат во состојба на подготвеност за брзо стартување. Хидротурбините потребно е да се под полн напор, при потполно отворени вентили на доводот на вода и затворен спроводен уред. Кај ХЕЦ со напорен цевковод, вентилот за оперативно управување, кој се наоѓа пред спиралната комора, потребно е да е затворен а турбинскиот цевковод наполнет со вода.

Затворањето на турбинските вентили пред спиралната комора, кај високонапонските хидротурбински постројки, се прави со цел намалување на протокот на вода преку отворите на спроводниот уред на запрениот хидроагрегат и со цел избегнување на кавитација во спроводниот уред на хидротурбината. Операцијата на затворање на вентилите при пуштање на хидроагрегатот 2÷3 пати го наголемува времето од моментот на давање команда до вклучување на хидроагрегатот на мрежа, затоа во одделни случаи при кратки запирања на хидроагрегатот, турбинските вентили не се затвораат.

При спроведување на поправки на турбинската комора потребно е напорниот турбински цевковод да е испразнет и да се затворени хавариско-ремонтните вентили на турбинскиот цевковод или во напорниот цевковод.

Кај ХЕЦ кои имаат заеднички напорен цевковод за неколку хидроагрегати, потребно е да биде затворен хавариско-ремонтниот вентил и да се преземат мерки за негово отворање. При поправки на роторот на генераторот потребно е да се фиксира спроводниот уред, закочи роторот и да се преземат мерки според правилникот за техничка заштита.

За изведување на поправките во комората на турбината потребно е потполно затворање на доводниот тракт на хидротурбинската постројка, а во случаи кога работното коло е потопено, потребно е да се обезбеди намалување на нивото на водата преку цевководот за празнење, што е потребно за изведување на сите монтажни работи.

Кога секоја турбина има засебен доведен тракт (влезен цевковод), се затвораат хавариско-ремонтните вентили, а водата се испушта преку цевководот на долната поткомора. Во тој случај неопходно е потполно затворање и оневозможување на било каков проток преку вентилите и исклучување на брзото поплавување на подводниот дел на хидроагрегатот во случај на откажување на пумпите за празнење. При тоа исполнувањето со вода на подводниот дел се продолжува за неколку часа, со цел евакуација на луѓето од турбинската комора.

Во високонапорните деривациони ХЕЦ, често пати преку еден цевковод водата се доведува до неколку хидротурбини. Во тој случај при запирање на еден хидроагрегат поради поправки во подводниот дел, потребно е да се затвори само еден турбински вентил, без затворање на сите цевководи. Едновременно потребно е да се преземат сите технички мерки за безбедност и заштита заради исклучување на можноста за отворање на вентилот, се до завршување на поправката на подводниот дел на хидротурбината. Поправките во подводниот дел на хидротурбината и на роторот на генераторот потребно е да бидат организирани во согласност со правилникот за безбедност и заштита при работа со хидротурбинските постројки и хидромеханичките уреди.

3.6.4. Барањата од системот за масло на хидроагрегатите

Загубите во системите со масло во Каплановите хидротурбини потребно е да се минимални и да не ги надминуваат нормите пропишани за секоја ХЕЦ.

Маслото во системот за регулација на хидротурбината се користи како носител на енергија за обезбедување на управувањето со уредите за регулација. За таа цел маслото се акумулира под притисок во резервоарот за масло на уредот за подмачкување и преку главниот цилиндар на регулаторот на бројот на вртежи, оди кон сервомоторите на системот за регулација на хидро-

турбината. Во современите системи за регулација се користи масло под притисок од 40 bar, а во постарите од 20÷25 bar. Типот на маслото треба да ги задоволува сите својства за работа во хидропостројките.

Во зависност од конструкцијата на хидротурбината и дијаметарот на работното коло, количината на потребното масло во системот за регулација, варира во широк дијапазон. Најголемата количина на масло е потребна за системите кај Каплановите хидротурбини (изведени ХЕЦ во Русија, 39÷73 t). Основните загуби на масло во процесот на експлоатација се случуваат поради лошо затнување во системот за регулација и поарди испарување. При поправки, маслото со пумпи се транспортира до резервоарот за масло а после поправката назад во системот за регулација. Но сепак еден дел на маслото се губи и не се враќа назад во системот. Загубите на масло преку затнувањата на цевководите за масло и манжетните, спаѓаат во групата на неповратни загуби на масло. Најголемите неповратни загуби се појавуваат преку затнување на лопатките на работното коло кај каплановите хидротурбини. Кај овие турбини загубите на масло се 2÷3 пати поголеми во однос на Франсисовите турбини. Затоа потребно е да се користат најдобрите конструкции на системите за затнување, поготово кај каплановите хидротурбини.

Кога затнувањето е лошо, големи количини на масло се губат од системот за регулација, а кај Каплановите хидротурбини количината на изгубеното масло може да изнесува од 30÷50 kg масло на ден или вкупно сите загуби на масло во годината од 10÷15 t/g, за една хидротурбина. При тоа, во долната поткомора на хидротурбината доаѓа до валкање на водата со масло, што е недозволено од еколошка гледна точка.

Со цел намалување на неповратните загуби на масло од системот за регулација, потребно е персоналот за експлоатација да врши постојана визуелна контрола на:

- сите врски на цевководите за масло,
- споевите со прирабници,
- појавата на пукнатини во рабовите на цевководите,
- а исто така спроведување на предвидените ремонтни работи за затнување на лопатките на работните кола.

Со испитувања е докажано дека при добро обработена затнувачка површина, загубите на масло за една хидротурбина можат да се намалат за 5÷7 kg на ден, а загубата на масло изнесува 3÷4 % од вкупната количина на масло.

Големиот избор на конструкциите за затнување, различните услови на работа на хидроагрегатите и некои други особености на хидроагрегатите, го

оневозможуваат ограничувањето на загубите на масло кај хидротурбините. За секоја ХЕЦ се прават локални норми за намалување на загубите на масло, или се користат искуства од другите исти такви ХЕЦ.

Падот на притисок на маслото во резервоарот за масло на уредот за подмачкување, при затворен вентил не смее да е поголем од $1,0 \div 1,5$ bar за 8 h.

Секој уред за подмачкување треба да работи изолирано од другите .

Загубите на воздух во резервоарот за масло потребно е да се компензираат автоматски или со периодично додавање на воздух од магистралниот цевковод со висок притисок.

Пумпите за масло потребно е да работат независно или по друга зададена програма.

Уредот за подмачкување служи за обезбедување на резерва на масло под притисок, кое се користи како енергоносител во системот за регулација на хидротурбината. Тој е составен од резервоар за масло со арматура и инструменти за покажување, сливни дел, пумпи за масло со електромотори и автоматска апаратура. Резервоарот за масло 40 % е исполнет со масло, а 60 % со компримиран воздух, благодарение на што тој претставува акумулатор на енергија, што е потребна за задоволување на работата на механизмите во системот за регулација на хидротурбината и турбинските вентили. Полнењето на резервоарот за масло од сливниот дел се врши со две пумпи за масло, кога ќе се намали притисокот на маслото во резервоарот. Пуштањето на пумпите за масло во погон се изведува преку релето за притисок на уредот за контрола на резервоарот за масло. При тоа, најпрво се вклучува пумпата за масло која е во работна состојба, а потоа резервната. Изборот на режимот на пумпите за масло се прави со помош на склопките поставени на управувачкиот панел на уредот за подмачкување. Работната пумпа се вклучува при пад на притисокот во резервоарот за $2 \div 3$ bar во однос на нормалниот притисок, а резервната пумпа се вклучува при пад на притисок $2 \div 3$ bar во зависност од моментот на откажување на работната пумпа. При вклучување на резервната пумпа се вклучува звучен сигнал, кој јавува за пад на притисокот на маслото во резервоарот за масло.

Уредот за подмачкување во својот состав ги има следните прибори и апарати потребни за контрола на работата:

- реле за хавариски пад на притисокот кое дејствува на запирање на хидроагрегатот и вклучување на на хавариската сигнализација,
- покажувач на нивото на масло во сливниот дел на уредот со реле на нивото, кој ја сигнализира промената на нивото на масло во смисол на покажување и намалување,

- визуелно стакло на резервоарот за масло,
- манометар, кој го покажува притисокот во резервоарот.

3.6.5. Притисок во напојниот цевковод

Притисокот во напојниот цевковод на турбината при намалување на оптоварувањето не смее да го надмине дозволениот според проектот.

При дејствувањето на клапната за принуден испуст на вода, не смее да се дозволи појава на преголеми загуби на вода.

Потребно е да се обезбеди соодветно отварање на клапните за вакуум при појава на вакуум во поклопецот на турбината и потполно затнување на клапните после отстранување на вакуумот.

Покачувањето на притисокот на вода во напојниот цевковод при намалување на оптоварувањето на хидроагрегатот е пропишано од страна на производителот врз основа на пресметки за гаранција на регулацијата, основните пресметки на маховиот момент GD^2 на вртежните маси на турбината и генераторот, потрошувачката на вода низ хидроагрегатот при некова номинална моќ и максимален напор. Дозволеното процентуално покачување на притисокот на водата во турбинскиот цевковод се движи во границите од 15÷70 % во зависност од напорот на ХЕЦ. Процентуалното покачување на притисокот на вода во турбинскиот цевковод на хидротурбинската постројка x се определува :

$$x = \frac{H_{\max} - H_o}{H_o}$$

каде е: H_{\max} = максимално дозволен напор при растоварување,
 H_o = напор до растоварувањето.

Процентуалното покачување на притисокот во зависност од номиналниот пресметковен напор на хидротурбината, се движи:

- 0,30 при напор поголем од 200 m,
- 0,20÷0,50 при напор од 40÷200 m,
- 0,50÷0,70 при напор низок до 40 m.

Промената на притисокот на водата во напорниот цевковод на турбината е резултат на брзите промени на положбата на уредите за регулација на хидротурбината, при брзи промени на оптоварувањето на хидроагрегатот. При затворање на уредите за регулација, притисокот во цевководот се пока-

чува, а при отварање се намалува. Тоа е поврзно со појавата на хидраулични удари при премин на течноста од еден режим во друг.

Битен фактор кој влијае на покачувањето на притисокот на водата во напорниот цевковод, претставува времето на затворање на спроводниот уред на хидротурбината T_z . При создавање на таканаречениот оптимален закон за затворање на спроводниот уред, постои можност да се намали процентуалното покачување на притисокот за 25÷30 %. Во пракса создавањето на оптималниот закон на затворањето е поврзано со конструктивно усложнување на системот за регулација и намалување на сигурноста на неговата работа. Затоа по правило затворањето на регулирачките органи на хидротурбината се одвива по линиски закон.

При напори поголеми од 40 m и долги цевководи не е секогаш можно да се одреди такво време на затворање на спроводниот уред, кое при растојанието би обезбедило наголемување на бројот на вртежи на хидроагрегатот во граници на дозволеният број на вртежи, а истовремено не би дозволило покачување на притисокот во напорниот цевковод. Во такви услови намалувањето на притисокот се постигнува со затворање на принудните испусти на спиралните комори на Франсисовите турбини и уредите за отклопување на струјата кај Пелтоновите турбини.

При експлоатација на хидротурбинската постројка со принуден испуст, потребно е затворањето на принудниот испуст да се изведува веднаш после прекилот на движењето на спроводниот уред, а при тоа да не се предизвика непотребна загуба на вода.

Брзото затворање на спроводниот уред не предизвикува само покачување на притисокот на водата во доводните цевководи, туку предизвикува и намалување на притисокот (разредување) во цевководот за празнење под поклопецот на турбината. Појавеното разредување во одводниот цевковод предизвикува можност за појава на спротивни хидраулични удари во одводниот цевковод. За елиминирање на оваа појава на поклопецот на турбината се поставуваат клапни за елиминирање на вакуумот.

Во ХЕЦ се сретнуваат два вида на клапни:

- клапни со катаракта и
- клапни со слободно дејство.

Кај модерните турбини се сретнуваат најчесто клапните со слободно дејство. Тие клапни се отвараат непосредно при појавата на вакуумот во зоната на работното коло на хидротурбината. Во зависност од длабочината на вакуумот се регулира отварањето на клапната се помош на пружина. Потреб-

но е да се следи вредноста на разредувањето при намалување на оптоварувањето, а таа не смее да биде повисока од 7 mVS. После растоварувањето не смее да се дозволи протекување на вода преку клапната.

3.6.6. Услови кои треба да ги исполнат лежиштата на хидротурбините

За секој хидроагрегат во упатството за работа потребно е да се дадени номиналните и максималните дозволени температури во лежиштата. При покачување на температурата за 5 °C над номиналната, потребно е да се вклучи предупредувачки сигнал и да се превземат мерки за отстранување на причините за покачување на температурата.

Максимално внимание при работа на хидроагрегатот треба да се посвети на лежиштата на хидроагрегатот, затоа што работат во најтешки услови. Кај големите вертикални хидроагрегати лежиштата примаат огромни напрегања од страна на ротирачките делови и реакцијата на водата на работното коло на хидротурбината, кое достигнува до 3000 min⁻¹ вртежи. При тоа напрегањето на сегментите од лежиштата, кај некои хидроагрегати, достигнува преку 50 kg/cm², а температурата на загреаните делови на сегментите е повисока од 70 °C.

Најприменувани лежишта кај хидротурбините се лежишта со вртлив диск и samozапирачки сегменти на крута навојна регулирачка потпора. Тие можат да бидат едноредни и дворедни (сл.3.21., 3.22.).

Разликата на температурите во одделни сегменти на лежиштето не смее да биде повисока од 5÷6 °C кај лежиштата со крута навојна потпора и 2÷3 °C кај лежиштата со хидраулична потпора.

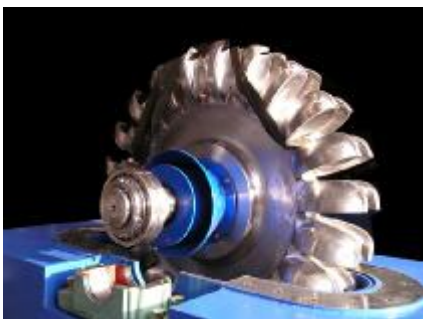
Користењето на средствата за контрола на температурата на лежиштата, дозволува со доволна точност да се измери температурата во сегментите и температурата од маслото. Распределбата на температурата во сегментите од лежиштето при постигнатиот температурен режим после 30÷40 min работа, покажува дека сите сегменти не се загреваат подеднакво. Тоа произлегува од дејството на различни напрегања по сегментите на лежиштето, што предизвикува потешкотии при определување на температурите. Апсолутните дозволени разлики на температурите се усвоени од испитувањата спроведени во текот на експлоатација и приемните испитувања на поголем број лежишта.

Во случаи кога при процесот на експлоатација, разликата на температурата ја надминува дозволената вредност, потребно е да се запре агрегатот и изврши регулација на лежиштето со правилно распределување на напрегањата по сегментите.

При ремонт на лежиштата на хидроагрегатот потребно е да се направи контрола на распределбата на напрегањата помеѓу сегментите. Разликата на напрегањата во одделни сегменти на лежиштата со крута навојна потпора, не смее да е повисока од 10 %. За лежиштата на хидрауличната потпора висинската разлика при вертикална положба на еластичното куќиште не смее да е поголема од 0,2 mm.

Појавата на различни напрегања врз сегментите од лежиштата бара поголема точност при распределбата на напрегањата по сегментите при поставување на лежиштата. Кај поголемите постари хидроагрегати напрегањата не ја надминуваат вредноста од $30\div 35 \text{ kg/cm}^2$, а во денешно време е дозволено до 50 kg/cm^2 , а во одделни случаи и повеќе. Овие напрегања и температури околу $70 \text{ }^\circ\text{C}$, кои се блиски до дозволените гранични вредности, дозволени се кај сегментите со легирана навлака. Во такви услови неточноста при распределбата на напрегањата за $1,3\div 1,5$ пати може да предизвика повреди во лежиштето.

Регулацијата на лежиштето поради порамнување на напрегањата по сегментите е доста сложена и тешка операција и затоа производителот на лежишта проектира и произведува лежишта со веќе направена распределба на напоните. Регулацијата се сведува само на одвртување и завртување на потпорните завртки, врз кои се потпираат потпорните тањери со на нив поставени сегменти.



Сл. 3.21. Лежиште на хоризонтална Пелтонова турбина.

Конструкциите на турбински лежишта со подмачкување со вода наместо тркалчани влошки се користат сегментни влошки со регулирачка потпора. Со тоа регулацијата на лежиштето во експлоатација значително се упростила.

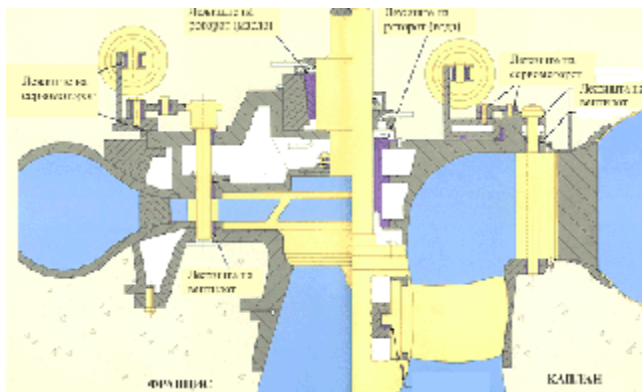
Турбинските лежишта со водено подмачкување имаат низа предности во однос на тие со подмачкување со масло:

Доведувањето на вода на мазалицата на турбинското лежиште на агрегат се врши од два независни извори. При прекин на доводот на вода од основниот извор, потребно е автоматски да се вклучи резервниот. Ако после $2\div 3 \text{ s}$ не се појави вода, се вклучува заштитата за запирање на агрегатот. Во пракса најчесто се користат лежишта со влошки од легури и со подмачкување со масло, но исто така широка примена наоѓаат лежиштата со подмачкување со вода. Кај современите

- обезбедуваат покомпактно поставување на поклопецот на турбината во непосредна близина на работното коло,
- се исклучува примената на сложените системи за подмачкување со масло,
- се намалува онечистувањето на водата во долниот дел на долната преткомора на ХЕЦ при протекнување на маслото,
- се упростува работата на лежиштето.

Од друга страна лежиштата со водено подмачкување имаат потреба од непрекинато доведување на вода во доволни количини, која мора да е прочистена од механички примеси. Потребна е почеста регулација во однос на лежиштата со подмачкување со масло. Не е дозволен прекин на водата кон лежиштето и затоа водата кон лежиштето се доведува од два независни извори, основен и резервен. Таквите извори најчесто се системот за техничко снабдување со вода и спиралната комора на хидротурбината. Пресекот на цевководите за вода и притисокот во нив, треба да е за 3÷5 пати поголем од минималниот потребен за работа на лежиштето. Минималниот проток на вода и протокот на вода за вклучување на резервниот извор се определуваат од страна на производителот на хидротурбината и е даден во упатствата.

Протокот на вода низ турбинското лежиште се контролира со проточно реле. При намалување на притисокот на вода проточното реле дава команда за вклучување на резервниот извор и звучен сигнал. При намалување на протокот под минималниот дозволен проток, релето за 2÷3 s дава команда за исклучување на хидроагрегатот со брзо растоварување. Притисокот на вода пред лежиштето се мери со монометар и се регулира со отварање на рачниот задвижувач на турбинското лежиште. Притисокот треба да изнесува 1,5÷2 bar. Температурата на гумените влошки на лежиштата не се контролира.



Сл. 3.22. Поставеност на лежиштата кај Францис и Каплан хидротурбини.

3.6.7. Одржување на цевководите за довод на вода кон турбините

При обраснување на турбоводовите за техничко снабдување со вода со растенија и школки, потребно е преземање на заштитни мерки.

Кај некои ХЕЦ обраснувањето претставува голем проблем, поготово кај хидроцентралите на реките кои се влеваат во морињата.

Обраснувањето предизвикува голем број на непожелни појави:

- наголемување на отпорите во турбоводите за техничка вода,
- затнување на собирниците на вода под лежиштата,
- затнување на филтрите за масло и ладилниците со воздух, а со тоа значително се намалува ладењето на лежиштата и генераторот.

За таа цел потребно е да се води сметка за прочистување на цевководите од обраснувања.

Најприменуван метод за пречистување е со топла вода по специјална шема. Загревањето на вода се врши со бакарни плоснати електроди со моќ од 15 kW. Тие се монтираат во куќишта на филтрите. Водата се загрева до 70 °C, а потребниот проток треба да биде 10÷12 l/min. После 1,5÷2 h водата се лади до 40÷50 °C. Овие вредности обезбедуваат намалување на обраснувањата од сидовите на цевководот. После тоа цевководите се промиваат со ладна вода за отстранување на паднатите обраснувања. Овие промивања се прават 2÷3 пати годишно.

Уништување на обраснувањата може да се постигне со додавање на хлор во водата за циркулација или со други хемиски средства. Користењето на овие методи се одбегнува затоа што предизвикуваат корозија на цевководите и е потребно преземање на заштитни мерки за заштита на персоналот. За заштита од обраснувањето можат да се користат и специјални превлаки, електрохемиски заштитни мерки и обработка со ултразвук.

3.6.8. Потреба од одржување на притисок во компресорската станица

Притисокот на воздухот во собирниците за воздух на компресорите потребно е автоматски да се одржува во определени граници. При постигнување на максималниот дозволен притисок, се дава соодветен сигнал.

Собирниците на воздух на компресорите на ХЕЦ служат за обезбедување на компримиран воздух за голем број технолошки процеси и операции.

Компримиран воздух се користи во следните процеси:

- воздушните склопки кај резервоарите за масло на уредот за подмачкување и кочење на хидроагрегатот,
- отсисување (одведување) на вода од работното коло при премин на хидроагрегатот во режим на синхрон компензатор,
- продувување на уредите за затворање на водените сливови и др.

Компримиран воздух се користи во следните операции:

- за работа на пневматските инструменти,
- чистење на постројката,
- бојадисување и др.

Кај ХЕЦ се користат два системи за компримиран воздух:

- со низок притисок до 8 bar,
- со висок притисок од 20 bar,
- во исклучоци и од 60 bar.

Процесите кај кои се користи компримиран воздух, бараат обезбедување на автоматско одржување на потребниот притисок. На пример работата на уредот за подмачкување не е можна без одржување на потребниот притисок на компримираниот воздух. Ако, притисокот на воздухот во резервоарот за масло во уредот за подмачкување е понизок, тогаш резервоарот се исполнува со несоодветна количина на масло. Одведувањето на вода од работното коло при промена на режимот на хидроагрегатот во режим на синхрон компензатор, не може да се изведе при доведување на компримиран воздух со понизок притисок.

За контрола и одржување на потребниот притисок се користат специјални давачи на притисок и апаратура за автоматско вклучување на компресорите. Во случај на намалување на притисокот под минималниот дозволен се вклучува предупредувачки сигнал за неисправност во системот за снабдување со воздух.

Дозволената промена на притисокот во собирниците на компресорот при работа на системот за компримиран воздух, изнесува $1 \div 3$ bar.

Резервоарите на собирниците за воздух треба да ги задоволат барањата и стандардите на садовите под притисок.

3.6.9. Капитален ремонт на хидротурбина

Капитален ремонт на хидротурбините се прави еднаш на 4÷6 години. Капиталниот (а исто така и тековниот) ремонт на хидротурбините се спроведува во согласност со правилникот за техничка експлоатација. Обемот на ремонтните работи и должината на ремонтот се пропишани во инструкциите за организација на ремонти на електроцентралите и електричните мрежи.

Обемот на работи кај капиталниот ремонт на хидротурбините се определува во однос на оценка на состојбата и надежноста на одредени јазли на постројката, резултатите од визуелната контрола и испитувањата на постројката, како и одредени показатели од претходните ремонти.

Типскиот обем на капиталниот ремонт на хидротурбината е:

- разработка, набљудување, чистење, ремонт на потрошените и скршените делови и механизми на основните и помошните уреди (лежишта, клапни за вакуум, спроводниот уред и сервомоторот, турбинските вентили, работното коло со лопатките кај Каплановата турбина, коморите на работното коло, спиралната комора и одводниот цевковод, системот за регулација на хидротурбината и уредот за подмачкување, системот за кочење, системот за снабдување со масло, воздух, вода и др.),
- проверка на портите на хидротурбината и механичкиот дел на хидроагрегатот,
- проверка на лежиштата,
- ремонт на бетонските површини на проточниот дел од хидротурбината,
- антикорозивно премачкување на металните конструкции,
- боене на основните и помошните постројки,
- дотерување на системот за регулација,
- испитување на хидроагрегатот при празен од и под оптоварување.

За оценка на ефективноста на извршениот ремонт, служат показателите на состојба пред и по завршувањето на ремонтот.

За време на ремонтот потребно е да се избегнуваат непотребни расклопувања на делови, затоа што расклопувањето и склопувањето можат да доведат до влошување на состојбата на делот. Посебно тоа се однесува на лежиштата, хидромеханичките делови на регулаторот на бројот на вртежите, спроводниот уред, механизмот за завртување на лопатките на работното коло на Каплановата турбина и дијагоналните турбини.

При реконструкција и модернизација на постројката, како што е промената на лопатките на работното коло, антикавитациското превлекување на комората на работното коло, замена на намотките на статорот на хидроагрегатот и др., должината на капиталниот ремонт може да е поголема.

Разлики во должината на периодот на изведување на ремонтот на различни ХЕЦ зависи од:

- различната работа на хидроагрегатите во текот на годината,
- различната надежност на постројката и
- условите при работа.

Должината на ремонтот особено зависи од интензивноста на кавитациско абразивните ерозии на проточниот дел на хидротурбината. Во зависност од овој интензитет се наголемува обемот на ремонтните работи.

Одложувањето на ремонтот може да предизвика нарушувања на проточниот дел на хидротурбината со што се намалуваат енергетските карактеристики на турбината (се намалува КПД, се наголемува потрошувачката на вода во однос на производството на електрична енергија), што доведува до намалено производство на електрична енергија на ХЕЦ. Затоа, времето на одложување на ремонтот (меѓурементниот период) треба да се определува по критериумот минимални сумарни загуби и вкупни влошувања на енергетските показатели на хидротурбината.



Сл. 3.23. Ремонт на работно коло на Пелтонова и Капланова турбина.

Важно влијание за определување на периодот меѓу капиталните ременти претставува продолжениот период на искористување на постројката. Тој период треба да изнесува најмалку 4 години или 24000 работни часа. Обично хидроагрегатите работат со помал број на работни часови, затоа периодот меѓу два ременти треба да е поголем од 4 години.

4

ОДРЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА НУКЛЕАРНИ ПОСТРОЈКИ

Во својата суштина експлоатацијата и одржувањето на нуклеарните постројки има низа специфичности поради карактеристичната работа на нуклеарните реактори. Парнотурбинскиот дел и дополнителната опрема кај овие постројки не се разликува по концепција од класичните термоенергетски постројки.

4.1. ВИДОВИ И СПОРЕДБА НА НУКЛЕАРНИТЕ РЕАКТОРИ

Нуклеарен реактор е уред во кој се одвиваат нуклеарни верижни реакции. Реакциите во реакторот се иницираат, контролираат и одржуваат во стабилна состојба, што е спротивно на нуклеарната бомба кај која не постои контрола и одржување на процесот. Нуклеарните реактори се користат за многу цели, но најважна е нивната употреба при производството на електрична енергија.

Во последните неколку декади се развиени многу видови на реактори. Притоа се испитани огромен број на комбинации од горива, модератори, разладни флуиди и голем број на конструктивни решенија. Меѓутоа, за нивна класификација потребно е најпрво да се одвојат меѓу себе на две главни групи: фисиони и фузиони. Овде ќе биде разгледана само првата главна група, затоа што сите сегашни комерцијални реактори се базираат на нуклеарната фисија.

Фузионите реактори сеуште се во рана фаза на развој и постојните проекти на тоа поле не се наменети за комерцијални енергетски постројки. Постојат и други уреди во кои се одвиваат контролирани нуклеарни реакции. За пример можат да се земат радиоизотопските термоелектрични генератори кои генерираат топлинска и електрична енергија со пасивно радиоактивно распаѓање или Фарнsvорт-Хиршовите фузори, во кои со контролирана нуклеарна фузија се произведува неутронско зрачење.

Фисионите реактори можат да се поделат на две класи, во зависност од енергијата на неутроните кои се користат при иницирањето и одржувањето на верижната нуклеарна реакција, на:

Термални реактори, во кои се користат бавни неутрони за иницирање и одржување на реакцијата. Се карактеризираат со употреба на модератор за успорување на неутроните се додека тие не ја достигнат средната кинетичка енергија на околните честички, т.е. се додека не се термализираат. Околните честички се всушност горивото кое се користи при фисијата, а со изедначувањето на кинетичките енергии тоа добива моќ на апсорпција на неутрон. Термалните неутрони имаат многу поголема веројатност да бидат апсорбирани од страна на фисиониот материјал, отколку брзите. Тоа е нивната предност како класа, бидејќи кај нив може да се користи природен уран како гориво. Повеќето реактори во светот се од овој тип.

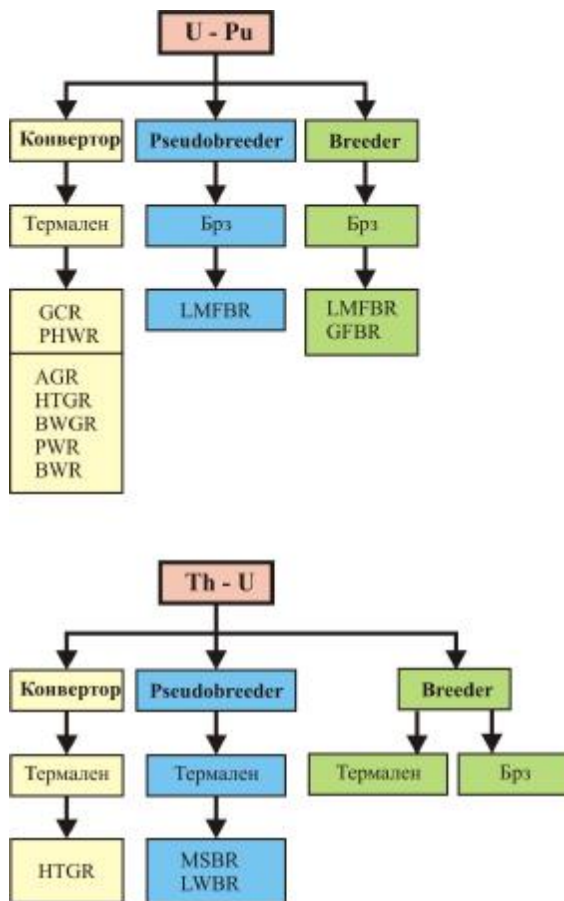
Брзи реактори, кај кои не е потребен модератор, бидејќи при процесот се користат брзи неутрони. За реакцијата да биде успешна, овој тип на реактори бара високо збогатен уран или плутониум како гориво. Интересно е тоа што некои реактори произведуваат повеќе гориво отколку што трошат, со претворба на U-238 во Pu-239, во самиот процес. Овој тип на реактори има повеќе недостатоци во однос на термалните, поради што поретко се користи.

Во следната табела се прикажани меѓународните ознаки на различни типови на енергетски нуклеарни реактори во зависност од модераторот и средството заладење:

Таб. 4.1. Типови на енергетски нуклеарни реактори:

Ознака	Тип реактор	Модератор	Сред. за ладење
GCR	Gas cooled Graphite moderated	C	CO ₂
AGR	Advanced Gas cooled Graphite moderated	C	CO ₂
HTGR	High Temperature Gas cooled Graphite moder.	C	He
LWGR	Light Water cooled Graphite moderated	C	H ₂ O
PWGR	Pressurized Light Water cooled Graphite moder.	C	H ₂ O
BWGR	Boiling Light Water cooled Graphite moderated	C	H ₂ O v
MSGR	Molten Salt cooled Graphite moderated	C	Соли
MSBR	Molten Salt cooled Graphite moderated Breeder	C	Соли
LMGR	Liquid Metal cooled Graphite moderated	C	Течен метал
HWR	Heavy Water moderated	D ₂ O	Различно
PHWR	Pressurized Heavy Water moderated and cooled	D ₂ O	D ₂ O
BHWR	Boiling Heavy Water moderated and cooled	D ₂ O	D ₂ O v
HWLWR	Heavy Water moderated Light Water cooled	D ₂ O	H ₂ O
HWBWR	Heavy Water mod. Boiling Light Water cooled	D ₂ O	H ₂ O v
HWGCR	Heavy Water moderated Gas cooled	D ₂ O	CO ₂
HWOCR	Heavy Water moderated Organic cooled	D ₂ O	Органско
LWR	Light Water moderated and cooled	H ₂ O	H ₂ O
PWR	Pressurized Light Water moderated and cooled	H ₂ O	H ₂ O
BWR	Boiling Light Water moderated and cooled	H ₂ O	H ₂ O v
LWBR	Light Water moderated and cooled Breeder	H ₂ O	H ₂ O
OMR	Organic moderated and cooled	Орг.	Органско
SZR	Sodium cooled Zirconium Hydride moderated	ZrH ₂	Na
FBR	Fast Breeder	-	Различно
LMFBR	Liquid Metal cooled Fast Breeder	-	Na
GFBR	Gas cooled Fast Breeder	-	He
SFBR	Steam cooled Fast Breeder	-	H ₂ O p

v- вриење, p – пара, R – реактор



Сл. 4. Енергетски нуклеарни реактори кои работат на уран-плутониумски и ториум-урански горивен циклус.

Можни се поголем број на физички комбинации на различни типови на реактори со модератори и средства за ладење, но сите не ги постигнуваат потребните технички карактеристики и барања. На пример, кај брзиот pseudobreeder кои работи со збогатен уран или брзиот breeder ладен со пара како средство за ладење се постигнува предолго време на распаѓање. Комбинациите на графитен реактор ладен со тешка вода или лесноводен реактор ладен со натриум се неповолни и физички лоши комбинации. Бројот на комбинации за вистинска реализација на енергетски нуклеарени реактори и не е толку голем (сл. 4.).

Во светската енергетска пракса најчесто се применуваат следните комбинации на модератор и средство за ладење:

Уран-плутониумски горивен циклус:

- графит-гас (GCR, AGR, HTGR),
- графит-лесна вода (PWR, BWR),
- тешка вода-тешка вода (PHWR),
- брзи реактори ладени со натриум (LMFBR).

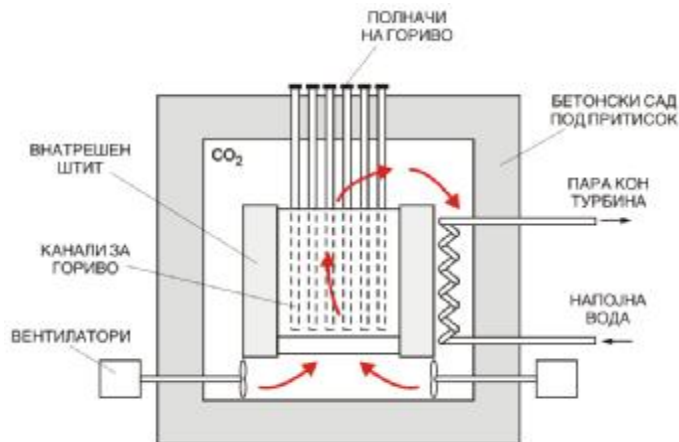
Ториум-урански горивен циклус:

- графит-гас (HTGR),
- графит-растопени соли (MSBR),
- лесна вода-лесна вода (LWBR).

Покрај тоа што постојат многу видови, како конкретни конструктивни решенија кои наоѓаат комерцијална употреба, може да се издвојат неколку видови на реактори.

4.1.1. Реактори со гасно средство за ладење

Реакторите со гасно средство за ладење (сл.4.1.), користат графит како модератор и инертен гас како средство за ладење. Нивна голема предност е тоа што разладното средство може да се загрее на повисоки температури од водата, што резултира со поголем коефициент на полезно дејство.



Сл. 4.1. Скица на реактор со гасно средство за ладење.

Реакторите од овој тип се најстари реактори (прв реактор во светот, Fermiо реактор CP-1, USA, 1942). Како ладилно средство најпрво се користел воздух, а покасно CO₂. Поради помалиот премин на топлината низ гасовите се појавуваат потешкотии при хавариско подладување на реакторот, односно хавариско запирање на реакторот.

4.1.1.1. “Магнокс” реактори (Magnox Gas cooled Reactor, MGR)

Магнокс реакторите се со гас ладени термални реактори кои користат графит како модератор, јаглероден диоксид како средство за ладење и природен уран како гориво. Развиени се во Франција и Велика Британија, каде се изградени голем број такви реактори, главно за производство на плутониум за секундарна енергетска намена. Името го добиле според магнезиумовата легура со која се обложуваат горивните уранови стапови. Овој концепт е напуштен поради малиот коефициент на полезно дејство (помал од 30 %) и големите инвестициони вложувања. Еден таков реактор има во Италија, а неколку во Јапонија и Република Кореја.

4.1.1.2. Подобрени реактори (Advanced Gas cooled Reactor, AGR)

Овој тип на реактори е развиен во Велика Британија како наследник на Магнокс типот. Се разликуваат по тоа што облогата на горивните стапови е од нерѓосувачки челик, што дозволува повисоки температури во реакторот без ризик од хемиска реакција меѓу горивото и модераторот. Како резултат на тоа се постигнуваат повисоки термички параметри на парата, што поволно се одразува врз ефикасноста на постројката. Овој тип на реактори, иако подобрен, наследува некои недостатоци од својот претходник, пред сè во поглед на техно-економскиот биланс. Покрај тоа, користи малку збогатен уран како гориво, што наметнува инсталирање на постројки за пречистување.

4.1.1.3. Реактори со хелиум како средство за ладење (Helium Type Gas cooled Reactor, HTGR)

Овој тип на реактори претставува следен чекор во подобрувањето на концептот на ладење со гас. Во овој случај наместо CO_2 се користи хелиум (He) како средство за ладење, кој е поефикасен. За разлика од претходниците, овој тип користи високо збогатен уран U-235 (93 %) помешан со ториум. По апсорпцијата на неутрони, ториумот се претвора во U-233 кој е фисибилен. Високите параметри на гасот, се причина за постигнување на висока ефикасност и можност од употреба на гасна турбина со директно искористување на гасот од ладилникот. Ова решение има недостаток во тоа што гасот од радиоактивниот ладилник се користи како работно тело и потребно турбината да се стави во биолошкиот штит. Сепак, поради високиот коефициент на полезно дејство на процесот, овој тип на реактори претставува перспективна насока за развој на нуклеарните реактори.

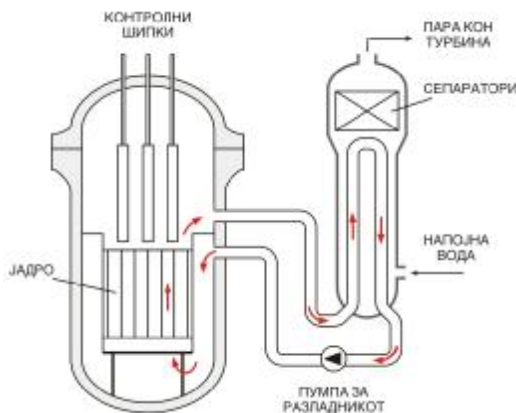
4.1.2. Реактори со вода како средство за ладење

4.1.2.1. Реактори со вода под притисок како средство за ладење (Pressurized Water Reactor, PWR)

Овој тип на реактори е најраспростанет во светот. Во Козлодуј, соседна Бугарија, има 6 постројки со вакви реактори со инсталирани 3,7 GWe електрична енергија. Исто така, овој тип на реактор е инсталиран во нуклеарната централа Кршко во Словенија, а произведува околу 2,4 GWh електрична енергија. Козлодуј задоволува 44 % од бугарските енергетски потреби, а Кршко 25 % од словенските и 20 % од хрватските потреби.

Развојот на PW реакторите се должи на истражувањата за погон на подморници во војната индустрија на САД. Кај него, обична вода се користи и како средство за ладење и како модератор. Горивото е во форма на снопови на збогатен UO_2 во форма на стапови со квадратна основа, обложени со легура од циркониум или нерѓосувачки челик. Од сл. 4.2. може да се види дека јадрото на реакторот е поставено во голем челичен сад. Вода за ладење е со притисок од околу 14 MPa и со помош на надворешни циркулациони пумпи се носи во реакторот, каде поминува низ горивните снопови од кои ја одзема топлината и ја предава во топлинските изменувачи (генератори на пара), од каде повторно се враќа во реакторот. Во секундарниот круг произведената сувозаситена пара во генераторот за пара, под притисок од околу 5 MPa, оди во парната турбина на експанзија. КПД на реакторот е 30%.

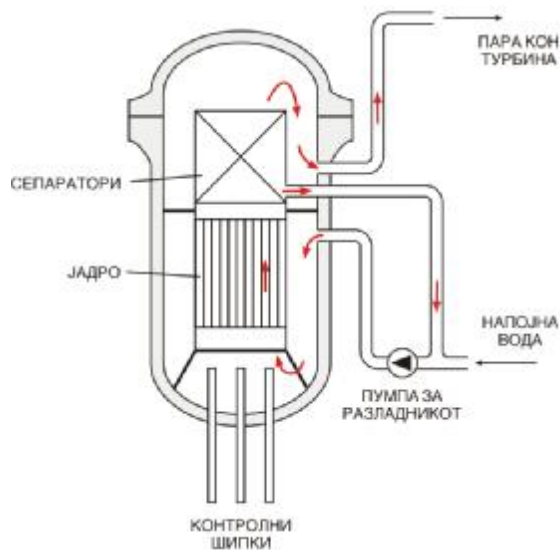
При полнење на реакторот со ново гориво, тој мора да се запре, олади и декомпресира. Полнењето на реакторот е обично еднаш годишно, но тој период може да се зголеми со користење на високо збогатен U-235.



Сл. 4.2. Скица на реактор со вода под притисок како ладилно средство.

4.1.2.2. Реактори со вода што врие како средството за ладење (Boiling Water Reactor, BWR)

Веднаш после PWR реакторите, во светот најприменувани се BWR реакторите. Тие два типа се по многу нешта слични меѓу себе. Главната разлика ја открива самото име - кај BW реакторите е дозволено вриење на водата за ладење во самиот реактор. На тој начин, водата за ладење се јавува во две фази, а парата од водата се одвојува со центрифугални сепаратори (одвојувачи) и при приближно 7 МРа се носи кон турбината (сл.4.3.). И кај овој тип на реактори потребно е сместување на турбината внатре во биолошкиот штит, бидејќи парата е радиоактивна. Сепак, по гасењето постројката сама се деконтаминира, па како негативна особина останува само непристапноста до турбинскиот дел за време на работата. Најмногу вакви реактори има во Јапонија, околу 30.

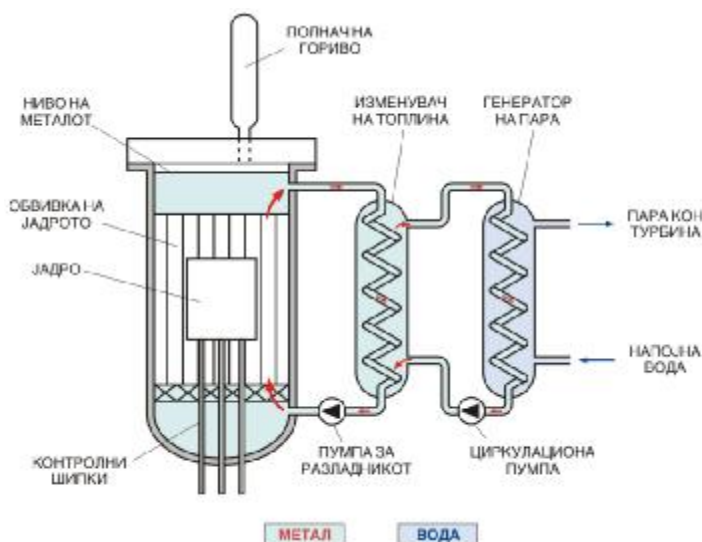


Сл. 4.3. Скица на реактор со дозволено вриење на ладилното средство.

4.1.3. Брзи оплодувачки реактори со течен метал како средство за ладење (Liquid Metal cooled Fast Breeder Reactor, LMFBR)

Сите претходно опишани комерцијални типови на реактори се од термален тип, т.е. процесот на фисијата на горивото се иницира и одржува со бавни неутрони. Како што е претходно кажано постојат и реактори кои

користат брзи неутрони. Кај нив се користат високо збогатени горива како што се уран-235 и плутоним-239. При едно распаѓање, во овие реактори се произведуваат најмалку два неутрони, од кои еден се користи за следното распаѓање во веригата, а еден може да биде апсорбиран од страна на U-238, произведувајќи фисибилен Pu-239. Значи може да се произведува фисибилен материјал за гориво со иста брзина со која што се троши. Тоа е всушност оплодување на горивото или “Breeding”. Но бидејќи се произведуваат повеќе од два неутрони при едно распаѓање, односно се произведува дури и повеќе гориво отколку што се троши. Реакторите кои што работат на овој принцип, во последно време привлекуваат голем интерес и се атрактивни за инвестирање. Тие нудат еден одличен концепт во поглед на искористување на горивото. Од природниот уран само 1 % е фисибилен, но останатите 99 % можат да станат фисибилни ако се конвертираат во Pu-239 во самиот реактор, на претходно опишаниот начин.



Сл. 4.4. Скица на реактор со течен метал како ладилно средство.

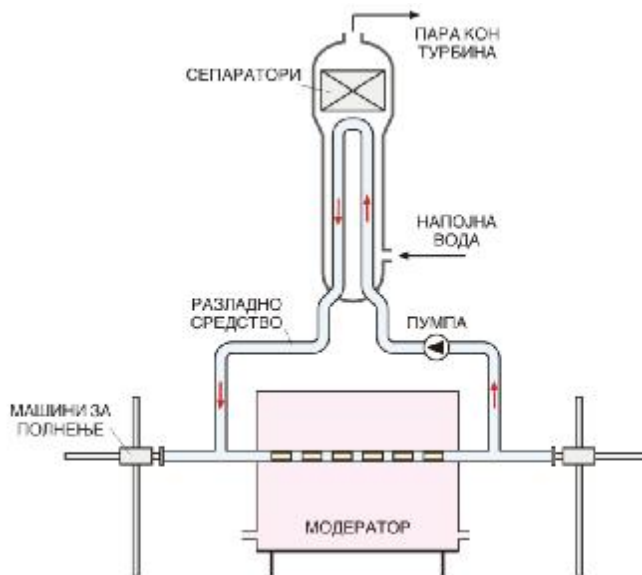
На сл.4.4. е даден шематски приказ на LMFB реактор. Јадрото на реакторот се состои од компактно спакуван сноп од стапови, изработени од високо збогатен уранов (U-235) или плутонов (Pu-239) оксид, обложени со метал отпорен на високи температури. Околу јадрото се поставуваат стапови од плутониумов оксид, кој го апсорбира вишокот неутрони произведени во јадрото. Јадрото и обвивката се ладат со течен натриум, а одзема топлината се предава во примарните топлински изменувачи. Овие изменувачи користат исто така течен натриум како средство за ладење, кој топлината ја предава во

секундарните изменувачи, на водата. Целта од инсталирање на дополнителна натриумова контура е да обезбеди комплетна изолација на водниот тракт кој минува низ турбината и може да ја контаминира околината, но и спречува евентуално онечистување на течниот натриум со вода. И покрај постоењето на “меѓуконтура”, оперативната температура на реакторот е доволно висока за да се добијат одлични параметри на парата на влезот во парната турбина (16,5 МПа, 540 °С).

На развојот на брзите реактори највеќе работат Велика Британија, САД, Јапонија и Индија, во моментот, неколку истражувачки центри, главно во САД, Велика Британија и Индија, вршат дополнителни истражувања на овој тип на реактори. Изградбата на LMFBR реакторите бара големи техно-економски капацитети, но со одличните работни перформанси тие се наметнуваат како иднина на фисионата нуклеарна енергетика.

4.1.4. CANDU реактор (Canadian Deuterium Uranium)

CANDU реакторите претставуваат реактори кои користат тешка вода како модератор и природен уран како гориво. Како средство за ладење можат да се употребат неколку различни материји. Овој тип на реактори е развиен во Канада, која е една од водечките земји во областа на нуклеарната енергетика.



Сл. 4.5. Скица на CANDU реактор.

Реакторот е составен од сноп канали во кои се става горивото, низ кои под висок притисок се внесува средството за ладење. Горивото се поставува во горивни стапови (канални) од циркониумска легура (Zircaloy), составена од најголем дел на циркониум и помал дел на олово, хром, никел и други подобрувачки компоненти. Како модератор се користи тешка вода. Средството за ладење ја одзема топлината од реакторот и ја предава во генераторите на пара. CANDU реакторот се карактеризира со висок однос на произведена енергија за потрошен килограм на гориво, а една од неговите најголеми предности е промената на потрошеното гориво со ново гориво, без да се запре работата на постројката. Постојат повеќе видови и изведби на овие реактори, во однос на видот на средството за ладење, прикажани во наредниот текст.

4.1.4.1. CANDU реактор ладен со тешка вода под притисок (Pressurized Heavy Water cooled Reactor, PHWR)

Оваа изведба користи хоризонтално поставен реактор, гледано во однос на поставеноста на горивните канали (сл.4.5.). Кај CANDU 6 реакторот, средството за ладење (тешка вода) со пумпа се доведува до горивните канали под притисок од околу 10 МПа и температура од околу 250 °С. Откако средството за ладење ќе ја одземе топлината од реакторот, неговата температура на влезот во изменувачот (генераторот на пара) изнесува над 300 °С, а по предавањето на топлината се намалува на 250 °С. Во изменувачот се произведува пара со параметри 260 °С и 5 МПа со кои влегува во парната турбина, а напојната вода во генераторот на пара влегува со температура од 175 °С.

4.1.4.2. CANDU реактор ладен со обична вода со дозволено вриење (Boiling Light Water Reactor, BLWR)

Целата конструкција во основа е иста со онаа на претходно опишаниот ВВ реактор. Како средство за ладење се користи обична вода. Се работи за директен циклус, што значи во парната турбина влегува радиоактивна пара, а тоа наметнува сместување на турбинскиот дел внатре во биолошкиот штит. Водата минува низ горивните канали каде што е сместено горивото и одзема топлина од него. Дел од неа (околу 18 %) испарува, а потоа фазно се одвојува парниот од течниот дел во сепаратор за фазно одвојување. Одвоената пара се води кон турбината, на истиот начин како и кај останатите решенија.

4.1.4.3. CANDU реактор со органски флуид како средство за ладење (Organic fluid Cooled Reactor, OCR)

Овој концепт се заснова на органски флуид како средство за ладење, во типична PHWR конструкција. Во Канада постои еден таков експериментален реактор (WR-1-CANDU-OC experimental reactor), независна одвоена конструкција без инсталирана турбина, а произведената топлинска енергија се предава на околината.

Во светот постојат повеќе комерцијални нуклеарни постројки кои користат CANDU реактори. Покрај Канада, каде што има вкупно 22 реактори со вкупна моќност од на 16 GW, има 1 во Аргентина (650 MW), 1 во функција и 2 во план во Романија (2,1 GW), 4 во Јужна Кореја (2,8 GW), 2 во Кина (1,5 GW), 2 во Индија (440 MW), и 1 во Пакистан (125 MW).

4.1.4.4. Споредба помеѓу CANDU и другите типови реактори

Најпрво, добро е да се направи споредба помеѓу трите CANDU конструктивни решенија. Од нив, PHW реакторот се наметнува пред BLW како поприфатлив поради одвоеноста на ладилниот тракт со парниот, а OCR е сеште во експериментална фаза. Затоа концептот со тешка вода како средство за ладење ќе биде употребен како претставник за споредба. Главни конкуренти на CANDU се реакторите ладени со обична лесна вода (PWR и BWR), а во иднина и во постојан развој брзите оплодувачки реактори ладени со течен метал.

CANDU PHW реакторот е покомпактен, во однос на оние кои користат лесна вода, што ги намалува инвестиционите вложувања. Покрај тоа, ретки се земјите кои имаат производни капацитети за изградба на огромен лесноводен реактор. Ако се гледа од перспектива на цената на горивото, CANDU е далеку подобар избор од другите. Тој тип на реактор користи природен, непрочистен уран како гориво, што го прави атрактивен за земји во развој кои неможат да одвојат средства за изградба на скапи постројки за пречистување на горивото. За разлика од примарните производни трошоци, постојат и секундарни трошоци за збогатување на уранот. Користењето на збогатен уран бара поголеми сигурносни мерки, а веројатноста од губење на фисибилноста пред да “согори” е поголема и во тој случај како недоискористен мора да се замени со нов.

Од друга страна, кај CANDU PHW реакторите постојат инвестициони трошоци за изградба на хемиски постројки за производство на D₂O (тешка вода) и трошоци при нејзиното прочистување. Овој тип на реактор бара висо-

ка чистота на тешката вода (над 99,75 %), во големи количини за исполнување на реакторот.

Треба да се нагласи дека, кај сите типови реактори постојат варијации во трошоците кои потекнуваат од менаџирањето на постројката. Исто како и кај сите организации, правилното водење на нуклеарната постројка може да донесе огромни заштеди. Од техничка гледна точка, тоа главно се однесува на решавањето на проблемот со радиоактивниот отпад и можноста од понатамошна употреба на искористените материјали. Кај CANDU PHWR, економичноста на постројката се зголемува, затоа што истечената количина на тешка вода не се смета за расход, туку таа може да се искористи (препродаде) за други цели, особено поради тоа што содржи одреден процент на тритиум, создаден при апсорпцијата на неутрони. Тритиумот (Т или ^3H) е радиоактивен изотоп на водородот, кој се употребува како додаток на фосфорот при изработка на светлечки површини. Тој претставува одлична замена за канцерогениот радиум.

Дизајнот на CANDU реакторите овозможува континуирано менување на искористеното гориво со ново, без запирање на работата на реакторот. Постојката која користи такви реактори има голема предност при експлоатација. Покрај тоа, модераторот и средството за ладење имаат релативно ниска температура и притисок, што е многу поволно при евентуална хаварија и можност од појава на експлозија. Затоа и контролната опрема е помалку комплексна од онаа кај другите типови на реактори. Ниските параметри значат и подолг работен век на реакторот. Голема предност е и лесната замена на горивните канали, што може да се направи без запирање на реакторот.

При евентуално исцрпување на резервите на уран, CANDU може да работи и со природен ториум. Покрај тоа, при работа со помала ефикасност, може да “согори” и нуклеарен материјал користен кај атомските оружја, како на пример плутониумот. Наместо, плутониумот да се користи за производство на оружје, подобро е да се користи за мирнодопски цели.

Геометријата на реакторот кај CANDU реакторите е од особено значење за одржувањето на верижната реакција. При евентуално топење и деформирање на неговите делови, се исклучуваат условите за самоодржувачка верижна реакција и се запира работата на реакторот, со што се спречува хаварија на постројката.

4.1.5. Нуклеарна парнотурбинска постројка со CANDU PHW реактор

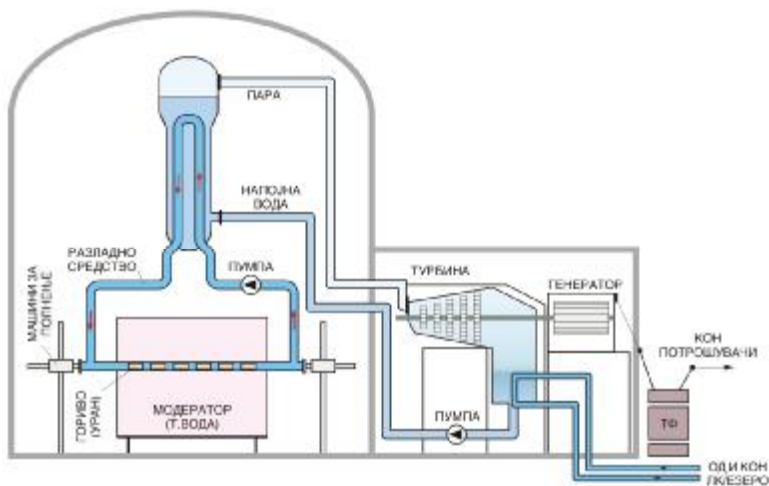
Нуклеарните термоцентрали кои користат CANDU реактор се двоконтурни парнотурбински постројки за производство на електрична енергија.

Средството за ладење на реакторот и работниот флуид немаат меѓусебен допир, со што се избегнува контаминацијата на надворешната околина. Првата контура ја сочинува кругот на средството за ладење, а втората пароводниот круг (топлински круг).

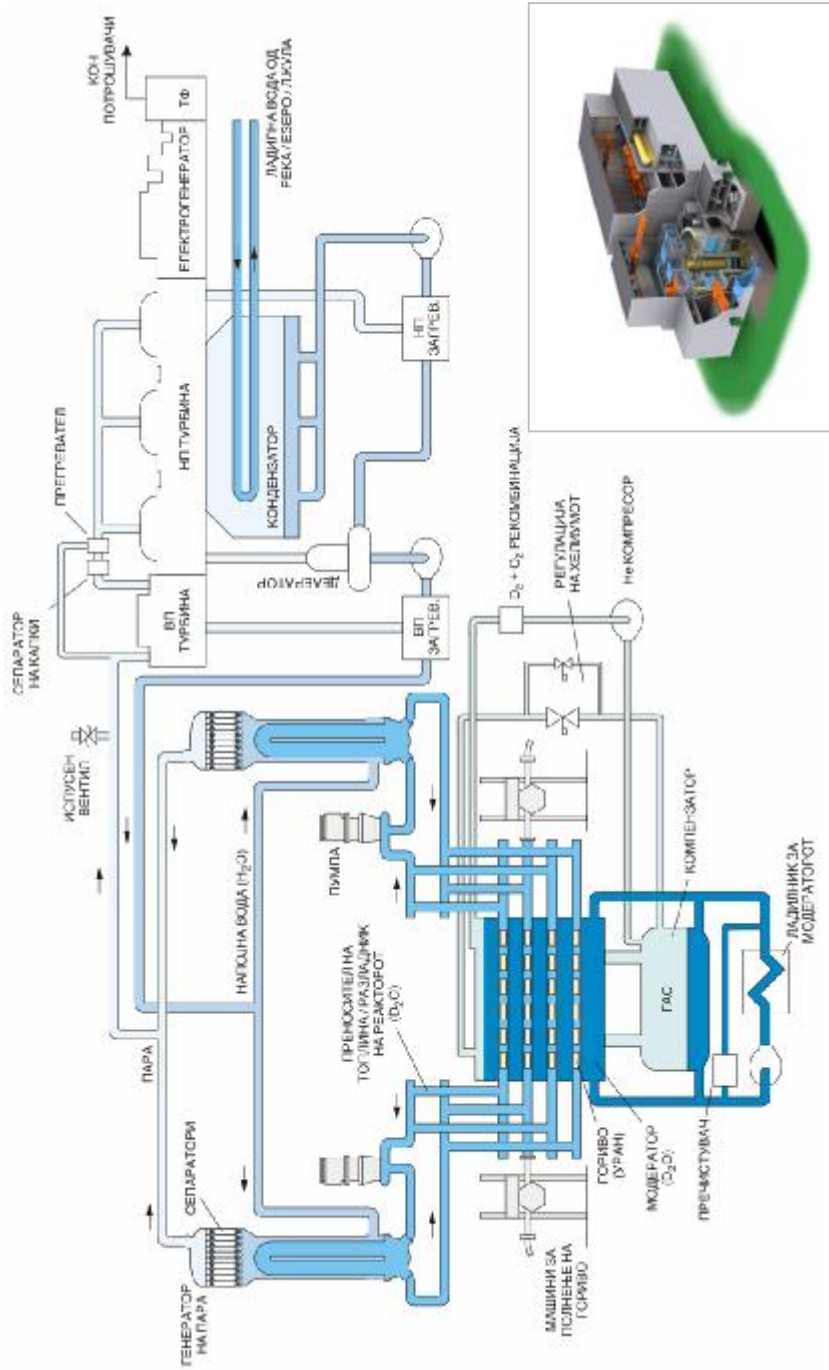
Реакторот е всушност сноп на канали во кои се става горивото, низ кои под висок притисок се внесува средството за ладење. Горивото е обложено со цирк-легура, составена од најголем дел на циркониум и помал дел на олово, хром, никел и други компоненти за подобрување. Целиот реактор е исполнет со тешка вода, која служи како модератор. Како гориво се користи природен уранов оксид, од кој со нуклеарна фисија се генерира топлина. Средството за ладење ја одзема топлината од реакторот и ја предава во генераторите на пара. Понатаму циклусот се изведува идентично како и кај класичните ТЕП (парнотурбински постројки) на фосилни горива.

CANDU реакторот се карактеризира со висок однос на произведена енергија за потрошен килограм на гориво, а една од неговите најбитни предности е заменувањето на потрошеното гориво без да се запре работата на постројката.

Средството за ладење одземајќи ја топлината од реакторот и предавајќи ја во генераторите на пара, претрпува промени на специфичниот волумен, кои во контурата се компензираат со поставување на компензатори со нерастворлив гас. Циклусот на првата контура по предавањето на топлината во генераторите на пара се затвора со враќањето на средството за ладење во реакторот, што се изведува со помош на циркулациони пумпи.



Сл.4.6. Проста технолошка шема на CANDU PHW постројка.



Сл. 4.7. Детална технолошка шема на SANDU PHW постројка.

Во втората контура кај CANDU постројките кружи обична вода, која испарува во генераторите на пара и се носи кон високопритисниот дел на турбината. Парата во високопритисниот цилиндар од турбината експандира, односно извршува механичка работа. Од високопритисниот дел парата се носи во среднопритисниот дел на турбината, но претходно се прави нејзина сепарација во сепараторот за пара (одвојување на евентуалниот течен дел) и прегревање во прегревачот на пара со помош на свежа пара од генераторот за пара (добивање на пара со висока температура).

По излезот од среднопритисниот дел (цилиндар) на турбината, парата оди во нископритисниот дел на турбината каде се доизработува. Во него таа повторно експандира до кондензаторски притисок со гранична влажност од 12 %. Експандираната пара се кондензира во кондензаторот, со помош на разладната вода од ладилна кула, езеро, река и др. По излезот од кондензаторот, кондензатот се загрева во нископритисните загреватели со помош на пара одземена од нископритисниот дел на турбината и загреан оди во дегасаторот. Во дегасаторот, од водата (кондензатот) се отстрануваат сите гасови што не можат да се кондензираат. Дегасираниот кондензат дополнително се загрева во високопритисните загреватели и загреан со помош на напојни пумпи се враќа во генераторите на пара. На тој начин се затвора циклусот на втората контура.

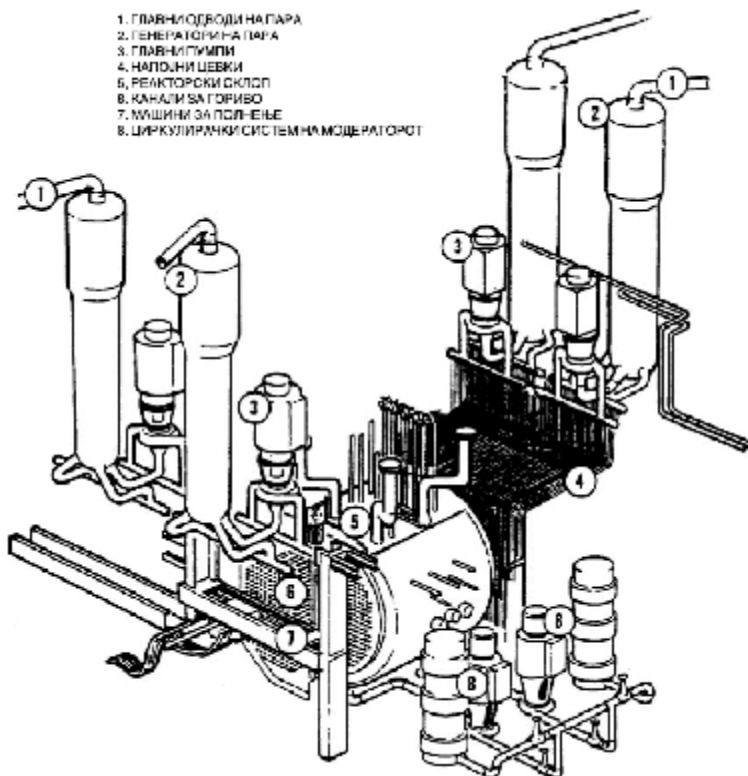
Помеѓу двете контури е поставен заштитен ѕид, односно биолошки штит, со кој се спречува контаминација на работниот персонал и околината. При потреба од интервенции во контаминираниот дел, постројката се запира, се деконтаминира и потоа се дозволува влез на луѓе. На сл.4.6. е претставена проста технолошка шема на постројка со CANDU реактор со ладилно средство тешка вода под притисок (PHWR).

Во бетонското своно, кое служи како биолошки штит, се сместени реакторот, машините за полнење на реакторот со гориво, генераторите на пара и системот на модераторот. Турбинскиот дел и неговите елементи се поптолно одвоени и се исти како кај парнотурбинските постројки на фосилни горива. Подетална технолошка шема на нуклеарна постројка е прикажана на сл.4.7.

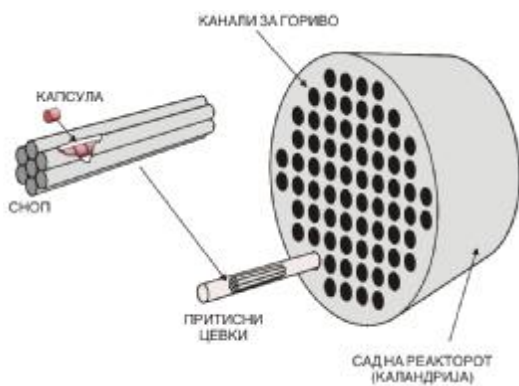
4.1.5.1. Конструкција на реакторот

Во наредниот текст е опишано едно од повеќето конструктивни решенија на реактор развиен од страна на Канадските развојни тимови, односно CANDU PHW реактор, инсталиран во поголем број постројки во светот.

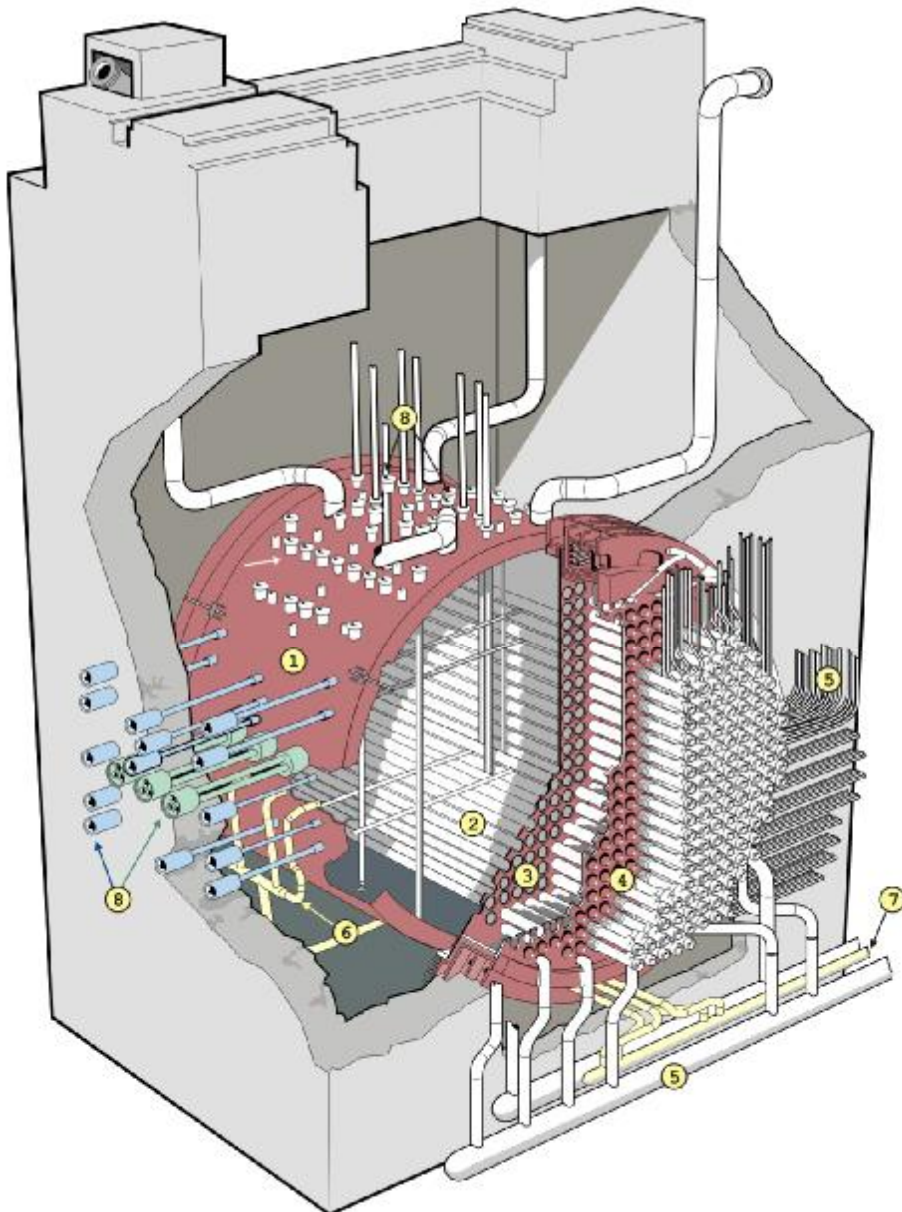
На сл.4.8. се прикажани основните елементи на целиот реакторски дел на постројката, а на сл. 4.10. е претставен детален поглед на реакторот.



Сл. 4.8. Реакторски дел од постројката.



Сл. 4.9. Сад на реакторот (Каландрија).



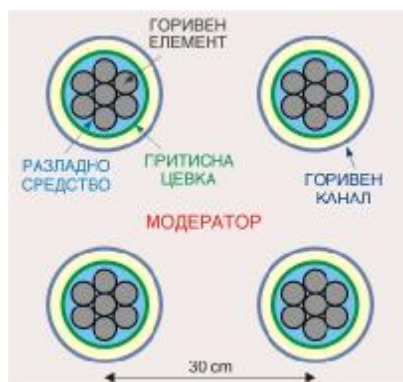
1. САД НА РЕАКТОРОТ (КАЛАНДРИЈА), 2. ГОРИВНИ КАНАЛИ, 3. РЕШЕТКА, 4. ПОЛНАЧИ НА ГОРИВО,
 5. ЦЕВКИ ОД РАЗЛАДИШТ СИСТЕМ, 6. ДОВОД НА МОДЕРАТОР, 7. ОДВОД НА МОДЕРАТОР,
 8. УПРАВУВАЧКА И КОНТРОЛНО-МЕРНА ОПРЕМА

Сл. 4.10. CANDU PHW реактор.

Основни кругови на реакторот се круговите на горивото, модераторот и средството за ладење. CANDU реакторот користи природен уранов оксид како гориво и тешка вода како модератор и средство за ладење. На сл. 4.9. е прикажан начинот на полнење на горивото во садот со горивни канали.

Кај CANDU PHW реакторите се користи U-238 како гориво, кој претставува најголем дел од урановата руда која се наоѓа во природата. Горивото е во форма на капсули, кои се ставаат во долги кошулки со тенки сидови. Кошулките се врзани во сноп и со помош на притисни цевки се ставаат во горивните канали на реакторот. Таквиот аранжман со ситни, тенки делови групирани во поголеми снопови го олеснува “бегството” на брзите неутрони од горивото.

Цевките под притисок во кои се става горивото, овозможуваат ладилното средство да остане во течна фаза при повисок притисок, со што се избегнуваат големите трошоци за изградба на едноделна притисна комора. Каналите за гориво се на меѓусебно растојание од 30 cm, а со должина од 6 m. На сл.4.11. е прикажана нивната поставеност:



Сл. 4.11. Поставеност на горивните канали.

Кошулиците во кои се ставаат капсулите од уран оксид се изработени од легура од 98 % циркониум и 2 % калај. „Pickering“ реакторите имаат 28 горивни канали.

Верижноста на фисијата ја овозможуваат неутроните кои се продукт на самиот процес. Тие неутрони се брзи и неадекватни да иницираат понатамошно распаѓање на горивото, бидејќи имаат мала веројатност да бидат апсорбирани од страна на горивото. На тој начин се оневозможува и самото нивно повторно генерирање, што значи дека процесот не е самоодржувачки. Ако на неутронот му се одземе доволно енергија преку негово забавување,

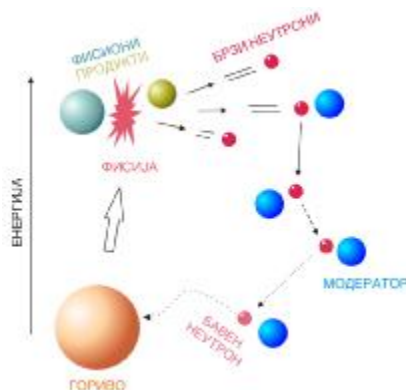
тогаш веројатноста за апсорпција расте. Забавувањето на неутронот со цел да му се наголеми веројатноста да биде апсорбиран од страна на горивото се вика термализација или модерација. За тој процес се користи медиум наречен модератор.

Најдобар модератор за да се забави еден неутрон е медиум што има иста големина како него, бидејќи ако неутронот дојде до медиум помасивен од него, тој само ќе се одбие од него, губејќи само мал дел од енергијата. Ако дојде до медиум со многу помали димензии од него, нема да биде во можност да му ја одземе кинетичката енергија под дејство на ударот. Дobar модератор мора да го забавува неутронот со што помалку колизии.

Добар потенцијален модератор е водата. Меѓутоа, кога неутрон ќе дојде до атом на водород, кој е составен од еден протон еднаков на него и еден електрон со многу помали димензии, тој ќе остане апсорбиран, односно складиран во водородот. Тоа не одговара на намерата да се забави неутронот, затоа што тој останува заробен поради способноста на обичниот водород да прими неутрон. Меѓутоа, водородниот изотоп деутериум, веќе содржи еден неутрон во своето јадро и нема можност да апсорбира уште еден, што го прави добар модератор. Ако се користи деутериум во форма на тешка вода како модератор, тогаш како гориво може да се користи природен уран.

Ако се користи обична вода, тогаш уранот мора да се збогати достигнувајќи ја формата на својот изотоп U-235. CANDU PHW реакторите користат деутериум оксид (D₂O - тешка вода) како модератор и природен уранов оксид како гориво. Како модератори можат да се користат и графит, хелиум или јаглерод диоксид. Употребата на јаглерод диоксид како модератор е позитивно од гледна точка на заштита на животната средина.

На сл.4.12. е претставена поедноставена скица на процесот на термализација (модерација) на неутроните.



Сл. 4.12. Модерација (термализација) на брзите неутрони.

Со модерацијата се овозможува и еден вид на контрола на реакторот, со која се контролира бројот на модерирани неутрони. Ако се запре или намали термализирањето, се намалуваат и условите за самоодржување на фисијата во реакторот и реакторот запира или го намалува бројот на распадна јадра во одреден период.

Тешката вода се произведува по хемиски пат, со дестилација или електролиза. Електролизата и дестилацијата се изведуваат во голем број на каскадни повторувања со голема потрошувачка на енергија, затоа подобро е да се користи некој хемиски метод за нејзино добивање. Најприменуван метод за добивање на D_2O е Гирдлер-сулфид методот, кој претставува изотопска размена меѓу H_2S и H_2O . Обичната вода содржи помалку од 200 ppm деутериум. За да се произведе еден литар тешка вода, потребни се 340000 литри лесна вода. Тешката вода се разликува според физичките својства од обичната вода. Некои од физичките својства на тешката вода се: точка на топење $3,82\text{ }^\circ\text{C}$, вриење $101,72\text{ }^\circ\text{C}$ и густина $1,1056\text{ g/ml}$ (при $20\text{ }^\circ\text{C}$).

Поради потенцијалната употреба на тешката вода при изработката на нуклеарно оружје, нејзиното производство е под контрола на Меѓународната Асоцијација за Нуклеарна Енергија (IAEA). Покрај тоа, експериментално е докажано дека при користење на вода за пиење со 25 % содржина на D_2O , се предизвикува стерилитет кај глувци и кучиња, а при 90 % таа е смртоносна за риби, црви и други помали животни.

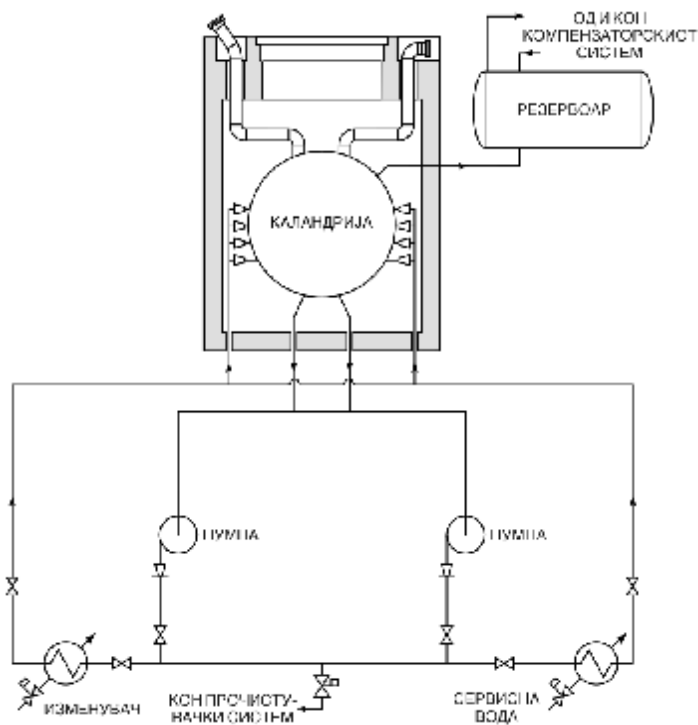
Модераторот кај CANDU реакторите содржи многу мала количина на H_2O , што ја намалува неговата апсорпција на неутрони, односно само околу 2% неутрони остануваат заробени во него. Може да се случи неутрон да биде апсорбиран и од страна на D_2O , што создава тритиум. Тритиумот се смета за загадувач на околината, а овој непожелен продукт може да се формира и при ретка апсорпција на неутрон од страна на кислород.

Шема на циркулациониот круг (систем) на модераторот е прикажана на сл.4.13. Со помош на циркулационите пумпи, модераторот циркулира преку реакторскиот сад кон изменувачите на топлина (ладилниците) каде се лади и повторно се враќа во садот. Ладењето на модераторот се изведува со обична вода (сервисна вода) со одреден проток и соодветна температура. Системот е опремен со регулациони и затворачки вентили, а со помош на компензаторскиот систем се одржува притисок повисок од атмосферскиот, со цел да се спречи навлегување на надворешни материи во модераторот. Поради тоа, истекувањето на модератор е неминовна појава и затоа во системот се поставени колектори за собирање на модераторот, кој истекува од циркулациониот круг.

За прочистување на модераторот од хемиски контаминанти и корозивни продукти се користи посебен систем за прочистување.

Ладилното средство е исто така тешка вода и има две функции:

- одведување на топлината од реакторот во генераторите на пара за производство работен флуид (пара) за парната турбина, и
- одведување на топлината од реакторот и спречување на опасноста од неконтролиран пораст на температурата и негово топење, односно (хаварија).

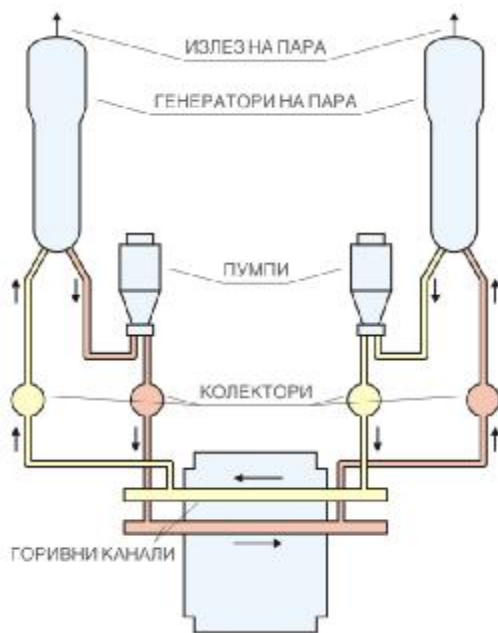


Сл. 4.13. Шема на циркуирачкиот круг (систем) на модераторот.

Основниот принцип на работа на средството за ладење е следниот: главните пумпи ја носат оладената D_2O од генераторите на пара назад до реакторот, преку главните влезови кои се разгрануваат на помали цевки за секој од горивните канали. Откако ќе одземе топлина од генераторот, средството за ладење излегува од секој од горивните канали, кои потоа се собираат во поголеми одводи кон генераторите на пара. Целиот тој круг е претставен на сл. 4.14.

Како што се гледа на сликата, средството за ладење се движи во двете насоки во горивните канали. Во половина од каналите текот е насочен кон едната страна, а во половина кон другата. Тоа решение овозможува еднакви температури на двете страни од реакторот. Со тоа е намалено термалното оптоварување на елементите од реакторот, а разликата на температурата на едната страна во однос на другата е помала од 40 °C, што не би бил случај кога ова решение не би се применувало.

Средството за ладење оди во генераторите на пара со близу 300 °C а излегува од нив оладено за 40 °C. За да се спречи вриењето на D₂O на температура повисоки од 300 °C, притисокот мора да биде над 10 МПа.



Сл. 4.14. Круг (тракт) на средството за ладење на реакторот.

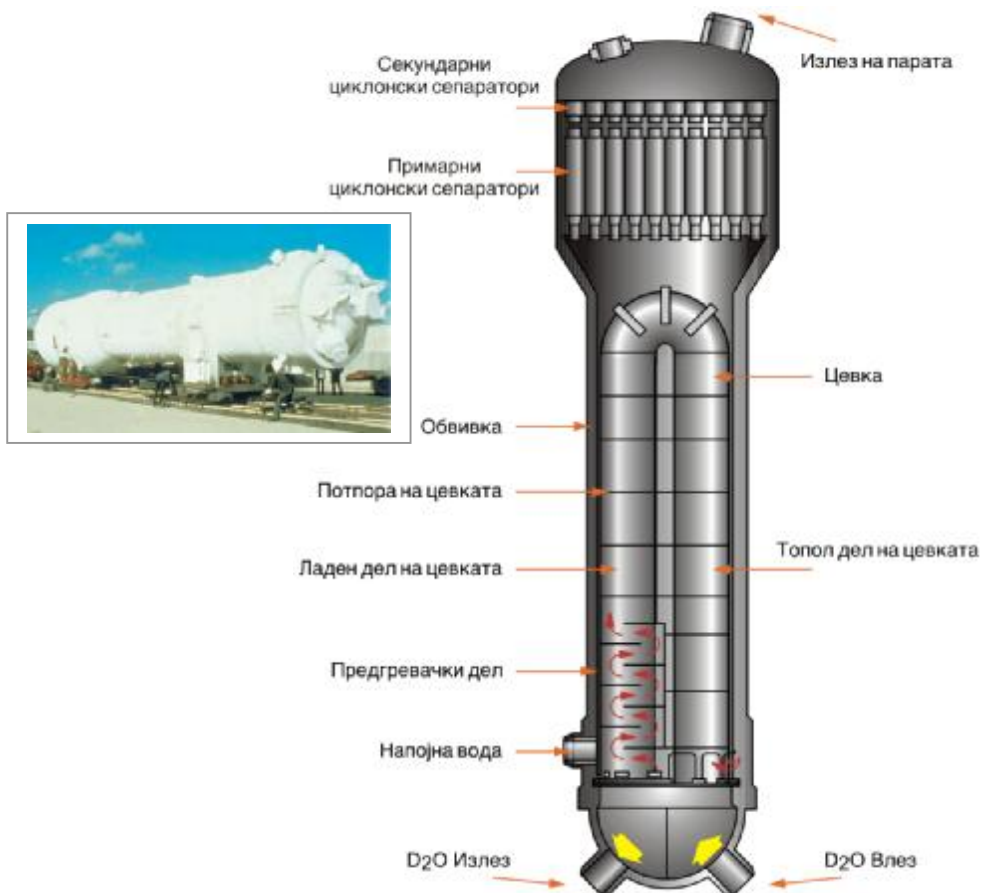
4.1.5.2. Конструкција на генераторите на пара

Во генераторите на пара се одвива предавањето на топлинска енергија од средството за ладење на работниот флуид во турбината. На сл. 4.15. е прикажан генераторот на пара кој се користи кај CANDU PHW постројките:

Средството за ладење со висока температура и притисок влегува во генераторот и поминува низ него предавајќи дел од топлинската енергија на

напојната вода. Средството за ладење претставува примарен, а работното тело секундарен флуид во системот за трансфер на топлина. Кај овој тип на постројки примарниот и секундарниот флуид не се во директен физички допир. Тоа спречува директно контаминирање на работниот флуид (парата) кој излегува надвор од биолошкиот штит.

Парата која се произведува во прв план при размената на топлина, има околу 90% влажност, па е неадекватна за употреба во турбинскиот дел, поради што во генераторите на пара се поставени циклонски сепаратори на влага. Кај постројките од овој тип се поставени вкупно четири генератори на пара, по две за секој систем за пренос на топлината.

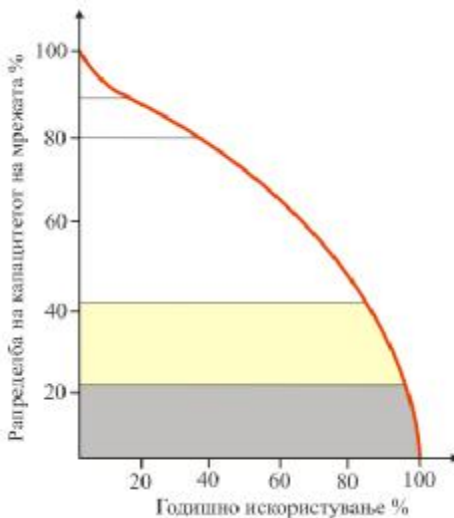


Сл. 4.15. Генератор на пара.

4.2. ЕКСПЛОАТАЦИОНИ ОСОБИНИ НА НУКЛЕАРНИТЕ ПОСТРОЈКИ

Нуклеарните постројки се одликуваат со свои особини кои влијаат на нивното приклучување во енергетскиот систем.

Учеството на цената за транспорт на нуклеарното горивото скоро не влијае врз производната цена на електричната енергија во нуклеарните постројки. Затоа, нуклеарните постројки се градат директно на местата со кумулирана потрошувачка на електрична енергија во кои пак се најскапи класичните горива, односно се наоѓаат најдалеку од изворите на класичните горива. Изборот на локацијата е еднозначен и при новите начини на искористување на нуклеарната енергија, како: отсолување на морска вода и производство на топлинска енергија за индустријата или за големи урбани средини. Битен фактор кој влијае на изборот на локацијата на нуклеарните постројки е потребната доволна (голема) количина на вода за ладење.



Сл.4.16. Дијаграм на оптоварување на енергетскиот систем.

Потребата од мерни и регулациони уреди кај нуклеарните постројки е поголема (попотребна) во однос на класичните постројки. Нуклеарна постројка со брзи репродуцирачки реактори е поскапа во однос на онаа со термални реактори. Поради тоа најповолно е да нуклеарните постројки се приклучуваат во енергетскиот систем како основни кои работат подолг период во годината. Нуклеарните постројки и поради своите технички особини не се поволни да работат во променливи режими во текот на денот, иако лесноводните реактори поради своите одлични саморегулациони особености покажуваат значителна експлоатациона еластичност.

Со појава на нуклеарната енергетика постепено се менува структурата на експлоатација на енергетските системи, односно конвенционалните термо-енергетски постројки ќе мораат да бидат во иднина доволно експлоатационо еластични (сл.4.16.) за да ја преземат регулацијата на целиот енергетски систем, односно покривање на дневните потреби од енергија (дневен шпиц) за што денес служат хидроцентралите. Во блиска иднина дел од нуклеарните постројки ќе бидат приморани да работат еластично во енергетскиот систем.

Нуклеарните постројки на прв поглед технолошки се многу слични на класичните ТЕП со конвенционални горива, односно наместо парен котел имаат нуклеарен реактор, но во реалност се карактеризираат со низа битни разлики.

Оптоварувањето на нуклеарната постројка се регулира со влијание врз интензитетот на фисионата реакција без додавање на гориво. Процесот на промена на гориво по правило се изведува кампањски, еднаш годишно, за време на планскиот ремонт на постројката, освен кај реакторите кои користат како гориво природен уран. За експлоатација на нуклеарните постројки се применуваат многу посигурни и временски помалку променливи влезни карактеристики на горивото, што овозможува примена на модерна техника за регулирање.

Способноста на нуклеарните постројки за производство на енергија независи само од оспособеноста на постројката, туку и од моменталната состојба на активната зона. При недостаток на реактивност, нуклеарниот реактор неможе да го постигне бараното оптоварување, а по негогаш неможе да се постигне ниту критична состојба на реакторот. Од друга страна, нуклеарните постројки произведуваат одредена количина енергија и при прекин на реакцијата на фисија, затоа е потребно непрекинато обезбедување на циркулација на средството за ладење и одведување на енергијата кога нуклеарната постројка неработи.

Нуклеарните постројки се карактеризираат со радиоактивно зрачење од различен вид, кое директно не се регистрира од страна на човекот, но е екстремно штетно врз неговото здравје. Поради тоа, експлоатацијата на нуклеарните постројки мора да биде потполно автоматизирана, постројката далечински управувана и постојано спроведувана лична и општа дозиметриска контрола (сл.4.17.). Нуклеарните постројки со своето јонизирачко зрачење претставуваат акутна опасност за персоналот, но истовремено за целото општество. Затоа експлоатацијата на нуклеарните постројки не е во интерес само на директните учесници во производството, туку на целото општество и подлежи на постојани контроли и надзор од страна на државните и меѓународните стручни органи.

4.3. КОНТРОЛА И ПРВО ПУШТАЊЕ НА РЕАКТОРОТ ВО ПОГОН

4.3.1. Постапка на монтажни и функционални контроли

Пред пуштање на нуклеарните центри во пробен и постојан погон потребно е да се направи редица контроли на уредите во нејзиниот состав. Контролите можат да се поделат на едноставни (индивидуални) и сложени (комплексни).

Во текот на изградбата на постројката се прават монтажни контроли со кои се контролира квалитетот на монтажните работи. Во нив спаѓа:

- радиографска или друга дефектоскопска контрола на заварените споеви,
- јакосна и хидраулична контрола на монтираните кругови,
- контрола на изведените електрични споеви и др.

После завршувањето на монтажните контроли кој се нарекуваат индивидуални контроли, продолжуваат функционалните (комплексни) контроли. Со овие контроли се проверува функционалноста на опремата, без постигнување на работните параметри и капацитет. Во овие контроли спаѓа:

- проверка на пумпите,
- проверка на електричните кола (вклучување, исклучување, блокирање, сигнализација),
- проверка на уредите за додавање на гориво и др.

Во периодот на проектирање потребно е да се направи груба програма (план) за изведување на контролните работи, а при изградбата треба да се направи детален план на контролите. Тоа овозможува правилна изградба и монтажа на постројката. Одредени објекти и постројки најпрво мора да се изградат и монтираат за да може да се изврши контрола на другите системи. За да може да се провери пумпната станица, потребно е претходно да биде подготвен доводот и одводот на вода, потрошувачите на вода, канализацијата, разводникот, трансформаторот и др.

Технолошките кругови и постројки мора да ја задоволуваат бараната цврстина и херметичност, да се промиени до одреден степен на чистота, како би можеле да одговорат на поставените барања при експлоатација. Потоа следува контролата на електричните уреди и уредите за мерење и регулација.

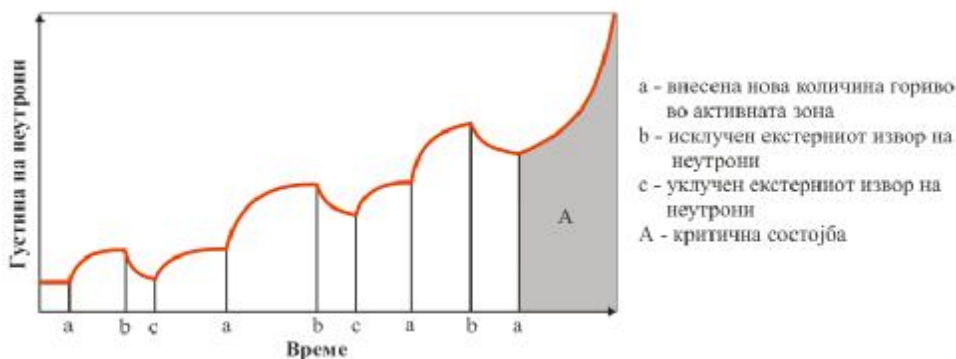
По проверката на електричните уреди следи проверката на машинските делови.

Неактивните контроли кај нуклеарните постројки се од големо значење, затоа што придонесуваат кон отстранување на евентуалните недостатоци кои би можеле да се појават при активна работа на постројката.

4.3.2. Физичко пуштање на нуклеарниот реактор во погон

Целта на физичкото пуштање на реакторот во погон е да после монтажата на реакторот, реакторот се доведе во критична состојба и да се спроведат физички мерења и проверка на проектираните параметри на реакторот за да може реакторот да се пушти во постојан погон.

Физичкото пуштање се состои од постепено додавање на гориво во активната зона, со респектирање на сите услови од безбедносна гледна точка. Главно треба да се обезбеди потребниот број на неутрони со интензитет од $10^6 \div 10^7$ неутрони во секунда. Освен кај големите активни зони кои користат како гориво природен уран не е потребно обезбедување на дополнителен помошен број на неутрони, затоа што интензитетот на спонтаната делба на изотопот на U-238 е во потполност доволен (15 неутрони/kg's). При физичко пуштање во погон се мери густината на неутроните или големината на функцијата која зависи директно од густината, при што постигнувањето на критичната состојба се движи експоненцијално со порастот на оваа функција (сл. 4.18).



Сл. 4.18. Пораст на густината на неутроните при физичко пуштање во погон на нуклеарен реактор.

Во пракса се користат попрецизни методи за определување на критичната густина на активната зона.

При физичко пуштање на реакторот во погон потребно е да голем број на уреди постројки бидат веќе изградени. Кај водните реактори мора да биде изграден и во потполна подготвеност системот за циркулација на водата, електричниот систем кој го напојува водењето на реакторот, билошката дозиметрија и др. При физичкото пуштање потребна е дополнителната мерна опрема, која после ова пуштање се отстранува. За ова мерна опрема потребно е да се остави дополнителен простор и соодветни приклучоци. Некои физички мерења се спроведуваат при експлоатација на постројката затоа што се потребни одредени параметри на реакторот, како моќ на реакторот.

Физичкото пуштање во погон на реакторот се изведува според претходно подготвен и одобрен програм на пуштање, усогласен со важечките прописи на пуштање во погон на овие постројки. Во голем број земји физичкото пуштање на реакторот се изведува под надзор на државната комисија за нуклеарна енергија.

4.3.3. Енергетско пуштање во погон на нуклеарната централа

Енергетското пуштање на нуклеарната централа започнува во моментот кога нуклеарниот реактор ќе ја постигне топлинската моќ, односно кога мора да се примени негово ладење со циркулација на ладилното средство во примарниот круг. Пуштањето во погон завршува кога нуклеарната централа ја постигнува максималната моќ, односно тоа е моментот кога нуклеарната централа се приклучува на енергетската мрежа.

Пред тоа се спроведуваат редица на проби со кои се проверуваат сите контролни и заштитни системи за правилна работа на реакторот и општо целата нуклеарна централа. Во склоп на овие проби се дотеруваат и подесуваат системите за висока автоматика на нуклеарната централа на параметри и алгоритми соодветни за енергетско пуштање во погон на централата.

Енергетското пуштање во погон трае неколку недели. Параметрите на примарниот и секундарниот круг постепено се зголемуваат, а со тоа постепено се зголемува и моќта на нуклеарната централа. Периодот на енергетското пуштање на централата е период на вежбање и издржливост на персоналот на одредени параметри и моќ, што е многу поволно при појава на неисправности при експлоатација (нормална работа) на централата. При појава на неисправности на одредени системи или некомпатибилност помеѓу нив, се прекинува пуштањето во погон и се анализираат причините за појава на неисправностите. После отстранување на неисправностите се започнува со програмот за повторно пуштање во погон од најниски параметри.

Во текот на енергетското пуштање во погон на централата се прават редица на технички контроли на уредите, кои неможеле да се направат при неактивен погон или е предвидено да се повторуваат, како:

- исклучување и контрола на една од работните пумпи, што се прави со цел избегнување на хаварија на реакторот,
- контрола на способноста на резервниот извор на енергија за потполно ладење на евентуално исклучениот реактор и др.

При енергетското пуштање на нуклеарната централа се прават редица мерења, кои подоцна можат да се искористат при изработка на одредени прописи за експлоатација на централата или за евентуален развој на нуклеарни централи од ист или сличен тип.

Персоналот мора да биде заведен во посебен список во кои се внесуваат обврските на секој поединец во согласност со погонските прописи. Секој поединец мора да биде соодветно обучен, односно мора да помине одреден период на практични вежби на слична нуклеарна централа на соодветен систем и мора да има положено соодветен испит за управување со конкретен систем

При секое пуштање во погон се формира соодвета комисија за надзор, која дава дозвола при секоја промена на нивото во повисоки параметри и моќ.

Секоја држава мора да ја пријави нуклеарната централа за евиденција во меѓународната агенција за нуклеарна енергија со седиште во Виена и мора да овозможи непречен пристап на контролните органи на агенцијата во моментот на полнењето на реакторот со гориво.

При преземање на централата на корисникот од страна на производителот, мора да се изврши технички прием. Тој опфаќа редица на контроли:

- монтажни (градежни) контроли (контрола на притисок),
- функционални контроли (заштитни системи и автоматика) и др.

Успешно изведените контроли, односно техничкиот прием е показател дека корисникот може да ја преземе централата од производителот. Тоа може да се изведе со меѓусебен договор или под надзор на соодветна комисија. Техничкиот прием се изведува до постигнување на номиналните параметри и моќ на централата, кои е потребно да се одржуваат без недостатоци во траење најчесто од 72 часа или во претходно договорен период.

Често пати сите недостатоци неможат да се откријат во тој релативно краток период, затоа производителот е должен да евентуално појавените скриени недостатоци бесплатно, навремено и соодветно ги отстрани во рамките на периодот на гаранција.

4.4. ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА НУКЛЕАРНИТЕ ПОСТРОЈКИ ПРИ ПОСТОЈАНО И ПРОМЕНЛИВО ОПТОВАРУВАЊЕ

Нуклеарните центри се составен дел на енергетскиот систем и подлежат на централниот систем на водење. Исто така, спаѓаат во постројки со радиоактивно зрачење и складирање на радиоактивни материјали, затоа нивната експлоатација подлежи на посебни дозволи и контроли од страна на органите за надзор. На пример тоа се контроли на садови под притисок, хигиенски контроли и др. Истовремено подлежат и на меѓународни контроли од страна на меѓународната агенција за нуклеарна енергија.

Целта на организацијата при експлоатација на нуклеарните центри пред се е ефикасна работа на централата при исполнување на сите прописи и барања во смисол на радиоактивност и сигурна работа. Овие барања не се само интерес на директниот корисник на централата, туку и на целото општество. Организационата поставеност е слична како кај класичните термоцентрали, но малку посложена. Бројот на вработени обично е помал во однос на класичните термоцентрали и се движи од $0,5 \div 1$ вработен/MW и постојано се намалува со воведување на системите за потполна автоматизација на нуклеарните центри.

4.4.1. Опслужување и одржување на уредите и системите

Постројката при експлоатација ја опслужува работниот персонал во согласност со експлоатационите прописи и организационата поставеност. Експлоатационите прописи за секој елемент од постројката се дадени во упатството за употреба подготвено од страна на производителот.

Работниот персонал во нуклеарните центри покрај соодветните стручни познавања, искуство и способност, потребни за работа при експлоатација на постројката, потребно е да има и одредени познавања од областа на нуклеарната физика, физиката и топлинската техника на реакторот, неговите регулациони и динамички карактеристики и др. Операторите мора да се оспособени за брза и вистинска (точна) реакција. Дозволата за опслужување на одреден тип на реактор се добива со полагање на посебен испит, врз основа на претходна теоретска и практична обука.

Планското одржување (ремонт) кај нуклеарните центри е пообемно во однос на тој кај класичните термоцентрали. Ревизии и поправки во нуклеарниот дел се можни само кога дел или целата постројка неработи, односно е во фаза на стоење. Кај нуклеарните центри со кампањска промена на горивото, поправките се планираат да се изведуваат во периодот на промена на слојот на горивото.

Начинот на изведување на поправките шематски (дијаграмски) е прикажан на сл. 4.19.



Сл. 4.19. Начин на изведување на одржувањето.

Државните органи го контролираат изведувањето на периодичните проби на деловите на постројката, кои се битни од гледна точка на нуклеарната сигурност при работата. Покрај тоа државните органи спроведуваат постојани инспекциски проверки на состојбата на централата.

Основа за составување на планот на одржување се упатствата подготвени од производителот и сопствените долгорочни искуства при експлоатација на постројката. Податоците за работниот век на одредени делови од постројката може да бидат дадени од производителот врз основа на испитувања и развој на постројката, кога непостојат долгорочни експлоатациони искуства од страна на корисникот на постројката. Работниот век на нуклеарните центри претставува едно од отворените прашања во сегашниот развој на нуклеарната енергетика.

4.4.2. Промена на горивото во нуклеарниот реактор

Промените на механичките својства на нуклеарното гориво и намалувањето на реактивноста на активната зона, го ограничуваат согорувањето на горивото во реакторот до одредена мерка, што зависи од видот на нуклеарното гориво и конкретниот состав на активната зона. Периодот на задржување на горивниот елемент во реакторот во кои се постигнува одредена неутронска моќ се нарекува кампања.

Промената на горивото во реакторот може да се изведува:

- континуирано, кога реакторот е во погон при номинална или намалена моќ,
- кампањски, кога реакторот не е во погон, а средството за ладење е под притисок или не е под притисок.

Кај првиот начин горивните елементи се менуваат постапно според претходно направен временски план. Кај вториот начин се менува целата шаржа или одреден дел при прекин на работата на реакторот. За подобро искористување на горивото, кај вториот начин на промена на горивото, се менува само дел од вкупната количина на гориво, а остатокот од горивото се преместува на друг дел од реакторот со поголем неутронски проток за понатамошно согорување. На тој начин се наголемува просечното согорување на целата горивна шаржа и се постигнува повисок економски ефект. Кампањската промена на горивото трае 1 месец и се изведува во периодот на минимална потрошувачка на електрична енергија во енергетскиот систем.

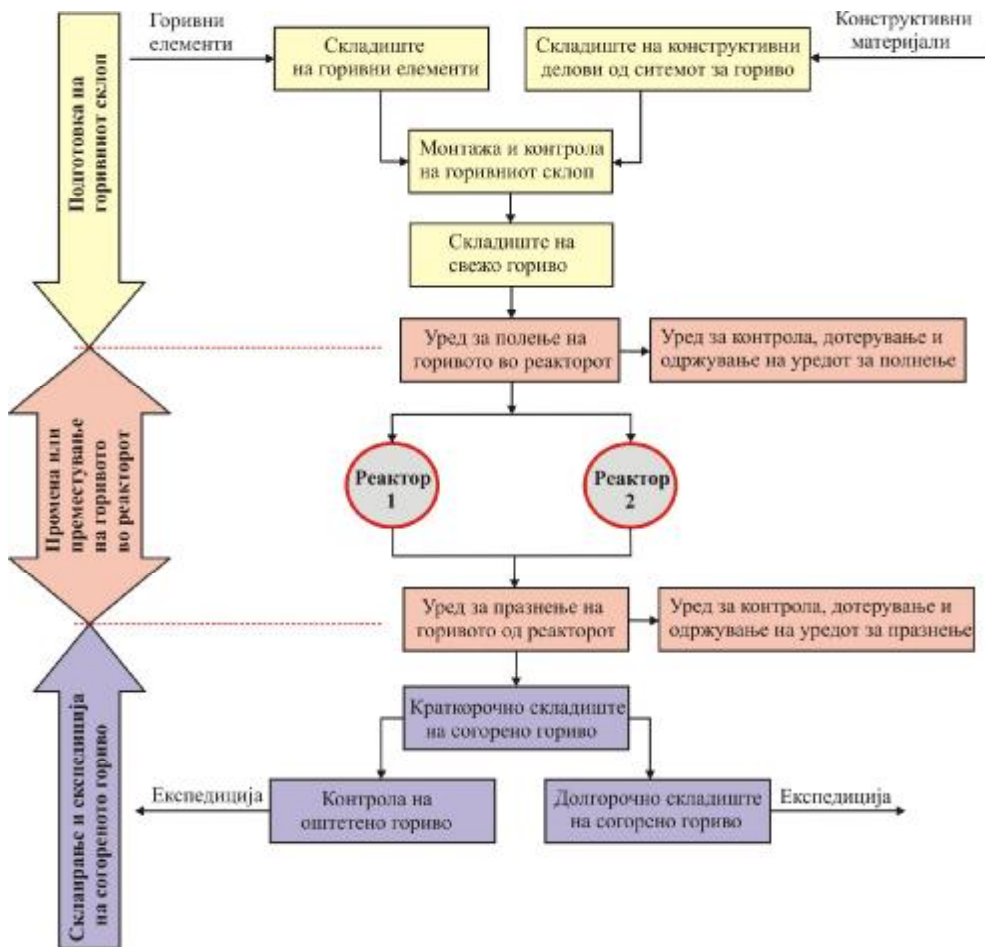
Промената на нуклеарното гориво во нуклеарната централа се изведува во неколку фази (сл. 4.20.), како:

- транспорт и складирање на нуклеарното гориво,
- поставување на новата количина гориво во реакторот,
- преместување на горивото во активната зона во реакторот,
- вадење на согореното гориво од реакторот,
- складирање на согореното гориво во нуклеарната централа,
- транспорт на согореното гориво од нуклеарната централа на местото за долгорочно складирање или хемиска преработка.

За реализација на овие фази во циклусот на промена на горивото во реакторот, потребно е да се инсталира во нуклеарната централа комплетен систем на уреди, кои претставуваат една функционална целина. Сите уреди од овој систем кои манипулираат со согорено гориво се автоматски и далечински водени, затоа што е потребно да се изведуваат редица на операции по

одреден редослед во согласност со барањата за непрекорна сигурност и заштита.

Во периодот на празнење на нуклеарниот реактор, складирање во нуклеарната централа и транспорт до местото на долгорочно складирање или преработка, согореното гориво мора да биде постојано ладено, затоа што е вештачки радиоактивно.

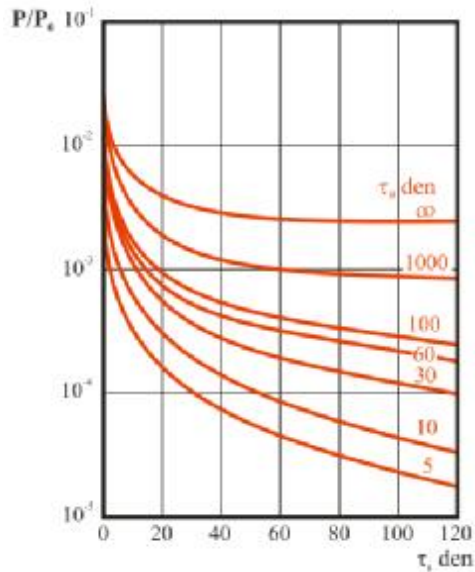


Сл. 4.20. Шематски приказ на промената на горивото во нуклеарна централа.

Интензитетот на одземање на остатокот на топлина во зависност од временскиот период е прикажан со следниот израз или на дијаграмот сл.4.21.:

$$\frac{P}{P_0} = 6,1 \cdot 10^{-3} [t_s^{-0,2} - (t_s + t_0)^{-0,2}]$$

каде: P W – моментална моќ на горивниот елемент,
 P_0 W – моќ на горивниот елемент пред празнење,
 t_s den – период мерен од моментот на празнење, при моќ P ,
 t_0 den – период при кој горивниот елемент работел со моќ P_0
 пред празнење.



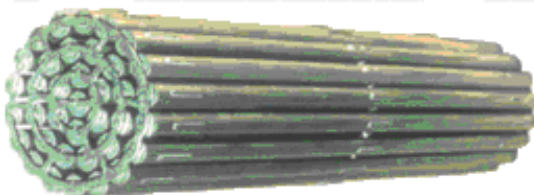
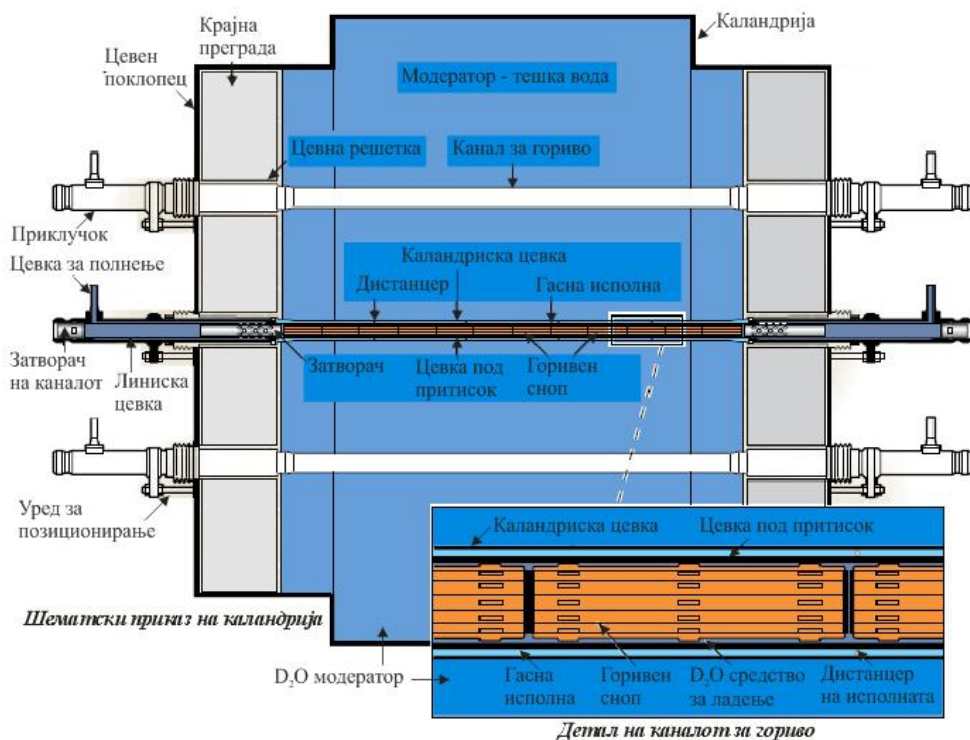
Сл. 4.21. Интензитет на одземање на остатокот на топлина.

Во наредниот текст е прикажана промената на гориво кај Candu 6 реакторите. Горивната прачка во Candu 6 реакторот се состои од 37 елементи поставени во круг (прстен) прикажани на сл.4.22. Секој елемент содржи природен уран во форма на цилиндрични пелети на вештачки UO_2 , поставен во кошулки од легура на циркониум (легура на циркониум 4). Сите 37 елементи завршуваат на плочата од горивната прачка. Сепарација на секој елемент се постигнува со вметнување на дистанцери помеѓу секој елемент. Надворешните горивни елементи се вметнуваат во цевката за притисок.

Системот за ракување со горивото треба да:

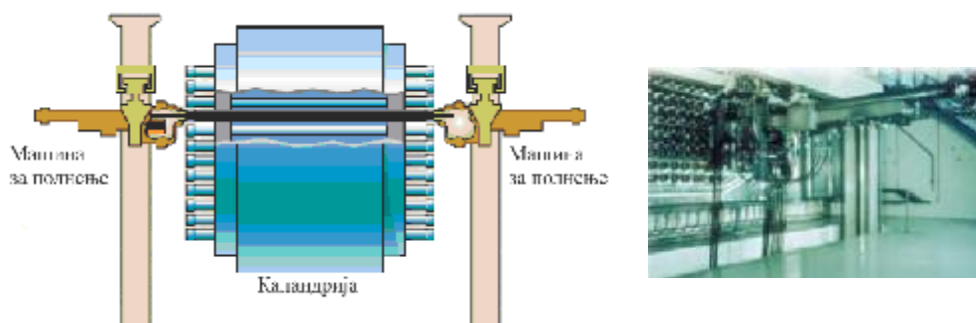
- обезбеди складирање и ракување со новото горивото,
- соодветна промена на горивото при работа на реакторот при различна моќ,
- транспорт на согореното гориво до магацинот за согорено гориво.

Промена на горивото во реакторот: Промената на горивото е операција која се изведува со две контролирани машини за промена на горивото (сл.2.33). Горивото се внесува во горивната прачка со помош на едната машина за полнење, а согореното гориво се празни (се прима) со помош на другата машина за празнење на горивото, поставена од другата страна на горивниот канал. При операцијата на промена на горивото, најчесто се врши промена на 4 од вкупно 12-те горивни прачки. Кај Candu 6 реакторите се врши промена на 10 горивни канали неделно.



Сл. 4.22. Шематски приказ на каландрија со детал на горивниот елемент кај Candu реакторите.

Секоја машина може да служи за полнење и празнење на горивото. Насоката на полнење и празнење зависи од насоката на протокот на ладилен медиум во горивниот канал. Машината за полнење и празнење го прима горивото во моментот на прицврстување со портата за полнење и празнење на горивото. Целата операција се следи од контролната соба преку програмски компјутеризиран систем. Секоја операција дозволува мануелна интервенција од страна на операторот.

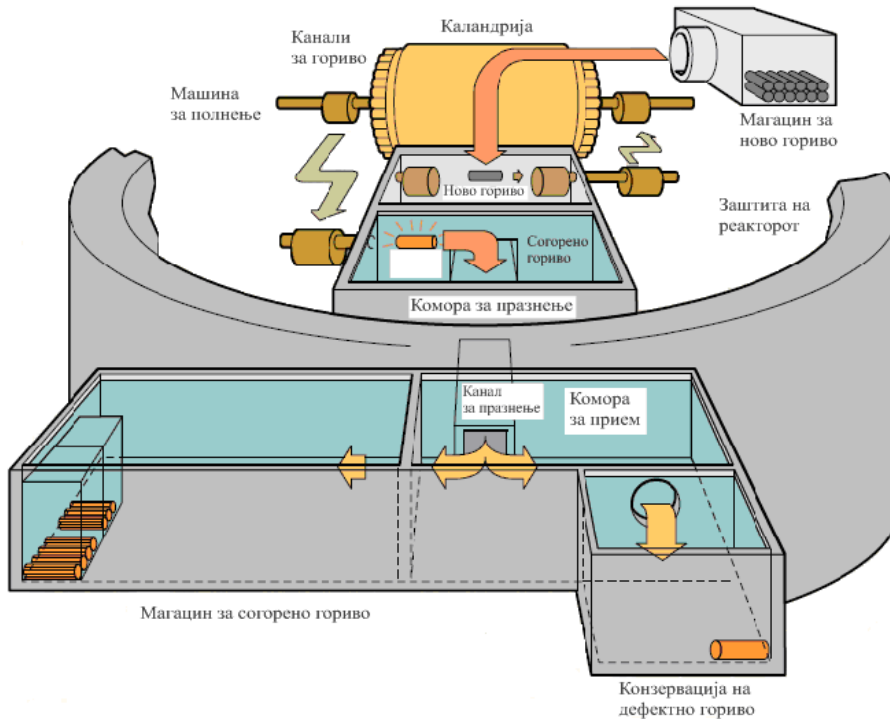


Сл. 4.23. Начин на полнење на Candu реакторите со гориво.

Транспорт на горивото: (сл.4.24.) Новото гориво се зема од од магацинот за ново гориво сместен во зградата за сервисирање. Магацинот за ново гориво обезбедува потребна количина на гориво за 6 месечна работа и за почетно полнење на реакторот. При промена на горивото, горивото се транспортира кон просторијата за ново гориво во зградата на реакторот. Понатаму новото гориво, преку двете порти за ново гориво се транспортира до машината за автоматско полнење.

Согореното гориво се празни со машината за празнење и преку портата за празнење со елеватор се транспортира до резервоарот со вода. Согореното гориво преку воден слој на каналот за празнење на горивото се транспортира до магацинот за прием на согорено гориво, каде се става во канти или корпи за складирање, кои се внесуваат во магацинот за согорено гориво.

Целата операција на промена на горивото е автоматски контролирана и надгледувана од персоналот на нуклеарната централа. Складирањето во магацинот се изведува под вода со користење на специјални кранови. Дефектното гориво се става во канти со вода за деконтаминација, а потоа се транспортира до магацинот за конзервација на дефектно гориво. Волуменот на магацинот за согорено гориво се изведува со капацитет за минимално складирање на 7 години акумулирано гориво.



Сл. 4.24. Систем за ракување со горивото кај Sandu реакторите.

4.4.3. Дозиметрија во нуклеарните централа

Ареалот на нуклеарните централа е поделен на следните зони:

- чисти,
- нечисти и
- условно чисти

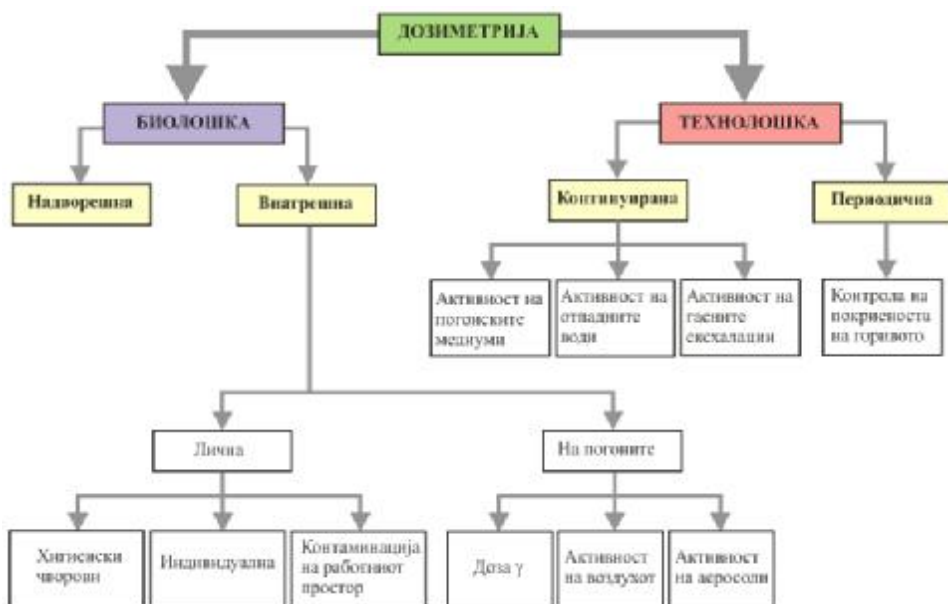
Условно чистите зони се дефинираат во зависност од тоа дали тие простори се чисти, но постои можност од појава на активност при одредени услови на работа.

Нуклеарната централа е така конципирана да зоните се концентрирани и различните зони од себе одвоени со хигиенски затвори. Премините од една во друга зона се контролирани. Диспозицијата на централата и сместувањето на тохнолошките уреди, мора да одговараат на хигиенските и сигурносните прописи при работа со радиоактивни материјали. Целата концепција на нуклеарната централа мора да е во согласност со овие прописи.

Под *дозиметрија* во нуклеарната централа се подразбира мерење на радијацијата во околина на централата и нејзиниот ограден земјен простор.

Дозиметриските мерења (сл.4.22.) на просторот на нуклеарните центри се состојат од два вида:

- биолошки,
- технолошки.



Сл. 4.22. Систем за дозиметрија во нуклеарните центри.

Биолошката дозиметрија претставува контрола на интензитетот на јонизираното зрачење во сите простори на централата и контрола на количините на јонизираното зрачење на персоналот за време на нивното движење низ централата. Мерењето на интензитетот на јонизираното зрачење се користи со цел заштита на персоналот од контаминација со радиоактивни материјали пред навлегување на радиоактивните материјали во организмот и за заштита од недозволени озрачувања пред дејството на јонизираното зрачење врз организмот. Мерењето се изведува со систем на стабилни мерни инструменти поставени во просторите на главниот произведен блок и во помошните објекти, но и со преносни дозиметриски инструменти. Преносните инструменти претежно се користат за време на поправките на одредени уреди. Сигналите од дозиметриските инструменти постојано се следат од страна на службата за дозиметрија. Во последно време се воведуваат и автоматски уре-

ди за мерење на дозиметријата. Во биолошка дозиметрија спаѓа и редовна контрола на работниот персонал при неговото напуштање на нуклеарната централа. Тоа се врши во посебни хигиенски чворови и хигиенски затвори.

Организацијата при експлоатација мора да биде таква да не бидат надминати максимално дозволените дози на јонизираното зрачење во согласност со прописите (таб.4.1.).

Таб. 4.1. Максимално дозволените дози на јонизирачко зрачење:

Органи и ткива	Максимални дозволените дози за вработените		Максимални дозволените дози за жителите Sv/god
	Квартални Sv	Годишни Sv	
Гонади, коскена срж, рамномерна озраченост на целото тело	0,03	0,05	0,005
Кожа, штитна жлезда и коски	0,15	0,30	0,03
Раце, подлактици, нозе и зглобови	0,40	0,75	0,075
Било кои орган или ткиво	0,08	0,15	0,015
Sv (Sievert) – мерка за биолошки апсорбирана доза			

Технолошката дозиметрија претставува контрола на активните работни медиуми (соединенија) во технолошките процеси во нуклеарната централа. Со овој систем на контрола можат да се воочат грешките во работата на некои технолошки уреди или кругови, при што се контролира состојбата на машините и уредите кој работат со активни медиуми (протекување, контролирани пропуштања и др.).

Во оваа дозиметрија спаѓа и контролата на медиумите кои ја напуштаат површината на нуклеарната централа, како што се:

- гасни експалации кои се исфрлуваат преку оцакот за вентилација,
- отпадни води кои се испуштаат во водотоците и др.

Контролата се изведува со допирни или вметнати сонди, кои испраќаат сигнали до централната служба за дозиметрија или со земање на примероци кои се испитуваат во лабораторија. Еден од најбитните системи за технолошка дозиметрија е системот за контрола на течноста за покривање на горивните елементи, кој има директно влијание на експлоатацијата на нуклеарниот реактор. Сигналите од овој систем се постојано следени од страна на операторот на реакторот во дежурната служба на блокот.

Сите дозиметриски мерења ги обезбедува службата за дозиметрија на нуклеарната централа. Оваа служба дава дозвола за влегување во поедини простори во нуклеарната централа во кои постои можност од појава на актив-

ност и води евиденција за дозите на зрачење на работниот персонал. Податоците од евиденцијата претставуваат основен показател за заштита и сигурност при работа на персоналот, врз кој постојано се изведуваат редовни лекарски прегледи.

4.4.4. Еластичност при експлоатација на нуклеарните постројки

Под еластичност при експлоатација на нуклеарната централа се подразбира способност на прилагодување кон различните услови при промена на режимот на работа на нуклеарната централа. Еластичноста на нуклеарната централа воедно претставува способност на прилагодување на поедини машини и уреди, спојните елементи и врски, кои формираат една целина или постројка.

Промените при премин од еден во друг режим на работа, можат да бидат:

- надворешни, поради промена во разводниот или преносниот електричен систем (мрежа),
- внатрешни, поради промена во системот на нуклеарната централа,
- поради откажување на некоја технолошка постројка или уред.

Тежиштето на еластичноста на нуклеарната централа лежи во концепцијата на централата во целина, концепцијата на поедини уреди (реакторот, генераторот на пара, циркулационата пумпа, турбината, пароводите и арматурата). Конструкторот на одделните уреди има одредена можност при конструкцијата да го намали оптоварувањето на педини елементи при промена на притисокот, температурата, протокот на работни медиуми, кои одговараат на промената на моќта. Најнеповолни оптоварувања при променливи режими на работа, проследени со промена на моќта, се оптоварувањата предизвикани од температурните градиенти. Затоа, решавањето на прашањето за еластичност при експлоатација е посложено кај оние нуклеарни централи кај кои поголемата промена на моќта предизвикува и поголема промена на температурата (најчесто кај нуклеарните централи ладени со гас). Проблемите се појавуваат во нуклеарниот реактор кој се одликува со голема маса и големи дебелини на конструктивните елементи. Специфични, исто така се и проблемите во генераторот на пара и главните арматури.

4.4.5. Сигурност при експлоатација на нуклеарните центри

Слично како кај еластичноста при експлоатација, така и сигурноста при експлоатација на нуклеарната централа зависи од сигурноста на поедини постројки и циклуси, иако особините на една таква сложена работна целина не се дадени со едноставно собирање на особините на поединечните постројки и уреди од кои е составена сложената целина.

Сигурноста при експлоатација на нуклеарната централа е способност кон одржување на нуклеарната централа во погон при потребни параметри, во планираниот период на работа, со минимални прекини и откажувања при работата, а во согласност со прописите за заштита при работата.

Начините со кои се обезбедува сигурноста при експлоатација на нуклеарната централа можат да се поделат во две области:

- област на технички решенија,
- област на управување при погон.

Во техничките решенија спаѓа:

- избор на соодветни материјали за изработка на уредите,
- внимание при изработка, монтажа, контрола и проба на уредите,
- соодветно конзервирање на поедини уреди и постројки,
- проверка на системот за сопствено напојување на централата и др.

Главни начини за зголемување на сигурноста при експлоатација на нуклеарната централа, се:

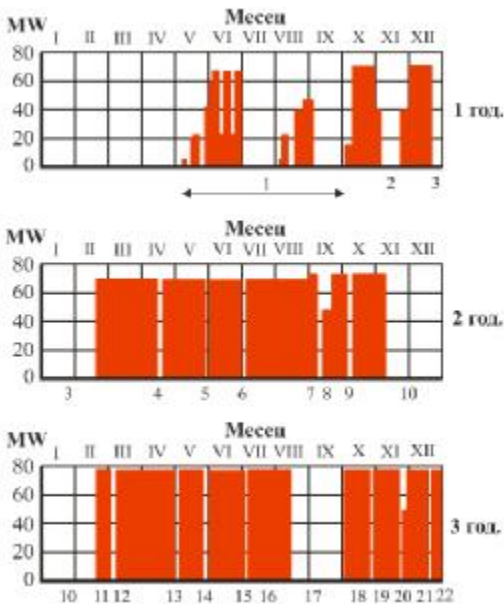
- Зголемување на бројот на чворовите за ладење во главните кругови на нуклеарната централа. Секој испад на чвор за ладење директно се одразува на моќта на нуклеарната централа. Ефектот на поголемиот број чворови за ладење се согледува во способноста на преземање на улогата од страна на другите чворови за ладење при евентуален испад на еден чвор. Чворовите мора да бидат соодветно меѓусебно решени за преземање на функцијата на друг чвор.
- Спроведување на резервни чворови во некои помошни кругови во нуклеарната централа. Тоа се изведува кај оние кругови битни за сигурна работа на нуклеарната централа (прочистување на модераторот, прочистување на средството за ладење, прочистување на отпадните води и др.). При испад од работа на помошните чворови при проектирање се предвидува резервен чвор или повеќе чворови. Затоа што оваа концепција ја наголемува цената на централата, никогаш не се применува кај главните кругови.

- Начин на поставување на главните кругови во нуклеарната централа. Денес претежно се применува блоковско поставување, затоа што поедините постројки на тој начин се посигурни при експлоатација. Никогаш не се применува попречно поврзување меѓу блоковите, што ја поедноставува топлинската шема и диспозицијата. Недостаток на блоковското поврзување е тоа што испадот на одредена постројка предизвикува и испад на целиот блок.

Во областа на управување при погон на нуклеарната централа се тежи да се олесни работата на работниот персонал и објективизира процесот на водење. Тоа се реализира на различни начини:

- централно собирање на информации (мерна станица),
- оценување, складирање и разработување на крајната информација за операторот,
- воведување на компјутери за управување.

За оценување на сигурноста при експлоатација на нуклеарната централа се користи годишниот дијаграм на производство (сл. 4.23), кој истовремено е показател на искористување на инсталираната моќ (капацитет) во текот на годината.



1. Контроли и пуштање во погон
2. Протекување во примарниот круг
3. Поправки и ревизија (турбина, генератор на пара)
4. Пропуштање во секундарниот круг
- 5., 6., 9., 12., 13., 15. Планско одржување и контрола
7. Зголемување на моќта на 75 MW
8. Поправки на примарниот круг
10. Прва промена на гориво
11. Откажување на главната циркулациона пумпа
14. Поправка на системот за сепарација на влагата (турбина)
16. Пад на моќта поради намалување на реактивноста
17. Втора промена на гориво
- 18., 21. Проба - постојан погон 80 MW
- 19., 20., 22. Прекин - Плански ремонт

Сл. 4.23. Годишен дијаграм на искористување на нуклеарна централа.

4.5. ПУШТАЊЕ ВО ПОГОН И ОПТОВАРУВАЊЕ НА НУКЛЕАРНИТЕ ЦЕНТРАЛИ

4.5.1. Постигнување на погонските параметри

За пуштање во погон и постигнување на погонските параметри, потребно е да бидат исполнети следните услови:

- Подготвеност на круговите за пуштање во погон, оптоварување и стоење на нуклеарната централа. Тоа се постигнува по завршување на сите монтажни работи, спроведување на сите поправки, препоправки и ревизии, спроведување на сите контроли, обезбедување на сите потребни медиуми и енергија (резервни извори на енергија, надворешни извори на топлина за загревање и др.).
- Пополно обезбедување на организацијата за пуштање во погон во насока на редослед на работите, комплетна документација и обука на персоналот.

Редоследот на операциите при пуштање во погон е даден во упатството за пуштање во погон. Потребно е да бидат разгледани повеќе аспекти, кои се слични со проблематиката на пуштање на класичните ТЕЦ (минимални влезни параметри во турбината) и типични за нуклеарните центри (минимална температура на садот под притисок на реакторот пред покачување на притисокот до одредена вредност, ограничена со вредноста на кртлом).

Брзината на пуштање во погон и оптоварување, односно брзината на покачување на притисокот, температурата, топлината, бројот на вртежи и др., се определува така да избегне појава на преголеми напрегања во одделни машински делови и уреди. Определувањето на брзината на пуштање во погон се изведува според криви на оптоварување за секој уред. Зголемување на моќта се изведува постепено, односно при постигнување на одреден степен на моќ постои временски период на задржување на таа моќ, при што се прави контрола на сите уреди и подтројки во постојан режим на работа.

Кај прототипните постројки, кај кои непостои претходно искуство или првпат се пуштаат во погон, изборот на брзината на пуштање во погон е многу помала (сигурносни причини). Со експериментални мерења се контролира промената на температурата и напрегањата на одредени уреди кои со

претходна анализа се покажале како несигурни и опасни. После стекнување на одредени искуства може постепено да се зголемува брзината на пуштање во погон. При зголемување на температурата на одредени уреди се зголемува и времетраењето на изедначување на температурните полиња.

4.5.2. Резервни извори на енергија

Резервините извори на енергија кај нуклеарните центри се потребни поради следните причини:

- нуклеарната централа неможе да биде пуштена во погон без надворешен извор на енергија,
- одредени уреди во состав на нуклеарната централа е потребно дополнително да се ладат,
- системот за управување на реакторот и одреден дел од системот за контрола, мораат да бидат во постојана подготвеност и во случај кога нуклеарната централа неработи.

Резервни извори на електрична енергија можат да бидат:

- електричната мрежа,
- друга независна електрична централа,
- сопствена независна електрична централа,
- акумулатор

Резервни извори на топлинска енергија можат да бидат:

- топлинска мрежа,
- помошна котларница.

Основната поделба на резервните извори на енергија шематски е прикажана на сл. 4.24.

Во билансот во делот на сопствената потрошувачка, кој се напојува од резервните извори на енергија, влегуваат само најпотребните одбрани потрошувачи, како:

- циркулационата пумпа,
- системот за управување и контрола на нуклеарниот реактор,
- принудното светло.



Сл. 4.24. Шематски приказ на резервните извори на енергија кај нуклеарните центри.

Моќта на резервните извори на енергија се определува така да може да ги задоволи сопствените потреби од енергија, после временски период од неколку секунди од дадениот хавариски сигнал, односно после принуден прекин на работа на нуклеарната централа.

Електричната енергија при краткотрајен прекин на работата може да се компензира со директно искористување на енергијата при запирање на турбоагрегатот и електромоторите (работат како замавник).

Топлинската енергија може да се компензира со директно искористување на акумулираната кинетичката енергија во ладилниот медиум или со искористување на способноста на ладилниот медиум и други медиуми да акумулираат топлинска енергија.

4.5.3. Запирање и повторно оптоварување на нуклеарните центри

Запирање на нуклеарната централа се изведува како:

- Планско запирање:
 - плански ремонт (поправки кои неможат да се извршат кога централата е во погон),
 - промена на гориво (кај централите се кампањска промена на горивото),
- Принудно запирање поради неправилности во:
 - уредите и постројките,
 - електричната мрежа.

Планското запирање се реализира според однапред подготвен програм за извршување на планскиот ремонт на централата. При појава на неправилности во одредени системи, односно при вклучување на заштитната сигнализација, треба брзо да се реагира и да се запре централата за да се избегне хаварија. Причините за вклучување на заштитната сигнализација и спречување на хаварија се многу брзи и непредвидливи, а најчесто поврзани со брзо намалување на параметрите и наголемување на напрегањето на одредени системи. Поради тоа, системот за регулација треба да е така конструиран да во сите случаи овозможи постепена регулација и стабилизирање на системот.

При повторно оптоварување на нуклеарната централа, потребно е да се во работна состојба помошните постројки, кои обезбедуваат сигурна работа на главните постројки, при намалени на параметри. Типичен пример на помошни уреди се циркулационите пумпи на примарниот круг, сепараторите на пара и редукционите станици на секундарниот круг. Во круговите кои работат со течни медиуми, при намалување на притисокот може да се појави десорпција на гасовите, доколку медиумите не се потполно дегасирани. За да се отстранат неправилностите во циркулацијата, потребно е придржување кон прописите за максималната брзина на пад на притисокот.

4.5.4. Подладување на реакторот

Горивните елементи во реакторот развиваат топлинска енергија релативно долг период после запирањето на реакторот. Заостанатата моќ на реакторот експоненцијално се намалува со тек на времето, а нејзината почетна вредност кај секој горивен елемент зависи од тоа колку долго и со која моќ тој работел пред запирање на реакторот. За таа цел активната зона на реакторот мора да биде постојано ладена и после запирањето на реакторот. Во случај да се прекине ладењето после запирање на реакторот, за многу кратко време (неколку минути) може да се распадат горивните елементи. Режимот на подладување мора да се изведува со принудна циркулација при намален проток на ладилно средство со интензитет кој одговара на заостанатата моќ на активната зона.

Подладувањето се изведува со:

- одржување во погон на еден главен циркулационен круг или
- пуштање во погон на помошните циркулациони пумпи.

Режимот на подладување на реакторот се смета за погонски режим на централата и секогаш постои можност и од негов дефект. Во случај на отка-

жување на принудната циркулација на ладилното средство се применува природна циркулација на ладилното средство во примарниот круг, што претставува хавариско решение. Главната постројка, шемата на кругот и диспозицијата мора да бидат така решени да овозможат природна циркулација. Системот за ладење со природна циркулација мора теоретски и експериментално да се провери при мали брзини на струење. Затоа што постигнатиот пад на притисок е многу мал, реализацијата на природната циркулација кај некои постројки се изведува одоколу (by pass) со примена на автоматски управувана арматура.

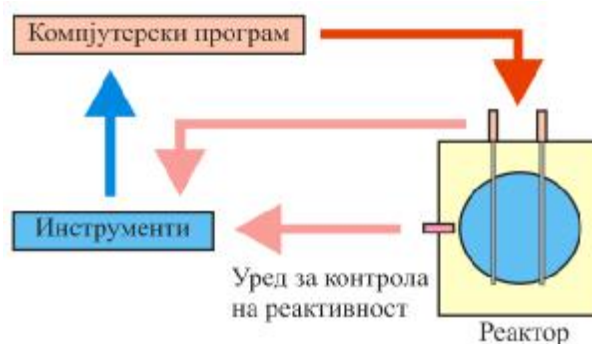
4.5.5. Систем за регулација на реакторот

Во наредниот текст е прикажан системот за регулација кај Candu 6 реакторите. Овој систем се користи за регулација на моќта на реакторот, која може да варира во зависност од побарувачката на електрична енергија.

Системот за регулација има три главни функции:

- мониторинг и контрола на максималната моќ на реакторот,
- мониторинг и контрола на големината на флуksот во реакторот,
- мониторинг на битните параметри и регулација (намалување) на моќта на реакторот.

Системот за регулација се контролира со компјутерски програм кој добива податоци од мерните инструменти и според нив соодветно дејствува врз уредот за контрола на реактивноста. Сите мерни и контролни уреди се сместени помеѓу горивните прачки, односно горивните канали (сл.4.25.).



Сл. 4.25. Шематски приказ на регулација кај реакторите.

Компјутерскиот програм потребно е да го обезбеди следното:

- мерење и калибрација на моќта на реакторот,
- регулација на моќта според соодветна рутина,
- контрола на реактивноста и флуксот,

Инструментите за регулација на реакторот, содржат:

- систем со јонска комора,
- детектори за моќ и флукс на јадрото на реакторот,
- инструменти за термичка моќ,

Системот на мерење е дизајниран за мерење на флуксот на неутрони во реакторот при различно ниво на работа на реакторот. Измерените вредности директно влијаат врз системот за регулација и сигурносните системи на реакторот.

Инструментите служат за мерење на флуксот на неутрони во реакторот, но и задруги информации кој се случуваат во јадрото на реакторот. Овие информации се влезни податоци за системот на регулација на реакторот, односно за регулација во текот на работата, запирање и промена на моќта (маневрирање) во текот на работата на реакторот.

За глобална и парцијална контрола на радиоактивноста се применуваат:

- апсорбери за контрола со обична вода,
- механички апсорбери за контрола,
- дотерувачи,
- примена на отров и негово вметнување во модераторот.

Зонските контролни системи ја одржуваат реактивноста на реакторот на одредено ниво во зависност од потребната моќ на реакторот. Доколку, зонските контролни системи не реагираат се вклучуваат други системи за контрола на реактивноста. Позитвна радиоактивност се регулира со дотерувачите, а негативната со механичките апсорбери за контрола или со вметнување на отров во модераторот.

Апсорберот за контрола со обична вода е апсорбер на неутрони (отров) во тешководниот (ладилно средство и модератор) Candu реактор. Тој врши краткотрајна контрола на реактивноста на реакторот. Системот се состои од шест цилиндрични вертикално поставени уреди, вметнати во јадрото на реакторот. Флуксот (моќта) во секоја зона на реакторот се контролира со спуштање или подигање на овие уреди во реакторското јадро.

Четири механички апсорбери за контрола се поставени во реакторот. Овие апсорбери се спуштаат кон јадрото на реакторот, помеѓу горивните канали, под дејство на гравитација. Апсорберите, нормално се наоѓаат надвор од јадрото на реакторот, а се спуштаат кон него кога е потребно да се промени (намали) моќта на реакторот.

Дотерувачите се 21 цилиндрични апсорпциони прачки поставени вертикално помеѓу горивните канали и служат за регулација на флуksот односно моќта на реакторот. Регулацијата на флуksот и реактивноста се изведува со нивно спуштање и подигање. Најчесто се изработуваат од нерѓосувачки челик или кобалт (кобалт 60).

Вметнување и вадење на отров во модераторот е исто така начин на менување на радиоактивноста (моќта) на реакторот. Борон се користи при свежо наполнет реактор со гориво. Гадолиниумот претежно се користи за регулација во текот на работата на реакторот. Вметнувањето или вадењето на отров во модераторот е контролирано од страна на операторот и се применува само при одредени услови.

Регулацијата на моќ може да се изведе на спор и брз начин со помош на системот за регулација кој е прикажан во понатамошниот текст во делот на системот за запирање на реакторот.

4.6. СИГУРНОСНИ СИСТЕМИ КАЈ РЕАКТОРИТЕ

При работата на реакторите можат да се појават поголем број на несакани ефекти кои директно влијаат врз сигурната работа на целата постројка. За таа цел реакторите се снабдени со повеќе независни сигурносни системи за:

- запирање на реакторот (брзо запирање на реакторот),
- ладење на реакторското јадро (исполнување на горивните канали со средство за ладење за одземање на вишокот на топлина од горивото),
- заштита на околината од радиоактивност на реакторот,

Помошни системи на сигурносните системи кај реакторите се системите за:

- снабдување на електрична енергија (алтернативен извор на електрична енергија,
- снабдување со вода за ладење на реакторот.

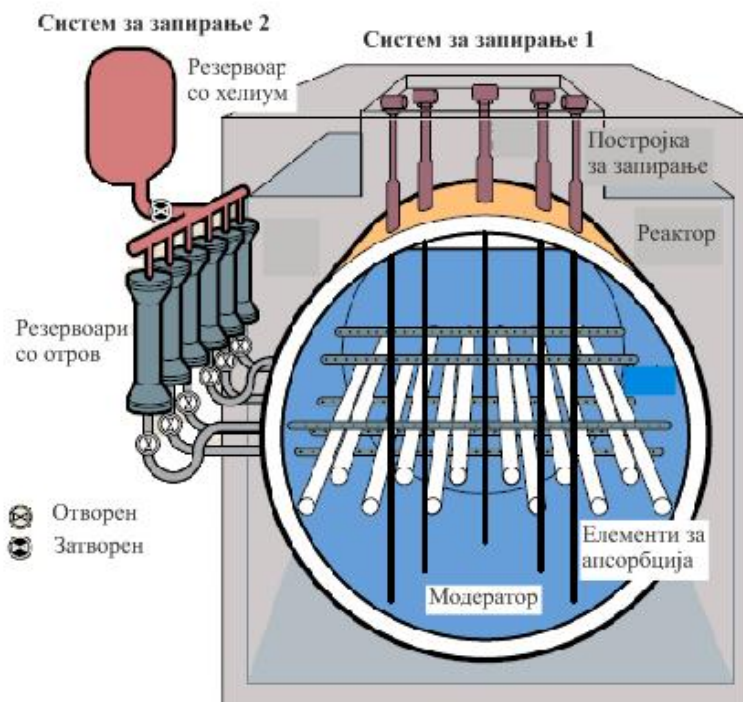
4.6.1. Сигурносен систем за запирање на реакторот

Сигурносниот систем за запирање на реакторот е во состојба да го запре реакторот при било која хавариска ситуација. Сигурносниот систем за запирање на реакторот реагира при промена на работните параметри на реакторот, односно при следните појави:

- висока неутронска моќ,
- мал проток на ладилно средство,
- наголемување на притисокот на парата кон турбината,
- наголемување на притисокот во зградата на реакторот,
- намалување на протокот на пара кон турбината,
- намалување на нивото на притисок,
- висока температура на модераторот.

Сигурносниот систем за запирање на реакторот се состои од два потполно независни системи.

Првиот систем е примарен метод за брзо запирање на реакторот при неприфатлива промена на параметрите. Системот работи на принцип на де-енергизирање на реакторот со активирање/спуштање на постројката за запирање, односно елементите за апсорбција (прачките за запирање), помеѓу горивните канали во модераторот. Секоја прачка за запирање обезбедува иницијална акцелерација која директно влијае на промената на параметрите на реакторот (сл.4.26.).



Сл. 4.26. Систем за запирање на Candu 6 реактор.

Вториот систем за брзо запирање на реакторот е со впрскување на отров (концентриран гадолиниум нитрат) во модераторот, преку хоризонтални цевки и млазници поставени на цевките, помеѓу горивните канали поставени во каландријата на реакторот. Кај Candu 6 реакторите постојат шест резервоари со отров. Отровот се впрскува со помош на хелиум под висок притисок, сместен во резервоарот за хелиум. Зафатениот отров со помош на хелиумот, преку хоризонталните цевки се впрскува во модераторот (сл.4.26.).

Работа при среден притисок – Вода со среден притисок се дозира од резервоарот до топлинскиот круг со пумпа. Вентилите за дозирање на водата се отвараат под дејство на инициран сигнал. Операцијата на дозирање на вода од резервоарите трае 13 min. За циркулација на ладилно средство се користат две пумпи со максимален капацитет за задоволување на потребите на вода. Пумпите се од висока сигурносна и енергетска класа.

Работа при низок притисок – Резервоарите за дозирање и вентилите помеѓу подот на реакторската зграда и пумпите, се отворени. Водата се собира во долниот дел на реакторот и се враќа во топлинскиот круг преку ладилниците (топлински изменувачи). Со тоа се постигнува долготрајно ладење. Ладилникот ја одржува температурата на водата околу 49 °С. Температурата на водата (D₂O и H₂O) пред пумпите изнесува 66 °С.

4.6.3. Сигурносен систем за заштита на околината од радиоактивност на реакторот

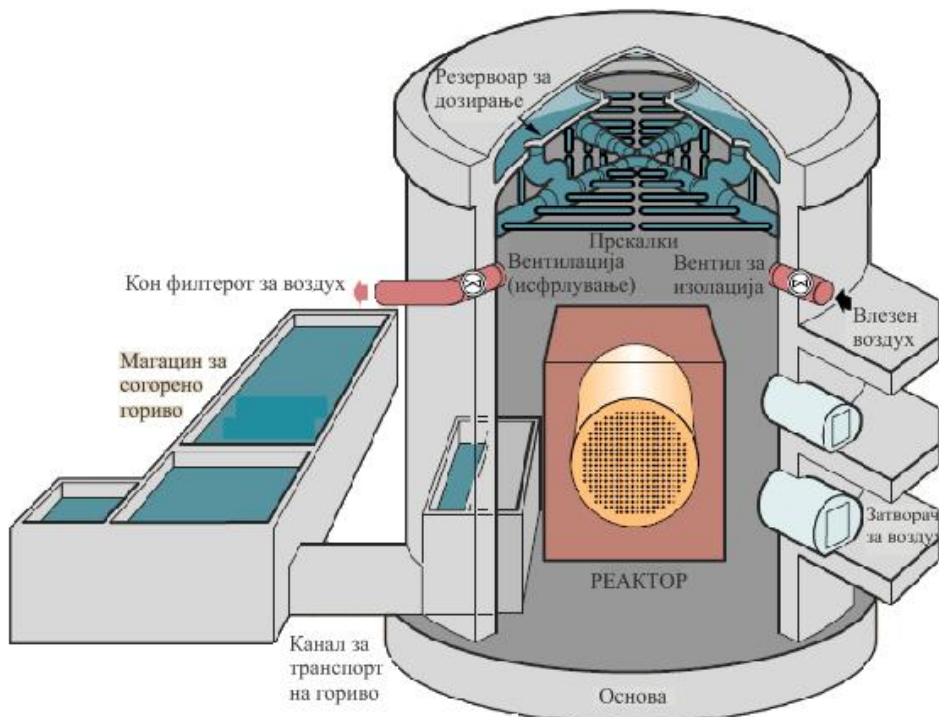
Целта на овој систем е обезбедување на херметична зона околу реакторот. За заштита од радиоактивност на реакторот постојат поголем број системи (сл.4.28.):

- бетонска заштитна купола,
- автоматски систем на дозирање,
- ладилници на воздух,
- филтриран излез на воздухот,
- зотворачи на излезниот воздух,
- автоматски систем за изолација.

При поголеми пропуштања на топлинскиот круг притисокот во реакторската зграда може да порасне на 3,5 kPa, на кој се активира системот за заштита од радиоактивност. Системот за дозирање автоматски се пушта во работа при наголемување на притисокот на 14 kPa, а се запира при пад на притисокот на 7 kPa. Работата на системот зависи од големината на пропуштањето.

Кондензацијата по ѕидовите на реакторската зграда и соодветната работа на ладилниците за воздух го редуцираат притисокот од 7 kPa на атмосферски притисок. Сушачите за воздух ја зголемуваат неговата температура на 16 °С. Тоа предизвикува потреба од свеж воздух кој се доведува преку сушачите во реакторската зграда. Исфрлениот воздух од реакторската зграда претходно се филтрира во филтерите за воздух, затоа што може да содржи

радиоактивни честички, а прочистен се исфрла во околината. При мали протекувања на топлинскиот круг може да се одржува атмосферски притисок.



Сл. 4.28. Сигурносен систем за заштита на околината од радиоактивност на реакторот.

При појава на гама активност во системот за вентилација се иницира сигнал кој ги затвора вентилите за излез на воздухот. Во просторот на полнење со гориво, поради оштетување на некои горивен елемент, може да се појави радиоактивност. Во тој случај веднаш се активира системот за изолација (заштита од радиоактивност). Загадениот воздух пред неговото исфрлање се филтрира.

4.7. ОДРЖУВАЊЕ НА ПОСТРОЈКИТЕ КАЈ НУКЛЕАРНИТЕ ЦЕНТРАЛИ

4.7.1. Претпоставени дефекти и начини на нивно елиминирање при проектирањето

Дефектите при погон на нуклеарните центри можат да се поделат во две главни групи:

- дефекти кои предизвикуваат хавариско запирање,
- дефекти кои не предизвикуваат хавариско запирање, односно во случаи кога може да се одржи нуклеарната централа во погон или е потребно нејзино запирање со помош на системите за регулација.

Дефектите кои предизвикуваат хавариско запирање може да се поделат на дефекти кои:

- е можно да се елиминираат во краток период, без концентрација на отровни продукти во реакторот и негово непречено повторно вклучување,
- не е можно да се отстранат во краток период и не е можно повторно пуштање на реакторот се додека реакторот не ја надмине состојбата на „јодна дупка“. Тој период редовно изнесува десетина часови.

Основни показатели за запирање на нуклеарната централа се:

- недозволен промени на притисокот на ладилното средство во примарниот круг,
- недозволен промени на температурата на ладилното средство во примарниот круг,
- недозволен промени на неутронската моќ на реакторот (брзината на оваа промена),
- појава на радиоактивни продукти во ладилното средство,
- прекумерни загуби на ладилно средство и модератор (протекување во генераторите на пара, во тешководните кругови и др.),
- недозволена промена на параметрите на парата пред турбината,
- недозволено влошување на вакуумот во кондензаторот,

- недозволен пад на проток во некои кругови (испад на главните циркулациони пумпи и др.),
- вклучување на заштитата на одредени главни постројки (подмачкување, деформации, загревање на лежишта и др.).

За намалување и елиминирање на дефектите потребно е благовремено да се дејствува. Превенцијата кон појавата на дефекти се постигнува со:

- подобра контрола при производство и монтажа на постројките,
- соодветни контроли на постројките во погон,
- придржување кон прописите и упатствата при експлоатација и одржување.

Проектантот на централата како погонска целина, мора да ги претпостави евентуалните дефекти на одредени уреди и постројки и потребно е да ги вгради при формирањето на концепциската целина на проектот. При појава на евентуален дефект на одредена постројка мора да постои пристап кон постројката за нејзино одржување. Затоа, нуклеарните центри покрај соодветна градежна конструкција, содржат и моќни системи за вентилација, дозиметриски системи за биолошка контрола на средината и постројки за деконтаминација.

4.7.2. Активност и контаминација

Под *активност* се подразбира процес при кој одредени постројки или медиуми стануваат извори на радиоактивно зрачење. Оваа така наречена секундарна активност се појавува во нуклеарните центри како последица на дејството на неутронското зрачење врз постројките или медиумите. Извори на активност можат да бидат само внатрешните делови на реакторот, или согорени горивни елементи, кои се изложени на неутронски проток во близина на реакторот. Работните медиуми кој протекуваат преку реакторот или во негова близина, како и микроскопските честички на прашина во воздухот, можат да бидат извори на неутронско зрачење. Степенот на активноста зависи од дозата на изложеност на неутронско зрачење и од изотопскиот состав на материјалот на постројката или работниот медиум.

Контаминацијата претставува загадување на внатрешните или надворешните површини на технолошките постројки или згради со честички кои се носители на активност (корозивни продукти, прашина, наслагите на соли и оксиди). Овие честички можат да се сретнат во работните медиуми кои струјат низ реакторот и неговите помошни кругови, како и во воздухот во просториите во кои се наоѓа постројка која работи со активни медиуми.

Постапката со кои постројките и работните медиуми се прочистуваат од активноста се нарекуваат деактивност. Кога се работи за деактивност на постројка изложена на неутронски проток, која станала активна, непостои друга можност освен да се чека да нејзината активност самоволно со распаѓање се намали на прифатливо ниво.

Кај работните медиуми во течна или гасна состојба постојат одредени можности за намалување на активноста:

- прочистување на медиумот на принципот на измена на јони,
- механичка филтрација,
- дестилација.

Постапката при кои површините на постројките и зградите се прочистуваат од активноста се нарекуваат деконтаминација.

4.7.3. Деконтаминација и одржување на постројките од примарниот круг

Пред одржување на технолошките постројки кои се сместени во нечистата зона на нуклеарната централа, секогаш се испуштаат работните медиуми и се прави деконтаминација. Деконтаминацијата се состои од внатрешно и надворешно промивање на уредите и постројките со средства за деконтаминација.

Средствата за деконтаминација може да бидат:

- механички (проток на вода),
- хемиски (деградација на талозите со киселини или бази),

Често пати се комбинираат и двете средства за деконтаминација. Хемиските средства за деконтаминација се применуваат тогаш кога протокот на вода не е доволен за отстранување на цврсто залепените или хемиски врзаните честички на површините. Комбинацијата на киселини и бази се применува за неутрализација на хемиската агресивност на средството за деконтаминација врз челичните делови. За намалување на корозијата кон некои средства за деконтаминација се додаваат инхибитори. Тоа значи дека изборот на средството за деконтаминација зависи од хемискиот состав на наслагите и од материјалот од кои е изработена постројката. Најчесто како средства за деконтаминација се користат: лимонска киселина, азотна киселина, натриум хидроксид, калиум хидроксид, разни органски растворувачи и вода. За наголемување на способноста за деконтаминација овие соединенија се загреваат.

Деконтаминацијата на внатрешните површини може да биде изведена на два начини:

- средството за деконтаминација циркулира низ постројката, а по употреба се исфрла во системот за радиоактивни води,
- постројката постојано се полни и празни со средство за деконтаминација.

За подобрување на ефикасноста на вториот начин на деконтаминација во средството за деконтаминација се пропушта воздух или пара. Постројката за деконтаминација може да биде стабилна и мобилна (преносна). За мали делови кои можат без проблем да се транспортираат, повољно е да во централата се направи едно централно место за деконтаминација (кади и боксови загревани со пара и соодветно вентилирани со воздух под притисок).

Деконтаминацијата на надворешните површини може да биде изведена со:

- црева за прскање,
- тушеви,
- тампони натопени во растворувачи.

Најприменуван начин на надворешна деконтаминација е со натопени тампони. Со тампоните се доконтанираат и површините на просториите.

Одржувањето на примарниот круг во зависност од видот на дефектот и видот на постројката може да се изведува:

- за време на експлоатација на централата,
- при стоење (по запирање) на централата.

При експлоатација на централата се врши одржување во блоковите или чворовите кои можат со помош на арматурата да се одвојат од другите делови на централата кои се наоѓаат во погон.

При стоење на централата при плански или неплански ремонт, одржувањето се изведува слично како кај конвенционалните термоцентрали, а се разликува во тоа што се контролира радиоактивниот замор на демонтираната постројка и активноста на просторот во кој се изведува одржувањето. При секое одржување кога централата е во погон, секогаш се изведува соодветна дозиметриска контрола. За да се намали опасноста од контаминација на персоналот, потребно е да се искористат сите можности за негова заштита, како:

- дополнително преградување,
- примена на лични заштитни средства,
- специјална обука на персоналот,
- менување на персоналот на одреден период и др.

4.8. ВЛИЈАНИЕ НА ОКОЛИНАТА ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА НУКЛЕАРНИТЕ ЦЕНТРАЛИ

Постојаниот развој на индустријата бара да се води се поголема грижа за загадувањето на околината со хемиски и механички штетни материи, топлина и радиоактивност. Централизираното производство на енергија е еден од методите за намалување на загадувањето на околината.

Нуклеарните центри се топлински загадувачи на околината. Радиоактивното загадување кое се појавува при нормален погон на нуклеарните центри е занемарливо мало и невлијание битно врз околината. Тоа значи дека нуклеарните центри ја загадуваат околината помалку од конвенционалните центри (таб. 4.2. и 4.3.).

Таб. 4.2. Влијание на термоцентралите врз околината:

Тип термоцентра				Причина за влијание врз околината	Вид на загадување на околината			
I	II	III	IV		A	B	B	Г
1	1	-	-	Потрошувачка на O ₂	1	-	-	-
2	2	-	-	Емисија на CO ₂	2	1	-	-
2	2	-	-	Емисија на SO ₂ , NO _x	1	2	1	-
2	1	-	-	Емисија на цврсти честички	2	2	-	2
1	1	-	-	Протекување на масло и др.	1	1	-	1
1	-	x	?	Радиоактивност	-	1	-	-
2	2	2	1	Емисија на топлина	1	2	-	2
1	1	1	1	Зафатено земјиште	-	-	-	1

I – Конвенционална ТЕЦ на јаглен
II – Конвенционална ТЕЦ на мазут
III – Нуклеарна централа
IV – Термонуклеарна централа

A – Клима
B – Живи организми
B – Предмети
Г – Природа

1 – Мало влијание
2 – Акутно влијание, тешко за регулација
x – Влијание при хаварија од 2 степен

За постигнување на мали вредности на радиоактивното влијание на нуклеарните центри врз околината, потребно е да бидат реализирани неколку соодветни чекори за заштита. Благодарение на квадратното намалување на интензитетот на радиоактивност и големиот број на препреки, немо-

же да се зборува за загадување на околината од нуклеарните центри. Сепак, како резултат на работата на нуклеарните центри се појавува нуклеарен отпад, кој е извор на јонизирано зрачење.

Таб. 4.3. Годишни дози на 1 жител од нуклеарна централа со моќ од 1000 MWe:

mSv/god		Нуклеарна централа	Круг со намалена густина на населеност (8 km)	Главен популационен периметар (40 km)
Препорачани вредности	Воздух и вода	5,0	1,7	1,7
	Природа	1,3	1,3	1,3
	Вкупно	6,3	3,0	3,0
Вистински вредности	Воздух	0,06	0	0
	Вода	0,44	0,02	0,02
	Природа	1,3	1,3	1,3
	Вкупно	1,8	1,32	1,32

Во нуклеарната централа или во постројката за преработка на нуклеарен отпад од технички причини не е можно чување на сите формирани радиоактивни отпади и затоа во пракса се постапува на следните начини со отпадите:

- се разредуваат во соодветен однос, а во контролирани количини и соодветно разредени се испуштаат слободно во околината,
- се згуснуваат и долгорочно под надзор се складираат во посебни складишта.

Периодот на полураспаѓање на радиоактивниот отпад во многу случаи е долг и токму затоа сигурната и економски оправданата елиминација на радиоактивниот отпад е едно од најбитните прашања кое се поставува при вклучување на нуклеарната енергетика во енергетиката на една земја.

4.8.1. Исфрлање на радиоактивен отпад во околината

Техничките и експлоатационите карактеристики на нуклеарните центри се такви да во нив бараат употреба на вода и воздух. Овие елементи се најбитни компоненти на животната средина. Постројките во нуклеарната централа не можат да се во потполност затнати и затворени, затоа водата и воздухот можат да станат активни, односно да се помешаат со носителите на радиоактивност. Честопати не е можно апсолутно одвојување на носителите на радиоактивност од основните работни медиуми и неостанува ништо друго

освен тие да се испуштаат во околината со отпадната вода и воздухот, но во поприфатливи концентрации. Приифатлив низок степен на концентрација на радиоактивните штетни отпадни материи се постигнува со разредување на отпадната вода и воздух. Мора да се напомене дека, тоа може да се примени после исцрпување на сите можности за одвојување на водата и воздухот од носителите на радиоактивност (таб. 4.4.).

Таб. 4.4. Радиоактивен отпад од нуклеарните центри:

ТЕЧЕН ОТПАД		
Тип на реактор	Вид на радиоактивен изотоп	Испуштена (исфрлена) концентрација Bq/dm ³
PWR BWR	Co-58, Co-60	$3,7 \cdot 10^{-10}$
	Sr-89	$3,7 \cdot 10^{-11}$
	Sr-90	$3,7 \cdot 10^{-10}$
	I-131	$3,7 \cdot 10^{-11}$
	Cs-134, Cs-137	$5,5 \cdot 10^{-10}$
	H-3	$7,4 \cdot 10^{-10}$
ГАСЕН ОТПАД		
Тип на реактор	Xe-133 Bq/kWh	Kr-85 Bq/kWh
BWR	$2,8 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^4$
PWR	$8,1 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$
HTGR	$1,3 \cdot 10^4$	$0,1 \cdot 10^4$
LMFBR	$4,0 \cdot 10^4$	$0,7 \cdot 10^4$

Концентрацијата на штетни материи се мери:

- на прагот на нуклеарната централа,
- на излезот од оцакот,
- во канализационите цевки.

Максималните дозволените концентрации (МДК) на радиоактивни материи (МДК за секој изотоп) во воздухот и водата се дадени во важечките прописи за МДК на штетни материи на секоја земја.

Концентрацијата на радиоактивни материи систематски се мери и во околината на нуклеарната централа. Надворешната служба за дозиметрија е опремена со автоматски станици за регистрирање и определување на радиоактивен отпад, волуменот на радиоактивни гасови и аеросоли во воздухот и радиоактивност на водата во околината. За исти цели може да се користи и мобилна станица со помош на која може да се земаат примероци од почвата, растенијата и животните во околината на нуклеарната централа. На земените примероци потоа се вршат соодветни лабораториски испитувања за определување на присуството на радиоактивни изотопи.

Мерењата се спроведуваат долгорочно, а отпочнуваат во одреден период пред пуштање на нуклеарната централа во погон.

Во постојан контакт со службата за дозиметрија е и метеоролошката служба. Постојат периоди кога нема ветар или инверзија во кои мора да се ограничи исфлањето на гасен радиоактивен отпад. Во тие периоди и високиот одак не е доволен за разредување на овие штетни материи. При некои технички операции во нуклеарната централа многу е потребно да се знаат метеоролошките услови во тој период, затоа што се очекуваат зголемени емисии на штетни материи од вообичаените.

4.8.2. Складирање на радиоактивен отпад

Цврстиот радиоактивен отпад во нуклеарните центри се појавува во количини околу $10 \text{ m}^3/\text{TWh}$.

Тој отпад се состои од:

- влошки од филтри,
- филтрирачки материали при работа на примарното ладилно средство, евентуално течниот модератор,
- изгорени горивни прачки,
- оштетени делови од примарниот круг и др.

Овој отпад доколку е можно се доконтаминира, волуменски се редуцира со пресување или согорување и во контејнери се транспортира до складиштето на цврст отпад.

Течниот радиоактивен отпад во нуклеарните центри се појавува во големи количини $10^3 \text{ m}^3/\text{TWh}$.

Тој отпад се состои од:

- вода за промивање при деконтаминација на постројките и просториите,
- отпадни води за промивање,
- течни концентрати добиени при работа на примарното ладилно средство,
- контролирано протекување на течности од примарниот круг и др.

Измерената активност на овие материи е толку висока дека не е можно нивно испуштање во водотечите, па дури и после нивното разредување со разредувачи. Затоа течниот отпад се згуснува со седиментација, згрутчување,

измена на јони и испарување, а после тоа долгорочно се складира во складиштето на течен отпад. Иако се спроведува волуменска редукција на течниот отпад, количините се сепак големи.

Складирањето на течниот радиоактивен отпад е нарочно и несигурно. Во некои случаи овој отпад може да се складира при поволни геолошки услови во напуштени рудници на сол. Исфрлање на контејнери со течен радиоактивен отпад во големи водени површини (море, океан) е многу неповолно, но сепак и денес се користи. Високорадиоактивните течни отпади прво се ослободуваат од количината на вода и после тоа се врзуваат со некоја цврста материја како: бетон, асфалт, стакло и др. (таб. 4.5.). Вака стврднатиот високорадиоактивен отпад долгорочно се складира во посебни згради, земја, рудници на сол или се исфрлаат во море. За долгорочното складирање на високорадиоактивен отпад и денес непостои задоволувачко решение.

Таб. 4.5. Начини на волуменска редукција на течен радиоактивен отпад:

Технолошки начин	Подобност при активност на отпадот	Степен на деконтаминација	Степен на волуменска редукција
Седиментација, згрутчување	мала	$10 \div 10^3$	мал
Измена на јони	мала, средна	$10^2 \div 10^4$	мал
Испарување	мала, средна, висока	$10^3 \div 10^{12}$	50 ÷ 100
Фикасирање во бетон	мала, средна,	мал	1,5
Калцинација	средна, висока	$10^4 \div 10^8$	50 ÷ 100
Фиксирање во стакло	висока	10^8	350
Фиксирање во сол	средна, висока	500	2 ÷ 3
Фиксирање во асфалт	мала, средна,	10^4	2000

Изгорените горивни елементи хемиски не се преработуваат. Нивното складирање во нуклеарната централа е на период од 3 години. За таа цел се јавува потреба од изградба на регионални складишта. Со тоа само се одложува потребата од решавање на крајното складирање на високорадиоактивен отпад кој се појавува при работа на овие постројки.

Според интензитетот и периодот на радијација радиоактивниот отпад може да се подели на:

- нискоактивен
- средноактивен
- високоактивен

Нискоактивниот отпад зафаќа 90% од вкупното производство на радиоактивен отпад. Тоа се претежно контаминирани остатоци добиени при работа на радиоактивните постројки, како метали, хартиени и пластични пакувања, алати, заштитни одела и др. Овие материјали содржат релативно мала количина на радиоактивни нуклеиди и поради тоа не е потребна нивна посебна обработка (ладење), а складирањето може да е во површински складишта.

Средноактивниот отпад е отпад кој неспаѓа во категоријата на нискоактивен отпад, а истовремено нема потреба од негов специјален третман како високоактивниот отпад. При манипулацијата со овој вид отпад потребно е негово ладење, но ослободената топлина е релативно мала. Во овој отпад спаѓаат пред се сервисирани материјали, како: навлаките за гориво, конструктивните материјали од горивните системи, нечистотии во форма на талози, исполната на колоните од хемиската подготовка на разладното средство и модераторот и уредите за подготовка на искористеното гориво. Некои од овие материјали се складираат во длабочинско геолошко складиште, а за останатите материјали може да се користи складирање во складиштата од површински тип.

Високоактивниот отпад ослободува значителна количина на топлина и затоа мора да се лади. Повеќе од 90% од овој отпад отпаѓа на согорените горивни елементи. Високоактивните супстанции претежно се наоѓаат во течна состојба и се одлагаат во стаклена матрица при процесот на витрификација. Главната опасност на овие отпади е високата концентрација на радиоактивни и екстремно долговечни радионуклеиди, со период на полураспаѓање од сто илјади и повеќе години. Посебно опасен е периодот во првите 300 години.

Од вкупното производство на радиоактивен отпад, на високоактивен отпад отпаѓа релативно мал процент, околу 1%, но овој отпад зафаќа 99% од вкупната активност. Затоа што периодот на полураспаѓање на високоактивниот отпад е долг, потребно е негово длабочинско геолошко складирање на подолг период.

При почетната фаза на горивниот циклус, односно подготовката на урановата руда, обогатувањето на горивото и производството на горивни елементи, може да се каже дека е постигнато техничко совршенство и безбедност. Тоа неможе да се констатира за завршната фаза на горивниот циклус, односно за преработката на горивото и складирањето на соодветниот отпад. Главна карактеристика на преработката е намалување на волуменот на отпадот, постигнување на стабилна форма на радиоактивните нуклеиди и пакување во соодветни пакувања со цел ограничување од евентуалното истекување на овие супстанции во околината.

Следната можна постапка при преработка на нуклеарниот отпад е негова преработка со цел повторно искористување. За жал, и покрај денешниот степен на технолошки развој се покажува дека цената на регенериралиот уран и добиениот плутониум не ги покриваат трошоците за преработка. Затоа, оваа преработка на високоактивен отпад можат да си ја дозволат само високоразвиените земји (Франција, Велика Британија, САД и Русија). На тој начин, од 1 t на согорено гориво се добиваат само 115 l на високоактивен отпад, кој понатаму се преработува со витрификација. Целиот циклус (пат) на гориво е прикажан на сл. 4.29.

Првата постројка за витрификација на отпадот била направена во Марсел, Франција во 1978 год. Потоа, оваа технологија се развивала и во други земји како: Челјабинск, Русија (1987); Виндскејл, В. Британија (1990).



Сл.4.29. Циклус на горивото

Сгореното гориво извадено од активната зона на реакторот веднаш не се преработува. Мора да биде складирано во период од 1÷3 години и ладено

во специјални резервоари, заради распаѓање на некои краткорочни и среднорочни изотопи за да се намали вкупната активност на горивото и топлинската моќ добиена при реакцијата на фисија. Резервоарите за складирање кои денес се користат се исполнети со вода. Водата ја намалува радиоактивната радијација и е добро ладилно средство, лесно е достапна, лесна е за обработка и е провидна што ја олеснува манипулацијата со горивото.

После 3 годишното складирање горивните елементи траба да се однесат на крајна преработка, но често пати поради недостаток на капацитети и поради понапред споменатите економски проблеми, прво се сместуваат во меѓускладишта. Во меѓускладиштата се случува понатамошно намалување на радиоактивноста и постепено ладење. Меѓускладиштата може да се поделат според:

- местоположбата и
- типот

Меѓускладиштето може да биде сместено во ареалот на нуклеарната централа или на друго место во својство на централно меѓускладиште за сите нуклеарни центри во земјата.

Според типот на меѓускладиштето се разликуваат мокри и суви меѓускладишта. Мокрите складишта се базени наполнети со вода. Оваа метода не е многу економски оправдана и манипулацијата со отпадот е отежната. Кај сувата метода манипулацијата со материјалот е многу поедноставна. Ова технологија денес многу е развиена и се користи за складирање на сите видови на горивни елементи. Горивните елементи се складираат во посебни контејнери (често пати мултифункционални контејнери) кои се подготвени за финално складирање. Ладењето се изведува со воздух.

Од меѓускладиштата или од постројките за преработка, отпадот се складира во финални складишта.

Складирање на ниско и средноактивни отпади: Овие отпади не се толку опасни како согореното гориво и затоа не е потребно нивно складирање во длабочински складишта или користење на сложени начини за нивно уништување. Овие складишта можат да се поделат на:

- институционални складишта и
- складишта наменети за отпад од нуклеарните центри

Во институционалните складишта се складира отпад добиен од експериментални постројки, постројки во здравството, земјоделски и прехранбени производни капацитети. Пред се, на отпадот му се намалува волуменот и се пакува во безбедно пакување. Фиксацијата на отпадот се изведува со цемен-

тирање во 500 l буриња. На тој начин подготвен отпадот се складира во површински или подземни складишта, кои треба да се заштитени од природни и технолошки влијанија (корозија, топлински влијанија и др.). Заради краткотрајната активност овие складишта после полнењето за запечатуваат и во период од десетици години надгледуваат. После тој период се претпоставува дека веќе не се опасни врз околината.

Складишта наменети за отпад од нуклеарните центри се наменети за овој тип отпад од нуклеарните центри. Начинот на подготовка на отпадот е сличен како кај институционалните складишта, односно доколку е можно се пресуваат, цементираат и пакуваат во буриња. Бурињата се поставуваат во складиштето, а меѓупросторот се исполнува со малтер.

Складирање на високоактивен отпад: Високоактивниот отпад се складира во претходно припремени длабочински подземни или подморски финални складишта.

Подморските складишта се градат во стабилни геолошки формации под морското дно. Отпадот релативно плитко се поставува во долните слоеви на консолидираните или неконсолидираните седименти. Оваа концепција има низа предности: непостојат подземни води, подобро разредување на радиоактивноста во случај на протекување, висок степен на заштита од непредвидливи ситуации. Недостатоци на оваа концепција се: сложен начин на градба на складиштата и политичко-социјални проблеми кои можат да настанат при користење на меѓународните води.

Подземните складишта се технолошки поедноставни за градба. Овие складишта се поставуваат во длабочина на неоштетена геолошка формација. Тоа најчесто се солни и кристални формации (напуштени рудници за сол). Секоја формација има свои специфичности и затоа пред градбата на подземните складишта потребно е формирање од подземни лаборатории за испитување на формацијата.

Принципот на изолирање на отпадот во длабочинските складишта е врз основа на мултибариерен систем. Целиот систем се состои од два основни дела:

- природна бариера (геолошка средина), која се избира во согласност на одредени државни барања и податоци (гранити, солни формации и др.),
- инженерска бариера, која се состои од контејнери и повеќеслојна бариера на база на бентонит.

Природната бариера треба да биде по можност изотропна и хомогена, надвор од тектонско подрачје и без пукнатини и дисконтинуитетни површи-

ни. Најголемо влијание врз оваа бариера има промената на оптоварувањето, подземните води и топлината. Затоа е потребно претходно детално испитување на почвата, односно испитување на промените на нарушување на масивот.

Инженерската бариера се состои прво од стаклени матрици во кои се става високоактивниот отпад и контејнери во кој се ставаат стаклените матрици. Овие почетни бариери имаат за цел да спречат протекување на радионуклеидите при манипулација со отпадот. Контејнерите се изработуваат од јаглородни или нерѓосувачки челици, бакар или нивна комбинација, но може да се користи и титан или бетон. Контејнерите треба да го исполнат условот за антикорозивност. При евентуално оштетување на контејнерите, изолационата функција ја презема следната инженерска бариера (геотехничка бариера) на база на бентонит. Бентонитот е материјал избран врз основа на неговата постојаност на подолг период од неколку илјади години. Бариерата од бентонит има за цел спречување на продор на подземни води, миграција на радионуклеиди и добра проводливост на топлина кон геолошката околина.

Готехничката бариера се состои од повеќе слоеви и мора да ги исполнува следните услови:

- конструктивен слој кој ја обезбедува просторната постојаност на конструкцијата на складиштето,
- херметичен слој кој го сочинуваат поголем број на инјектажи,
- слој за пополнување на база на бентонит и песок
- слој за амортизација кој се состои од пресувани префабрикати изработени од смеса на бентонит и песок или графит.

Во нашата земја складирањето на радиоактивен отпад е регулирано со Правилникот за начинот на ракување, односно собирање, чување, кондиционирање, транспортирање и одлагање на радиоактивен отпад (СВ на РМ, бр. 130 од 30.09.2010 год.), кој претставува дополнување на Законот за заштита од јонизирачко зрачење и радијациона сигурност (СВ на РМ, 48/02 и 135/07).

4.8.3. Фактори на безбедност при изградба на нуклеарните центри

Првата асоциација за нуклеарна централа кај луѓето е небезбедност и радиоактивност (чувство на нелгодност, како резултат на од хаварији). Со правилна експлоатација и одржување на нуклеарните центри се обезбедува нивна сигурност и безбедност. Тоа значи дека нуклеарните центри можат да се вбројат во безбедните термоцентрали, за што сведочи нивната се поголема изградба во светот.

Врз изградбата на нуклеарните центри влијаат голем број фактори на безбедност (ограничувања):

- Околу нуклеарната централа потребно е да постои зона на безбедност. Зоната на безбедност е кружна површина околу нуклеарната централа со центар во реакторската зграда и со радиус минимум 500 m (сл.4.30.).
- Нуклеарната централа треба да биде поставена во близина на постојната електрична мрежа, како би можела поедноставно да се приклучи на електроенергетскиот систем.



Сл. 4.30. Радиус на безбедност кај нуклеарните центри.

- Најпогодно земјиште за изградба на нуклеарни центри се седиментните карпи, односно нуклеарната централа треба да биде изградена на цврста почва и сеизмички испитана почва.
- Потребно е да се наоѓа до поголема количина на вода (езеро, река и др.), затоа што е голем потрошувач на вода.
- Потребно е да биде изградена во близина на сообраќајница, односно во близина на пат, железничка пруга или да се користи воден транспорт.
- Минималната надморска височина на изградба на нуклеарните центри, односно најдолната кота од нуклеарната централа треба да е со надморска височина поголема од 10 m (заштита од цунами).

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. К.Димитров, "Одржување на термоенергетски објекти", Машински факултет, Скопје, 1978.
2. С. Армески, "Заштита во термоенергетски постројки", Машински факултет, Скопје, 1995.
3. Немцев.З.Ф., Арсенъев Г.В. "Теплоэнергетические установки и теплоснабжение", Энергоатомиздат, Москва, 1982.
4. Швец И.Т. и др. "Теплотехника", Виша школа, Киев, 1976.
5. Волков О. П., Ведеев В. А, Обрезков В. И., "Энергетические установки электростанций", Энергоатомиздат, Москва, 1983.
6. Рыжкин В. А., "Тепловые электрические станции", Энергия, Москва, 1976.
7. Арсенъев Г. В и др. "Тепловое оборудование и тепловых сети", Энергоатомиздат, Москва, 1988.
8. Ерохин В. Г, Маханъко М. Г, Самойленко П. И, "Основы термодинамики и теплотехники", Машиностроение, Москва, 1980
9. Резинов М. И, Липов А. М., "Паровые котлы тепловых электростанций", Энергоатомиздат, Москва, 1981.
10. М. Богнер, М Исаилович, П.Ненадовик, "Збирка прописа у машинству", ИРО - Граѓевинска књига, Београд, 1983
11. С. В. Усов, С. А. Козаров, "Режимы тепловых электростанций", Энергоатомиздат, Ленинград, 1985.
12. П. А. Баранов, "Эксплуатация и ремонт паровых и водогрейных котлов", Энергоатомиздат, Москва, 1986.
13. Б. В. Абалаков, Б.И. Резников, "Монтаж турбоагрегатов и синхронных компензаторов", Высшая школа, Москва, 1977.
14. М. Ктов, Т. Коичев, "Эксплоатация, одржаване и ремонт на термични и водоенергетични машини", Техника, София, 1985
15. Х. Христов, Д. Ковачев, "Эксплуатация и ремонт на нагревните повърхности на парните котли", Техника, София, 1975
16. И. В. Шнгел,-Крон, "Ремонт паровых турбин", Энергоатомиздат, Москва, 1981
17. "Упатство за експлоатација на турбината 13К125" и „Упатство за експлоатација на котелот ОВ-380" во ТЕ Осломеј-Кичево
18. Д. Д Трухнин, С. М. Лосев, „Стационарные паровые турбины", Энергоатомиздат, Москва, 1981.
19. А. М. Манъкова, „Судовые пароэнергетические установки", Транспорт, Москва, 1989.

20. Roxul-Technical product information, „Pipe insulation“, 2004.
21. M. Farhat, „Cavitation et phénomènes d'interface“, EPFL, Lausanne, Suisse, 2004.
22. C. Penche, „Laymans guidebook“, ESHA, U. Politecnica, Madrid, 1998.
23. J.L. Kueny, „Turbomachines hydrauliques“, EPFL, 2003.
24. J. Becvar, „Jaderne elektrarny“, SNTL, Praha, 1981.
25. Program team, „Technical summary Candu 6 reactor“, Canada, 2005.
26. B. Rouben, „Basic CANDU design“, Canada, 2005.
27. W. Garland, „How and why is Candu designed the way it is“, McMaster university, Hamilton, Ontario, Canada, 2003.
28. D. Hinds, Ch. Maslak, „Next-generation nuclear energy – ESBWR“, Nuclear News, 2006.
29. Technical working group, „Guidance for optimizing nuclear power plant maintenance programs“, IAEA, Wien, Austria, 2003.
30. W.G. Morison, „Nuclear power generation“, 2005.
31. Упатство за работа на термоенергетската постројка во „ОКТА“ – рафинерија за нафта, Скопје, 2007.
32. M. Stoiljkovic. „Primena maziva – deo turbinska ulja“ (2 izdanje), YUNG, Novi Sad, 2005.
33. R. Vasicek, J. Svoboda. Potential retrieval of buried spent nuclear fuel and civil engineering aspects. Nuclear energy for new Europe – Nuclear society of Slovenia, Ljubljana, Slovenia, 2009.
34. Закон за енергетика (СВ на РМ 63/06, 36/07, 106/08)
35. Закон за техничка инспекција (СВ на РМ 49/99)
36. Правилник за опрема под притисок (СВ на РМ 17/07)
37. Правилник за користење на опрема под притисок (СВ на РМ 32/09)
38. Законот за заштита од јонизирачко зрачење и радијациона сигурност (СВ на РМ, 48/02 и 135/07).
39. Правилник за начинот на ракување, односно собирање, чување, кондиционирање, транспортирање и одлагање на радиоактивен отпад (СВ на РМ, бр. 130 од 30.09.2010 год.)

Д-р Доне Ташевски

Вонреден професор на
Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“
Машински факултет во Скопје,
Институт за термичко инженерство.
Повеќе од 25 години работи во областа
на термичкото инженерство за што
сведочи големиот број на издадени
научни и стручни трудови.
Автор е на неколку книги - збирки задачи:
- Термотехнички машини и уреди;
- Топлински турбини;
- Термоенергетски постројки и др.

