

POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
II SESSIONE - ANNO 2009 - Vecchio ordinamento

Ramo Nucleare

TEMA N. 2

Si richiede il progetto di massima dei generatori di vapore di un reattore nucleare moderato e refrigerato ad acqua leggera (PWR) i cui parametri operativi, relativi alle condizioni nominali, sono riportati in tabella 1.

Tabella 1 - Principali parametri operativi del reattore PWR	
Potenza termica	3400 MW
Pressione media nel nocciolo	155 bar
Temperatura dell'acqua all'ingresso del nocciolo	292 °C
Aumento medio di temperatura nel vessel	33.5 °C
Temperatura dell'acqua del circuito secondario all'ingresso nei generatori di vapore	224 °C
Pressione dell'acqua del circuito secondario all'ingresso dei generatori di vapore	55 bar

Nell'ambito del progetto di massima si richiede lo sviluppo dei punti che seguono.

1. Scelta della tipologia dei generatori di vapore, con riferimento alle opzioni a ricircolazione e ad attraversamento forzato
2. Scelta del numero di generatori di vapore
3. Dimensionamento del fascio tubiero
4. Dimensionamento del mantello.

Nella scelta della tipologia del generatore di vapore (punto 1) si richiede al Candidato effettuare un confronto tra le due opzioni, mettendo in evidenza i vantaggi e gli svantaggi dei generatori di vapore a ricircolazione rispetto a quelli ad attraversamento forzato.

Il dimensionamento del fascio tubiero (punto 3) richiede la scelta del materiale dei tubi, della disposizione dei tubi nel fascio tubiero, la determinazione del diametro interno e del diametro esterno dei tubi, del numero di tubi e della loro lunghezza.

Nello sviluppo del punto (3) il Candidato effettui scelte motivate di alcuni dei parametri geometrici dei tubi e del fascio tubiero, determinando gli altri parametri in base a valutazioni di resistenza meccanica alla pressione e ai requisiti di scambio termico del fascio. Per i coefficienti di scambio termico lato tubi e lato mantello possono essere assunti in prima approssimazione tipici valori forniti dai testi e dai manuali per il deflusso monofase e bifase, in alternativa al calcolo esatto effettuato con le apposite correlazioni.

Per il dimensionamento del mantello (punto 4) si richiede la scelta del materiale, la determinazione del diametro interno e il calcolo dello spessore.

Il Candidato illustri infine gli elementi del progetto termico e meccanico dettagliato, non trattati nell'ambito del progetto di massima oggetto dei punti da (1) a (4).

Per quanto riguarda le proprietà termofisiche dell'acqua primaria e secondaria, il Candidato può fare riferimento ai dati delle tabelle 2 e 3, relative alle pressioni di 155 bar e 55 bar, prescindendo dalle cadute di pressione che si verificano nel circuito primario e nel generatore di vapore.

Per quanto riguarda il calcolo dello spessore dei tubi e del mantello, il Candidato può fare riferimento a tipici valori delle tensioni del tipo "design stress intensity" tratte dalle normative ASME III per alcuni materiali, riportate in tabella 6.

Tabella 1 - Proprietà dell'acqua alla pressione di 155 bar						
Temperatura	°C	290	300	310	320	330
entalpia	kJ/kg	1284.2	1337.6	1393.6	1452.9	1517.1
densità	kg/m ³	746.2	726.5	704.8	680.2	651.5
calore specifico a pressione costante	kJ/(kg °C)	5.243	5.458	5.744	6.144	6.759
viscosità dinamica	kg/(m s)	0.00009242	0.00008851	0.00008457	0.00008051	0.00007615
conducibilità termica	W(m °C)	0.5803	0.5625	0.5428	0.5213	0.4980

Tabella 2 - Proprietà dell'acqua sottoraffreddata alla pressione di 55 bar						
Temperatura	°C	220	230	240	250	260
entalpia	kJ/kg	944.5	990.7	1037.7	1085.7	1134.7
densità	kg/m ³	843.0	829.7	815.6	800.7	784.7
calore specifico a pressione costante	kJ/(kg °C)	4.586	4.658	4.743	4.844	4.967
viscosità dinamica	kg/(m s)	0.00012233	0.00011667	0.00011143	0.00010654	0.00010192
conducibilità termica	W(m °C)	0.6528	0.6442	0.6344	0.6231	0.6104

Tabella 3 - Proprietà del vapore surriscaldato alla pressione di 55 bar						
Temperatura	°C	270	280	290	300	310
entalpia	kJ/kg	2789.9	2832.9	2871.1	2906.2	2939.0
densità	kg/m ³	28.1	26.8	25.7	24.8	24.0
calore specifico a pressione costante	kJ/(kg °C)	4.651	4.019	3.644	3.387	3.196
viscosità dinamica	kg/(m s)	0.00001828	0.00001878	0.00001928	0.00001976	0.00002024
conducibilità termica	W(m °C)	0.0571	0.0561	0.0556	0.0553	0.0554

Tabella 4 - Proprietà dell'acqua saturo alla pressione di 55 bar		
Temperatura di saturazione	°C	269.97
entalpia	kJ/kg	1184.9
densità	kg/m ³	767.5
calore specifico a pressione costante	kJ/(kg °C)	5.118
viscosità dinamica	kg/(m s)	0.0000975
conducibilità termica	W(m °C)	0.5954

Tabella 5 - Proprietà del vapore saturo alla pressione di 55 bar		
Temperatura di saturazione	°C	269.97
entalpia	kJ/kg	2789.7
densità	kg/m ³	28.1
calore specifico a pressione costante	kJ/(kg °C)	4.653
viscosità dinamica	kg/(m s)	0.00001828
conducibilità termica	W(m °C)	0.0571

Tabella 6				
Tipici valori della "design stress intensity" secondo le norme ASME III per alcuni materiali				
Moltiplicare i valori per 1000 per ottenere psi (1 psi = 6894.76 Pa)				
	Temperatura in gradi °F			
	100	300	500	700
Acciai ferritici ("carbon steels")	20	18.9	17.3	15.4
Acciai ferritici ("low alloy steels" da 1% a 2% di cromo)	20	18	17.2	15.6
"low alloy steels" da 5% 9% di cromo	20	17.3	15.9	14.7
Acciai austenitici tipo AISI 304	20	20	17.4	15.9
Acciai austenitici tipo AISI 316	20	20	18	16.3
Leghe ad alto contenuto di nickel ("high nickel alloys" Ni-Fe-Cr)	20	20	20	20
Leghe ad alto contenuto di nickel ("high nickel alloys" Ni-Cr-Fe)	23.3	23.3	23.3	23.3