

100 p. 11, 100 p. 12

Harald Bartzack

Dresden, den 14.09.1978

Thesen zur Dissertation

"Untersuchungen zur aperiodischen Strömungsinstabilität der verdampfenden Zweiphasenströmung in zwangdurchströmten Verdampferrohren mit Unterkühlung am Eintritt"

1. Der progressiv steigende Elektroenergiebedarf erfordert den mit hohen Kosten verbundenen Bau und Betrieb großer energetischer Anlagen. Ausfälle derartiger Anlagen bewirken infolge der steigenden Einheitsleistungen neuer Kraftwerksanlagen sehr hohe volkswirtschaftliche Verluste. Die Notwendigkeit, auch große Kraftwerksblöcke in zunehmendem Maße beim Abfahren der Tages- und Wochenbelastung des Elektroenergiesystems einzusetzen, verlangt gute Manövrierfähigkeiten, um Teillasten, Minderlast und Aussetzerbetrieb zu fahren. Aus diesen Gründen werden für Betreiber und Projektanten höhere Anforderungen hinsichtlich der Gewährleistung der Betriebs- und Störungssicherheit bestehender und zukünftiger Anlagen gestellt.
2. Das Vordringen des Durchlaufprinzips für Dampferzeuger in konventionell oder nuklear beheizten Kraftwerken erfordert in Zusammenhang mit der Anwendung größerer Wärmestromdichten große Sorgfalt bei der wärme- und strömungstechnischen Auslegung der Verdampferheizfläche.
3. Die unter dem Begriff "Instabilität" zusammengefaßten Durchflußstörungen besitzen für die Verdampferrohre von Zwangdurchlaufdampferzeugern große Bedeutung. Vor allem die niedrigen Drücke, wie sie bei Anwendung der Gleitdruckfahrweise für Mindest- und Teillasten bestehen, führen zur erhöhten Instabilitätseigung. Die somit mögliche unkontrollierte Verringerung des Kühlmittelzuflusses gefährdet das Verdampferrohr und führt zur Lebensdauerverminderung durch Temperaturwechsel und im Extremfall zum Rohrreißer, dem Burnout, durch Überschreitung der zulässigen Rohrwandtemperatur bei der Siedekrise 2. Art.

Thesenentwurf

4. Bei instabilen, parallelgeschalteten Verdampferrohren mit Unterkühlung am Eintritt tritt ausgehend vom Betriebspunkt infolge der Sattelausbildung in der Druckverlustcharakteristik ein aperiodischer Wechsel zwischen zwei unterschiedlich großen Massenstromdichten auf. Nur hydrodynamisch stabile Verdampferrohre bieten daher eine Sicherheit gegen ungewollte Änderungen des zur Vermeidung unzulässig hoher Wandtemperaturen bestimmten Kühlmittelzuflusses. In der hydrodynamischen Berechnung ist der Nachweis der aperiodischen Strömungsstabilität notwendig.
5. Grundlage der Diskussion über Strömungsinstabilität ist die Druckverlustcharakteristik (Druckverlust als Funktion der Massenstromdichte bei konstanten weiteren Einflussfaktoren). Anhand neuerer Erkenntnisse der verdampfenden Zweiphasenströmung wird zur Ermittlung des Druckverlustes das sogenannte "Schlupfmodell" angewendet und darauf aufbauend unter Verwendung der Lockhard/Martinelli-Methode für den Reibungsdruckverlust eine neue Bestimmungsgleichung zur Bewertung der aperiodischen Strömungsinstabilität entwickelt.
6. Das neue Stabilitätskriterium berücksichtigt die wesentlichsten Effekte der verdampfenden Ein-Komponenten-Zweiphasenströmung in zwangdurchströmten Verdampferrohren mit Unterkühlung am Eintritt. Das Kriterium ist im gesamten unterkritischen Druckbereich für geneigte und horizontale Verdampferrohre gültig und berücksichtigt:
  - beheizte Einphasenströmung
  - unterkühltes Sieden
  - Zweiphasenreibungsfaktor
  - Schlupf
  - Strömungsmassendampfgehalt
  - Wärmestromdichteprofil über der Rohrlänge
  - geodätische Höhe
7. Die speziellen Gültigkeitsgrenzen des Kriteriums werden durch die Wahl der zur Berechnung hinzuzuziehenden Bestimmungsgleichungen eingeeengt. Diese zusätzlichen Gleichungen bestimmen die beheizte Einphasenströmung, das unterkühlte

Sieden und den Proportionalitätsfaktor (bzw. Schlupf und Zweiphasenreibungsbeiwert) nach Martinelli/Nelson für den Reibungsdruckverlust.

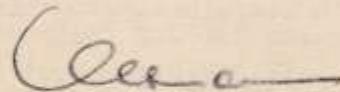
8. Für aperiodisch instabile Verdampferrohre können die Stabilisierungsmaßnahmen (Steigerung des Druckes, Anhebung der Eintrittstemperatur und Drosselung am Rohreintritt) mittels dem Stabilitätskriterium überprüft werden.
9. An der Versuchsanlage "Zweiphasenströmungsstabilität" wurde für den Eintrittsdruck von 10 bar die Strömungsinstabilität eines horizontalen Versuchsrohres untersucht. Für Eintrittstemperaturen unter 164,5 °C wurden Druckverlustcharakteristiken mit der die aperiodischen Instabilität kennzeichnenden Sattelausbildung aufgenommen. Für die Temperatur von 167,5 °C wurde eine hydrodynamisch stabile Druckverlustkurve ermittelt. Nach dem Stabilitätskriterium wurde die Grenztemperatur, die die Druckverlustcharakteristik beim Übergang vom instabilen zum stabilen Zustand (maximaler Instabilitätsfall) charakterisiert, mit 166,4 °C berechnet. Beim maximalen Instabilitätsfall befindet sich der Wendepunkt der Druckverlustkurve bei  $\dot{x}_2 \rightarrow \text{Null}$ .
10. Die Versuchsergebnisse wurden mittels Rechenprogramm DRUCK nachgerechnet, und es ergibt sich eine Abweichung der Rechenwerte zu den Meßwerten von < 14 Prozent. Im Rechenprogramm werden der Gasvolumenanteil und das unterkühlte Sieden mit den Beziehungen nach Miropolskij und der Proportionalitätsfaktor für den Reibungsdruckverlust mit einer modifizierten Funktion nach Becker bestimmt.
11. Der gewählte Aufbau des Rechenprogrammes DRUCK erlaubt durch den Ersatz der Unterprogramme ein relativ leichtes Verändern und die Anpassung des Rechenprogrammes an andere Gültigkeitsgrenzen.

Herr Bartzack

- mit Ihrem Bericht bin ich im Prinzip einverstanden und erkenne die Arbeit als Dissertation an.
- In Übereinstimmung mit früher geführten Aussprachen bestehe ich auf folgenden Ergänzungen:
  - ein didaktisch gut aufgebautes Rechenbeispiel, das zum Verständnis verhilft, unter welchen Bedingungen Gefahrensituationen eintreten und wodurch diese zu verhindern sind. Das Rechenbeispiel muß kurz gehalten sein.
  - Eine Arbeitsanweisung, die unmittelbar von KDB als Auslegungsrichtlinie übernommen werden kann. Eben diese Überführungsforderung von Forschungsergebnissen in die Praxis ist von besonderer Wichtigkeit, einen Wertmaßstab für Ihre Arbeit und nach einer eben mit Kollegen Thor, Dr. Jakobsen und Koll. Friedrich geführten Aussprache entscheidendes Merkmal, inwieweit wir uns auf die Bedürfnisse der des Industriepartners einstellen. Positiv ist zu werten, daß KDB nunmehr auf Grund Ihrer Arbeiten eine Weiterführung der Thematik wünscht.

b.w.

- ✓ - Wie verhält sich die mit der von Ihnen verwendeten Druckdifferenzmeßtechnik erzielte Genauigkeit zu den wichtigsten ausländischen Arbeiten auf diesem Gebiet? Sie wissen, daß ich einige Bedenken hatte.
- Ist die Übertragbarkeit auf große Rohrdurchmesser belegt und gesichert?
- Wie läßt sich die Wärmestromdichteverteilung auf dem Verdampferrohr (Membranwand!) zutreffend berücksichtigen?



4.8.78



Доп:											№1: F E	№7: Г Д Р	wird vom ZIID ausgefüllt					
№8:			№9:			№10:	H E M											
43:											44:							
41:																		
42:																		
№2:	①	2	№3:	№1	№3	№7	№8	№9	№4:	A	B	11:		1	②	3	18:	①
24:																		
название  текст реферата	название																	
	46:																	
	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	6																	
	7																	
	8																	
	9																	
	10																	
	11																	
	12																	
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23: ZIID																		
24:																		
25:																		
26:																		
27:																		
28:																		
29:																		
30:																		
31:																		
32:																		
33:																		
34:																		
35:																		
36:																		
37:																		
38:																		
39:																		
40:																		
41:																		
42:																		
43:																		
44:																		
45: AH																		
46:																		
47:																		
48:																		
49:																		
50:																		
51:																		
52:																		
53:																		
54:																		
55:																		
56:																		
57:																		
58:																		
59:																		
60:																		
61:																		
62:																		
63:																		
64:																		
65:																		
66:																		
67:																		
68:																		
69:																		
70:																		
71:																		
72:																		
73:																		
74:																		
75:																		
76:																		
77:																		
78:																		
79:																		
80:																		
81:																		
82:																		
83:																		
84:																		
85:																		
86:																		
87:																		
88:																		
89:																		
90:																		
91:																		
92:																		
93:																		
94:																		
95:																		
96:																		
97:																		
98:																		
99:																		
100:																		

Harald Bartzack