

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE BERICHTE

FZR-301

Oktober 2000

ISSN 1437-322X



Archiv-Ex.:

*Ulrich Grundmann, Sören Kliem, Ulrich Rohde, André Seidel,
Vladimir Khalimonchuk und Alexandr Kuchin*

**Beiträge zur Validierung
fortgeschrittener Störfallanalysecodes
mit 3D Neutronenkinetik -
WTZ mit der Ukraine**

Herausgeber:
FORSCHUNGSZENTRUM ROSSENDORF
Postfach 51 01 19
D-01314 Dresden
Telefon +49 351 26 00
Telefax +49 351 2 69 04 61
<http://www.fz-rossendorf.de/>

Als Manuskript gedruckt
Alle Rechte beim Herausgeber

FORSCHUNGSZENTRUM ROSSENDORF

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE BERICHTE



FZR-301

Oktober 2000

*Ulrich Grundmann, Sören Kliem, Ulrich Rohde, André Seidel,
Vladimir Khalimonchuk und Alexandr Kuchin*

**Beiträge zur Validierung
fortgeschrittener Störfallanalysecodes
mit 3D Neutronenkinetik -
WTZ mit der Ukraine**

Abschlußbericht

Final Report

Reaktorsicherheitsforschung-Vorhaben-Nr./
Reactor Safety Research-project No.:

150 1079

Vorhabentitel: **Beiträge zur Validierung fortgeschrittener Störfallanalysecodes mit 3D Neutronenkinetik - WTZ mit der Ukraine**

Project Title: **Contributions to the validation of advanced codes for accident analysis calculations with 3-dimensional neutron kinetics - STC with the Ukraine**

Autoren / Author(s): **U. Grundmann, S. Kliem, U. Rohde, A. Seidel
V. Khalimonchuk, A. Kuchin**

Dienststelle der Autoren /
Performing Organisation:

**Forschungszentrum Rossendorf e.V.
Institut für Sicherheitsforschung**

**Scientific and Engineering Centre for
Nuclear and Radiation Safety Kiev**

Berichtsdatum / Publication Date: **Oktober 2000**

Berichts-Nr. / Report-No.: **FZR-301**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 150 1079 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Kurzfassung

Im Rahmen eines vom BMBF/BMWi geförderten WTZ-Vorhabens wurde der ukrainischen Aufsichtsbehörde der Programmkomplex ATHLET-DYN3D verfügbar gemacht, welcher eine Anbindung des im FZR entwickelten 3D Kernmodells DYN3D an den thermohydraulischen Systemcode ATHLET der GRS darstellt. Zur Validierung dieses gekoppelten Programmcodes wurde eine Datensammlung angelegt, die entsprechend erarbeiteter Richtlinien Meßdaten von geeigneten Betriebstransienten bereitstellt. Für zwei ausgewählte Transienten wurden Validierungsrechnungen durchgeführt. Dabei wurden die Ergebnisse mit den Meßwerten aus der Datensammlung verglichen.

Der Programmcode DYN3D wurde von den ukrainischen Experten mit einer Ergänzung zur Berechnung von Reaktivitätskoeffizienten im Funktionsumfang erweitert. Diese Programmentwicklung ermöglicht es, den Einfluß der einzelnen Reaktivitätskoeffizienten bei verschiedenen Betriebsprozessen bzw. Störungen zu untersuchen.

Abstract

In the frame of a project on scientific-technical cooperation funded by BMBF/BMWi, the coupled code ATHLET-DYN3D has been transferred to the Scientific & Technical Centre on Nuclear and Radiation Safety Kiev (Ukraine). This program code represents an implementation of the 3D core model DYN3D developed by FZR into the GRS thermohydraulics code system ATHLET.

For the purpose of validation of this coupled code, a measurement data base has been generated. In the data base suitable experimental data for operational transients from NPPs are collected. The data collection and documentation was performed in accordance with a directive about requirements to measurement data for code validation, which has been elaborated within the project. The validation calculations have been performed for two selected transients. The results of these calculations were compared with measurement values from the data base.

The function of the code DYN3D was expanded with a subroutine for reactivity coefficients calculation. Using this modification of the code DYN3D, investigations of reactivity contributions on different operational processes can be performed.

Inhalt

1. Einleitung.....	2
2. Aufgabenstellung.....	2
3. Wissenschaftliche Ergebnisse.....	3
3.1. Richtlinien zu den Anforderungen an Meßdaten aus Kernkraftwerken.....	3
3.2. Meßdatensammlung zu Betriebstransienten aus KKW Saporoshje	3
Abschaltung einer von vier HKP	3
Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile.....	4
3.3. Generierung von Punktkinetikdaten für KKW Saporoshje	5
3.4. Einarbeitung in Anwendung des Programmkomplexes ATHLET-DYN3D	8
3.4.1. Codetransfer	8
3.4.2. Nutzertraining mit Durchführung von Störfallrechnungen	8
Abschaltung einer HKP am WWER-1000	8
FDL am WWER-440	10
FDL am WWER-1000	10
3.4. Validierung des Programmkomplexes ATHLET-DYN3D	12
Abschaltung einer von vier HKP	13
Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile.....	14
3.5. Programmergänzung für DYN3D zur Berechnung von Reaktivitätskoeffizienten	16
4. Zusammenfassung.....	18
5. Literatur	19
Anhang 1: Directive about requirements on measurement data for transient code verification.....	A1-1
Anhang 2: Aufbereitung und Dokumentation von neutronenphysikalischen und thermohydraulischen Daten aus Inbetriebnahmemessungen und Betriebstransienten in Kernkraftwerken.....	A2-1
Anhang 3: Abbildungen zur Validierung des Programmkomplexes ATHLET-DYN3D an Transienten aus dem KKW Saporoshje (Block 6)	A3-1
Anhang 4: Subroutine REACTI for reactivity coefficients calculation with help of DYN3D	A4-1

1. Einleitung

Gegenwärtig konzentrieren sich Störfallablaufanalysen in zunehmenden Maße auf die komplexe Modellierung von Szenarien, bei denen sowohl das thermohydraulische Anlagenverhalten, als auch die räumliche Neutronenkinetik des Reaktorkerns relevant sind. Um die Analyse solcher Szenarien zu ermöglichen, werden thermohydraulische Systemcodes mit 3D Neutronenkinetikmodellen gekoppelt. Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Vorhabens erfolgte die Kopplung des im FZR entwickelten 3D Kernmodells DYN3D an den thermohydraulischen Systemcode ATHLET der GRS /Gru95, Gru99/. Aufgrund der Berücksichtigung spezifischer Besonderheiten des Reaktortyps und des erreichten Validierungsstandes der Einzelprogramme eignet sich dieser Codekomplex auch für die Störfallanalyse von WWER-Reaktoren /Gru98/. Das wissenschaftlich-technische Problem besteht aber in der Validierung des gekoppelten Codekomplexes, die nicht mehr an Versuchsstandexperimenten erfolgen kann. Neben Programmvergleichen anhand von Benchmarks kommt der Nachrechnung geeigneter Transienten und betriebsnaher Störungen in KKW eine wesentliche Bedeutung zu. Zu diesem Zweck wurden im Rahmen dieses Vorhabens auch Meßdaten zu Betriebstransienten aus ukrainischen KKW mit WWER-Reaktoren aufbereitet, dokumentiert und für die Codevalidierung nutzbar gemacht werden.

2. Aufgabenstellung

Das Ziel des Vorhabens besteht in der Bereitstellung verifizierter Rechenprogramme für die Störfallsimulation, um eine verbesserte Sicherheitsbewertung von Reaktoren des Typs WWER-440 und WWER-1000 durch Experten der ukrainischen Atomaufsichtsbehörde (WTZ NRAU) zu ermöglichen. Das Vorhaben zielt auf eine Erweiterung der programmtechnischen Basis durch die Bereitstellung des gekoppelten Programmkomplexes ATHLET-DYN3D, eine Unterstützung bei der qualifizierten Anwendung der Programme für Störfallanalysen und Beiträge zur Validierung des Codes für die o.g. Reaktortypen.

Die Schwerpunkte des Vorhabens bestehen in

- der Übergabe des Thermohydraulikcodes ATHLET mit gekoppeltem Neutronenkinetikmodell DYN3D für WWER-Reaktoren mit hexagonalen Brennelementen an WTZ NRAU in Abstimmung mit der GRS; der Einarbeitung von Experten des WTZ NRAU in die Anwendung des Codekomplexes,
- der Identifikation von Bedarf und Anforderungen an für die Codevalidierung geeigneten Meßdaten,
- der Unterstützung bei der Erstellung einer Datenbasis für Verifikationsrechnungen durch die ukrainische Seite anhand von Betriebsdaten ukrainischer Reaktoranlagen mit WWER,
- der Qualifizierung der ukrainischen Programmanwender anhand von Verifikationsrechnungen mit dem Codekomplex ATHLET-DYN3D zu ausgewählten Transienten,
- der Auswertung und Einschätzung der Rechenergebnisse im Hinblick auf die Validierung des Codekomplexes aus reaktorphysikalischer Sicht,
- der Erarbeitung einer Programmergänzung zu DYN3D für die Verbesserung der Berechnung von Reaktivitätskoeffizienten,

- der Unterstützung bei der Durchführung von Analysen für ausgewählte Störfall-szenarien für WWER mit Hilfe von ATHLET-DYN3D.

3. Wissenschaftliche Ergebnisse

3.1. Richtlinien zu den Anforderungen an Meßdaten aus Kernkraftwerken

Auf der Grundlage von Erfahrungen aus der Codevalidierung wurden "Richtlinien zu den Anforderungen an Meßdaten aus KKW, Informationen über den Anlagenzustand, den Ablauf der Experimente sowie relevante Schalthandlungen zur Datensammlung für Validierungsrechnungen" erstellt.

Diese Richtlinien enthalten neben einer Spezifikation der für Validierungsrechnungen notwendigen Informationen über Reaktorzustand, thermohydraulischen Anlagenzustand, Prozeßverlauf und Schalthandlungen, auch eine Auswahl von Prozessen (z.B. Anlagenbetrieb bzw. Störungen), die für eine Validierung von Programmkomplexen (d.h. thermohydraulische Systemcodes mit 3D Neutronenkinetik) geeignet erscheinen (siehe Anhang 1).

In Vorbereitung der Arbeiten zur Meßdatensammlung wurden diese Richtlinien gemeinsam mit den ukrainischen Experten erörtert und abgestimmt.

3.2. Meßdatensammlung zu Betriebstransienten aus KKW Saporoshje

Von ukrainischer Seite wurden umfassende Recherchen zu Meßdaten über Betriebs-transienten aus Kernkraftwerken durchgeführt, deren Dokumentation ausreichende Informationen für eine Nachrechnung dieser Prozeßverläufe liefert.

Im Ergebnis dieser Arbeiten wurde ein Bericht zur Aufbereitung und Dokumentation von Meßdaten zu zwei transienten Experimenten am Block 6 im KKW Saporoshje (WWER-1000) erstellt /Kha97/. Auf der Grundlage der o.g. Richtlinien wurde die Eignung dieser Daten zur Validierung des gekoppelten Programmcode ATHLET-DYN3D ausgewertet und verifiziert.

Diese Dokumentation umfaßt die Beschreibung der dynamischen Experimente:

- Abschaltung einer von vier HKP bei einem Leistungsniveau von 75 % der Nennleistung nach 43,6 effektiven Betriebstagen des 1. Brennstoffzyklus und
 - Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile bei einer Leistung von 100 % nach 208 effektiven Betriebstagen des 1. Brennstoffzyklus
- sowie der für diese Prozesse relevanten Anlagensysteme. Eine Übersetzung dieses Berichtes ist im Anhang 2 enthalten.

Abschaltung einer von vier HKP

Bei einer Leistung von 77 % Nominallast wurde eine HKP abgeschaltet. Infolge dieser Pumpenabschaltung (Ansprechen des "Warnschutzes I") erfolgte durch den Leistungsbegrenzungsregler entsprechend der Betriebsvorschrift eine Leistungsabsenkung um 25 % des Nominalwertes und die Stabilisierung des Frischdampfdruckes durch das Turbinenregelsystem. Die Leistungsabsenkung wurde durch das Verfahren der Regelgruppe K10 realisiert.

Die den Ausgangs- bzw. Endzustand beschreibenden Parametergrößen sind in der Tabelle 3.1 zusammengefaßt.

Parameter	Parameterwert	
	zu Beginn der Transiente (t = 0 s)	am Ende der Transiente (t = 235 s)
Thermische Leistung [MW]	2292	1554
Position der Regelgruppe K10 [%]	79	45
Druck im PKL (oberhalb des Kerns) [MPa]	15.6	15.5
Kühlmitteltemperatur am Kerneintritt [°C]	285.5	284.0
Kühlmitteltemperatur am Kernaustritt [°C]	306.5	294.4
Höhenstand im Druckhalter [m]	7.52	7.01

Tab. 3.1: Anlagenzustand zu Beginn bzw. am Ende der Pumpenabschaltung

Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile

Bei diesem Lastabwurf stellte das Schließen der Turbinenschnellschlußventile das auslösende Ereignis dar. Aufgrund des nachfolgenden Ansprechens vom "Beschleunigten Warnschutz" (Einfallen der Regelgruppe K1) und nachfolgendem "Warnschutz I" (Einfahren der Regelgruppen K10 und K9) wurde die Leistung auf 37 % des Ausgangs abgesenkt. Bei diesem Prozeß wurde der Druck im Frischdampfsammler durch das Öffnen des Turbinenbypassventils BRU-K und das Ansprechen des Turbinenregelsystems stabilisiert.

In der Tabelle 3.2 sind einige den Ausgangs- bzw. Endzustand beschreibenden Parametergrößen enthalten.

Parameter	Parameterwert	
	zu Beginn der Transiente (t = 0 s)	am Ende der Transiente (t = 235 s)
Thermische Leistung [MW]	2945	1090
Position der Abschaltgruppe K1 [%]	100	0
Position der Regelgruppe K9 [%]	100	89
Position der Regelgruppe K10 [%]	83	18
Druck im PKL (oberhalb des Kerns) [MPa]	15.5	14.7
Kühlmitteltemperatur am Kerneintritt [°C]	287.6	279.2
Kühlmitteltemperatur am Kernaustritt [°C]	316.6	293.5
Höhenstand im Druckhalter [m]	8.75	6.00

Tab. 3.2: Anlagenzustand zu Beginn bzw. am Ende des Lastabwurfes

Im Einzelnen sind diese Transienten sowie die Ansprechkriterien der prozeßrelevanten Anlagensysteme im Anhang 2 dargestellt.

In dem Bericht werden für beide Transienten der Ausgangszustand der Anlage und der zeitliche Prozeßablauf beschrieben. Für die Pumpenabschaltung werden neben einer Gegenüberstellung der den Anlagenzustand charakterisierenden Parameter zu Beginn und am Ende des betrachteten Prozesses die Änderung der relevanten Parameter (Druckabfall und Drehzahl an der HKP-1; Position der Regelgruppe; Neu-

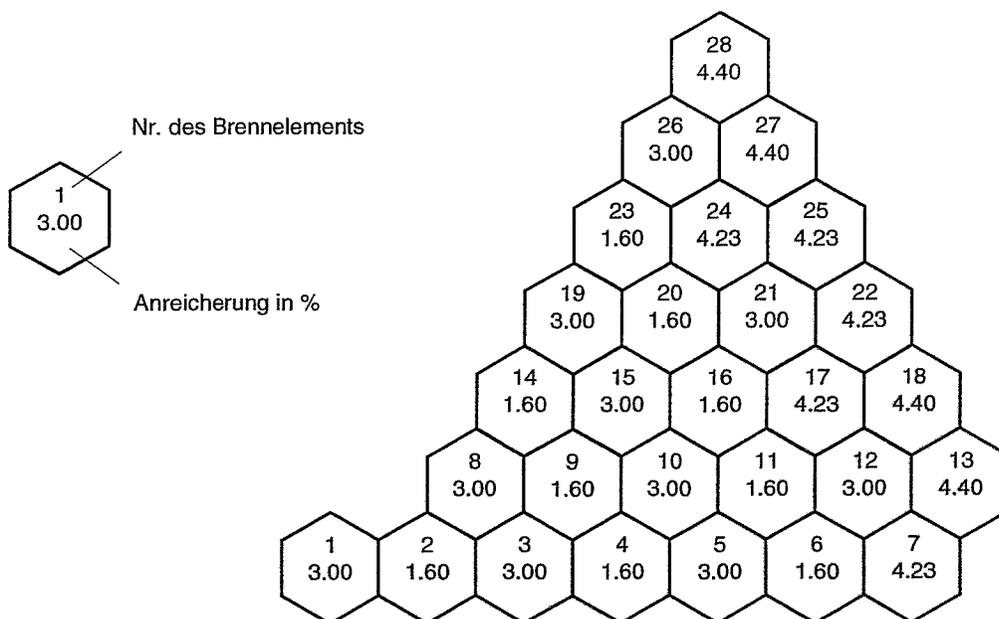
tronenleistung; Höhenstände im Dampferzeuger DE-1 und im Druckhalter; Druck in PKL, DE-1 und Frischdampfsammler sowie die Schleifentemperaturen in den kalten bzw. heißen Strängen) in Zeitablaufdiagrammen dargestellt. Der Lastabwurfprozeß wird ebenfalls durch die Zeitabläufe für repräsentative Prozeßgrößen (Druckabfall über Spaltzone und allen HKP; Position der Regelgruppe; Neutronenleistung; Höhenstände in den Dampferzeugern DE-1 und DE-2 sowie im Druckhalter; Druck in PKL, Druckhalter und Frischdampfsammler; Schleifentemperaturen in den kalten bzw. heißen Strängen; Speisewasserdurchsatz und -eintrittstemperatur für die Dampferzeuger) beschrieben.

Neben den hier enthaltenen Zeitverläufen für ausgewählte Anlagenparameter liegen die entsprechenden Meßdateninformationen als Datenfiles sowie zusätzliche neutronenkinetische Meßdaten in tabellarischer Form vor.

3.3. Generierung von Punktkinetikdaten für KKW Saporoshje

Um ATHLET-Rechnungen mit dem Punktmodell der Neutronenkinetik mit realistischen Reaktivitätsparametern zu ermöglichen, wurden aus stationären DYN3D-Rechnungen Reaktivitätskoeffizienten der Borsäurekonzentration, der Brennstofftemperatur und der Moderatortemperatur bzw. -dichte ermittelt.

Den Berechnungen zur Bestimmung von Punktkinetikdaten mittels DYN3D wurde die in Abbildung 3.1 dargestellte Beladung zugrunde gelegt. Weiterhin wurde der Reaktor am Anfang des 1. Brennstoffzyklus (BOC) und bei voller Leistung betrachtet. Die Regelgruppe K10 ist dabei 20 % eingefahren.



Anmerkung: Die Anreicherung von 4.23 % ergibt sich durch die Profilierung von Brennelementen mit einer Anreicherung von 4.4 % mittels Brennstäben mit einer Anreicherung von 3.6 %.

Abb. 3.1: Konfiguration der Spaltzone für die erste Beladung des Block 6 im KKW Saporoshje

Im ersten Arbeitsschritt wurde für die oben beschriebene Konfiguration die kritische Borsäurekonzentration bestimmt.

$$c_{\text{H}_3\text{BO}_3, \text{krit}} = 5.72805$$

Der Borsäureeffekt wurde mittels Änderung der Borsäurekonzentration in den Schleifen ($c_{\text{H}_3\text{BO}_3} = \text{var}$) bestimmt. Dabei diente die kritische Borsäurekonzentration als Bezugsgröße. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3.3 dargestellt.

$c_{\text{H}_3\text{BO}_3}, \frac{\text{g}}{\text{kg}}$	5.1	5.4	5.72805	6.0	6.3
k_{eff}	1.011181	1.005795	1.000000	0.995271	0.990131
$\Delta\rho = \frac{k_{\text{eff}} - 1}{k_{\text{eff}}}$	0.01105737	0.00576161	0.0	-0.00475147	-0.00996737
$\Delta c_{\text{H}_3\text{BO}_3}, \frac{\text{g}}{\text{kg}}$	-0.62805	-0.32805	0.0	0.27195	0.57195
$\frac{\Delta\rho}{\Delta c_{\text{H}_3\text{BO}_3}}, \frac{1}{\text{g/kg}}$	-0.01761	-0.01756	-	-0.01747	-0.01743
c_B, ppm	892.5	945.0	1002.4	1050.0	1102.5
$\Delta c_B, \text{ppm}$	-109.9	-57.4	0.0	47.6	100.1
$\frac{\Delta\rho}{\Delta c_B}, \frac{\text{pcm}}{\text{ppm}}$	-10.06	-10.04	-	-9.98	-9.96

Tab. 3.3: Bestimmung der Borsäure- bzw. Borkoeffizienten

Zur Abschätzung des Einflusses des Dopplereffekts wurde der Wärmeübergangskoeffizient im Gasspalt variiert, um bei fixierter Kühlmitteltemperatur am Spaltzoneneintritt und Leistungsdichte eine Veränderung der Brennstofftemperatur zu erzielen. Dies wurde durch das Variieren der Spaltbreite ($\Delta\delta_{\text{Spalt}} = \text{var}$) erreicht. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

$\Delta\delta_{\text{Spalt}}, \text{cm}$	0.0075	0.0103	0.0130	0.0195	0.0260
$T_{\text{fuel}}, ^\circ\text{C}$	665.6	725.8	780.2	898.6	1002.1
k_{eff}	1.002853	1.001327	1.000000	0.997259	0.995001
$\Delta\rho = \frac{k_{\text{eff}} - 1}{k_{\text{eff}}}$	0.00284488	0.00132524	0.0	-0.00274853	-0.00502412
$\Delta T_{\text{fuel}}, \text{K}$	-114.6	-54.4	0.0	118.4	221.9
$\frac{\Delta\rho}{\Delta T_{\text{fuel}}}, \frac{\text{pcm}}{\text{K}}$	-2.483	-2.437	-	-2.322	-2.264

Tab. 3.4: Bestimmung der Brennstofftemperaturkoeffizienten

Die Bestimmung der Moderatorichte- bzw. Moderatortemperaturkoeffizienten erfolgte auf der Grundlage einer variierten Kühlmitteltemperatur am Spaltzoneneintritt ($T_{\text{in}} = \text{var}$). Die Bezugswerte lieferte die Berechnung zum kritischen Zustand. Im Rahmen der Bestimmung der Moderatortemperaturkoeffizienten wurde der Einfluß der Brennstofftemperaturänderung berücksichtigt, indem der entsprechende Reaktivitätsbeitrag abgezogen wurde. Dabei stellt $\bar{\alpha}$ einen gemittelten Wert für den Temperaturkoeffizienten dar. In Tabelle 3.5 sind die entsprechenden Ergebnisse zusammengestellt. Die Daten wurden der GRS übergeben.

$T_{in}, ^\circ C$	200.0	230.0	250.0	270.0	287.0	290.0	295.0	300.0
$T_{fuel}, ^\circ C$	713.0	736.5	752.1	767.5	780.2	782.4	786.0	789.6
$T_{mod}, ^\circ C$	219.7	249.2	268.6	287.7	303.7	306.5	311.1	315.6
$\gamma_{mod}, \frac{kg}{m^3}$	850.859	811.778	783.146	751.092	719.723	713.693	703.257	692.332
k_{eff}	1.003583	1.002654	1.001930	1.001027	1.000000	0.999781	0.999381	0.998931
$\Delta\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$	0.00357021	0.00264697	0.00192628	0.00102595	0.0	-0.00021905	-0.00061938	-0.00107014
$\Delta T_{fuel}, K$	-67.2	-43.7	-28.1	-12.7	0.0	2.2	5.8	9.4
$\Delta T_{mod}, K$	-84.0	-54.5	-35.1	-16.0	0.0	2.8	7.4	11.9
$\Delta\gamma_{mod}, \frac{kg}{m^3}$	131.136	92.055	63.423	31.369	0.0	-6.030	-16.466	-27.391
$\Delta\rho_{fuel} = \bar{\alpha} \cdot \Delta T_{fuel}$	0.00159682	0.00103898	0.00066780	0.00030186	0.0	-0.00005228	-0.00013784	-0.00022339
$\Delta\rho_{mod} = \Delta\rho - \Delta\rho_{fuel}$	0.00197339	0.00160799	0.00125848	0.00072409	0.0	-0.00016677	-0.00048154	-0.00084675
$\frac{\Delta\rho_{mod}}{\Delta T_{mod}}, \frac{pcm}{K}$	-2.3493	-2.9504	-3.5854	-4.5257	-	-5.9561	-6.5034	-7.1155
$\frac{\Delta\rho_{mod}}{\Delta\gamma_{mod}}, \frac{pcm}{kg/m^3}$	1.5048	1.7468	1.9843	2.3083	-	2.7657	2.9245	3.0913

Tab. 3.5: Bestimmung der Moderatorkoeffizienten

3.4. Einarbeitung in Anwendung des Programmkomplexes ATHLET-DYN3D

3.4.1. Codetransfer

Da die Struktur des Programmes ATHLET die Ankopplung eines 3D Kernmodells auf verschiedene Weise ermöglicht, steht der Programmkomplex ATHLET-DYN3D mit zwei unterschiedlichen Kopplungsvarianten zur Verfügung.

Bei der sogenannten „internen Kopplung“ wurde der neutronenkinetische Teil von DYN3D analog zum vorhandenen Punktkinetikmodell als Teilmodell „Neutronenkinetik“ in ATHLET eingebunden. Die Modellierung des Kreislaufsystems einschließlich der thermohydraulischen Berechnung der Kühlkanäle des Reaktorkerns und der Temperaturen des Brennstoffs erfolgt im Code ATHLET.

Dagegen basiert die „externe Kopplung“ auf der Ankopplung des kompletten Kernmodells DYN3D, bestehend aus Neutronenkinetik, Thermohydraulik und Brennstabmodell, als nutzerdefinierte GCSM¹-Routinen. Da der gesamte Kernbereich aus dem ATHLET-Anlagenmodell herausgeschnitten wird, müssen die thermohydraulischen Parameter am Coreein- bzw. Coreaustritt zwischen den Einzelprogrammen übergeben werden /Gru95/.

Zur Implementierung des Programmkomplexes ATHLET-DYN3D auf den Rechnern im WTZ NRAU wurde im Rahmen dieses Vorhabens folgende Software übergeben:

- für die interne Programmkopplung:
 - modifizierte DYN3D-Programmrouinen und
 - UNIX-Scripts zur Generierung einer ausführbaren Programmdatei sowie
- für die externe Ankopplung:
 - modifizierte ATHLET- und DYN3D-Programmrouinen,
 - GCSM-Routinen und
 - weitere Hilfsprogramme.

3.4.2. Nutzertraining mit Durchführung von Störfallrechnungen

Zur Einarbeitung in das vom FZR erstellte gekoppelte Codesystems ATHLET-DYN3D wurde für die ukrainischen Experten ein Nutzertraining durchgeführt. Dafür standen Eingangsdatensätze für die Beispielszenarien:

- Abschaltung einer von vier HKP für einen WWER-1000 und
- Frischdampfleck (FDL) durch Abriß einer Frischdampfleitung an einem Dampferzeuger eines WWER-440 sowie eines WWER-1000 zur Verfügung.

Abschaltung einer HKP am WWER-1000

Der vorgegebene Ausgangszustand der WWER-1000-Anlage für die Abschaltung einer HKP war dadurch gekennzeichnet, daß sich der Reaktor am 40. Vollasttag auf einem Leistungsniveau von 95 % befand, wobei die Regelgruppe K10 ca. 71 cm eingefahren war. Ausgehend von einer Beladung mit frischem Brennstoff wurde mit Hilfe von DYN3D die Abbrandverteilung für den entsprechenden Vollasttag ermittelt. In den Rechnungen wurde der Reaktorkern als 30°-Symmetriesektor betrachtet, der eine Standardbeladung aufwies (siehe Abbildung 3.2). Für die thermohydraulischen Berechnungen der Anlage mit ATHLET wurde die Schleife mit der abgeschalteten HKP

¹ GCSM – General Control and Simulation Modul

als Einzelschleife und die übrigen Schleifen gemeinsam in einer Dreifachschleife modelliert.

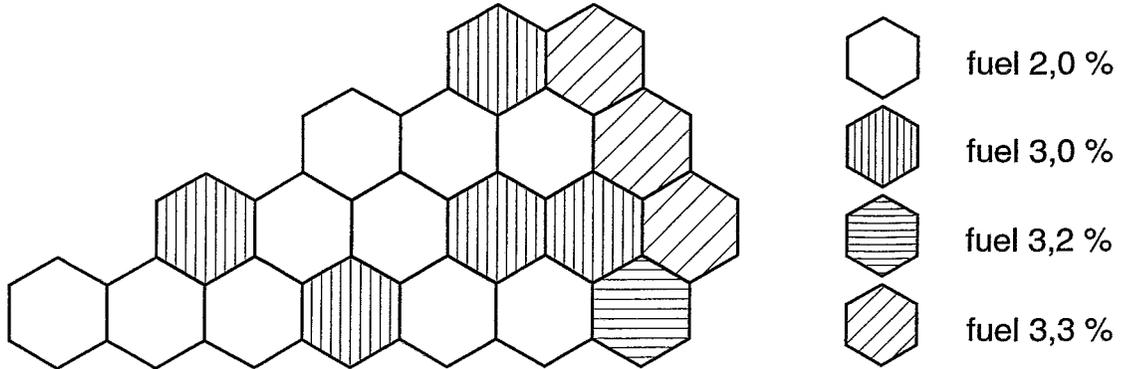


Abb. 3.2: Kernkonfiguration für Beispielrechnung - Pumpenabschaltung

Bei der Untersuchung dieser Pumpenabschaltung wurde sowohl die externe als auch die interne Programmkopplung verwendet. Diese Verfahrensweise ermöglichte die Demonstration der unterschiedlichen Kopplungsstrategien im direkten Vergleich. Die Zeitverläufe der grundlegenden Parameter während der Transiente sind in den Abbildungen 3.3 - 3.8 dargestellt. Entsprechend der Anregekriterien für den Wamschutz I /Bey98/ wird bei der Abschaltung [1v4] HKP die Reaktorleistung auf 67 % der Nominalleistung mittels Einfahren der Regelgruppe K10 abgesenkt. Dieser Prozeß wurde durch die Modellierung des Leistungsreglers umgesetzt.

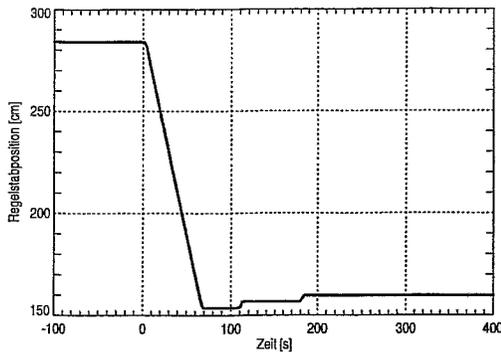


Abb. 3.3: Änderung der Regelstabposition der Gruppe K10 infolge Abschaltung [1v4] HKP

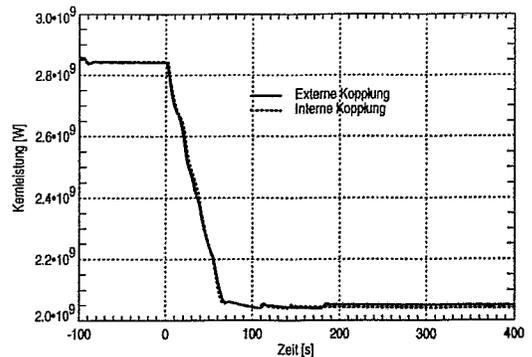


Abb. 3.4: Leistungsänderung während der Transiente

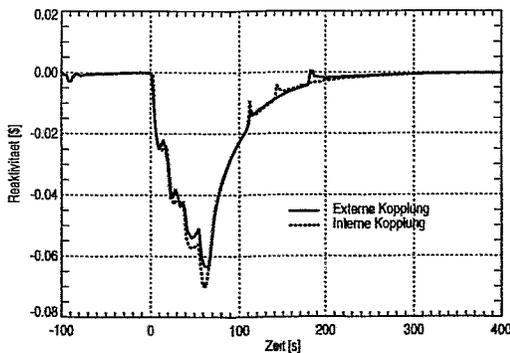


Abb. 3.5: Reaktivitätsänderung während der Transiente

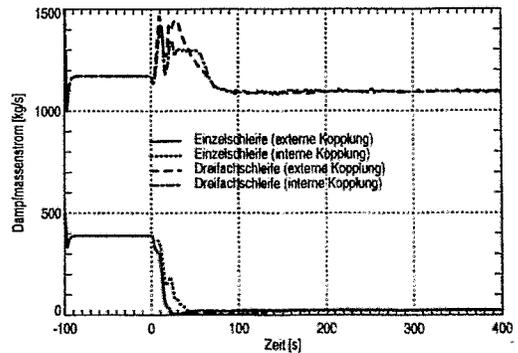


Abb. 3.6: Änderung des Dampfmassenstroms während der Transiente

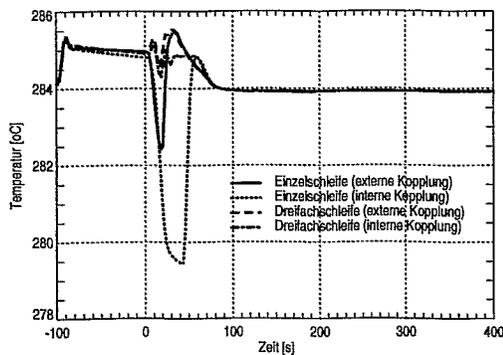


Abb. 3.7: Änderung der Kühlmitteltemperatur im kalten Strang während der Transiente

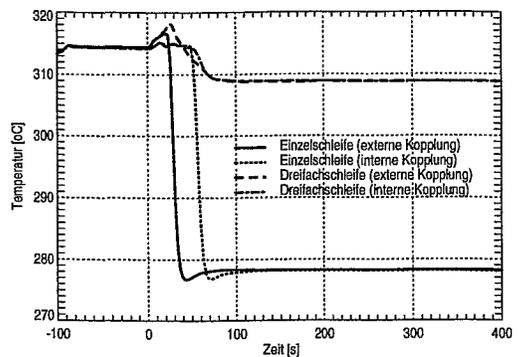


Abb. 3.8: Änderung der Kühlmitteltemperatur im heißen Strang während der Transiente

FDL am WWER-440

Die Analyse des Frischdampfleckes in einer WWER-440-Anlage wurde mittels der externen Kopplungsvariante des Programmkomplexes durchgeführt. Im Gegensatz zu den ersten beiden Anwendungsbeispielen erfolgten hier die neutronenphysikalischen und thermohydraulischen Berechnungen des Reaktorkerns durch DYN3D für jedes Brennelement separat (Vollcore-Rechnung), da die Verteilung der Kühlmittelintrittstemperatur über den Kernquerschnitt zu berücksichtigen ist. Diese Verteilung wurde mit Hilfe des in DYN3D integrierten Vermischungsmodells berechnet. Bei den thermohydraulischen Berechnungen der Anlage mit ATHLET wurden eine Einzel- sowie eine Fünffachschleife betrachtet.

Am Beginn des zu betrachtenden Szenarios befand sich die Anlage im Zustand "Heiße Nullast", wobei die Regelgruppen K1, K2, K3 in der oberen Endlage und die Regelgruppen K4, K5, K6 vollständig eingefahren waren. Die angenommene Reaktorleistung betrug 10 MW. Das Frischdampfleck wurde in der modellierten Einzelschleife initiiert. Im Szenario wurden das Schließen aller Absperrarmaturen, das Abschalten aller Hauptkühlwasserpumpen sowie das Auslösen der Reaktorschneellabschaltung SCRAM berücksichtigt. Beim Einfallen der Regelgruppen wurde angenommen, daß ein einzelnes Regelelement der Gruppe K3, welches sich im Kernsektor der Einzelschleifenanbindung befindet, in der oberen Endlage blockiert. Das Versagen der Boreinspeisung wurde unterstellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in den Abbildungen 3.9 – 3.19 dargestellt.

FDL am WWER-1000

Als vertieftes Training der Codeanwendung wurde ein analoges FDL-Szenarium für eine WWER-1000-Anlage berechnet (vgl. auch vorigen Abschnitt). Im ATHLET wurden die vier Schleifen durch eine Einzel- und eine Dreifachschleife modelliert. Die Anlage befand sich im Zustand "Heiße Nullast", wobei die Regelgruppen K1 - K6 in der oberen Endlage und die anderen Regelgruppen K7 - K10 vollständig eingefahren waren. Die Auslösesequenzen während des FDL-Szenarium wurden analog zu denen des FDL in der WWER-440-Anlage gewählt, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Unter diesem Gesichtspunkt wurde auch der Hilfsspeisewassermassenstrom mit 180 kg/s angepaßt (der reale Betriebswert liegt bei 75.71 Kg/s).

Die Ergebnisse sind im Vergleich zur FDL-Analyse für WWER-440-Anlage in den Abbildungen 3.9 - 3.19 dargestellt.

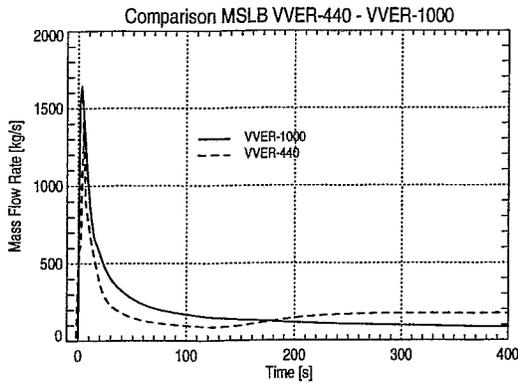


Abb. 3.9: Leckmassenstrom während des FDL-Szenarios

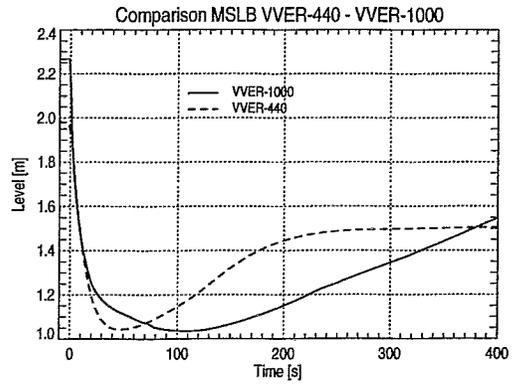


Abb. 3.10: Höhenstand im DE mit Leck

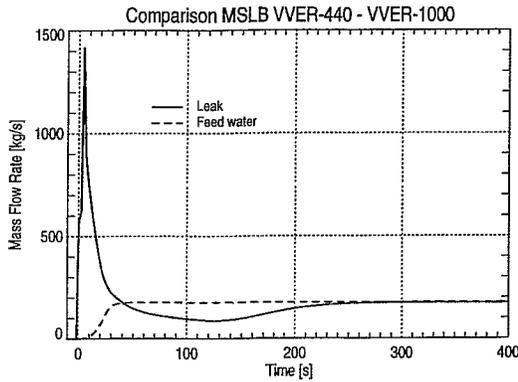


Abb. 3.11: Massenstrombilanz für DE mit Leck (WVER-440)

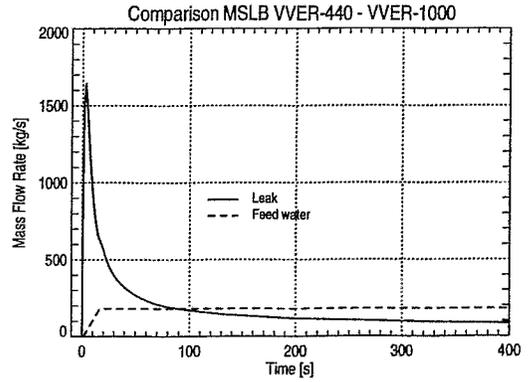


Abb. 3.12: Massenstrombilanz für DE mit Leck (WVER-1000)

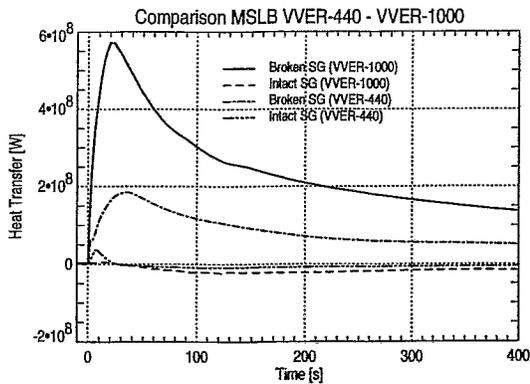


Abb. 3.13: Wärmeübertragung in den DE

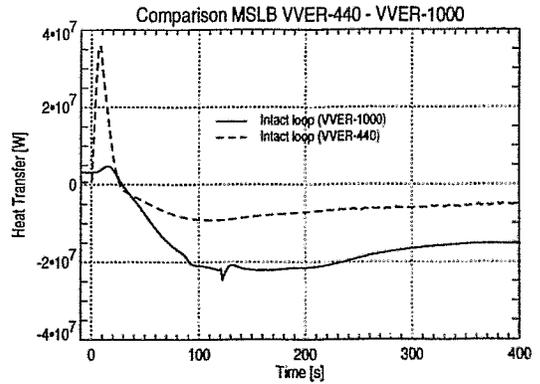


Abb. 3.14: Wärmeübertragung in den intakten DE

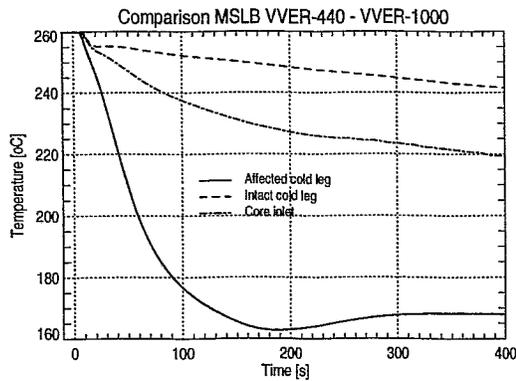


Abb. 3.15: Verlauf der Kühlmitteltemperaturen (WVER-440)

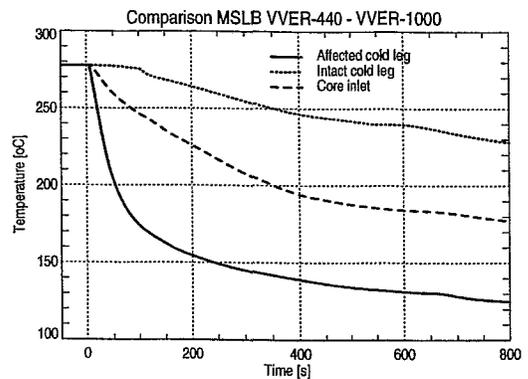


Abb. 3.16: Verlauf der Kühlmitteltemperaturen (WVER-1000)

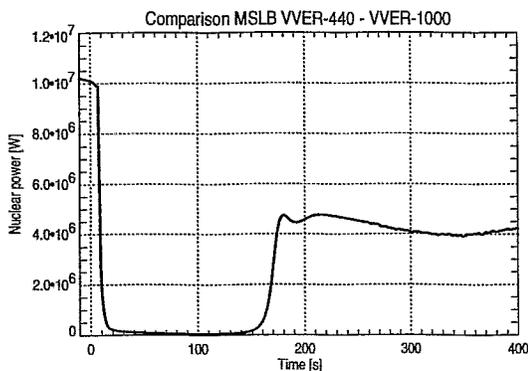


Abb. 3.17: Leistungsänderung während des FDL-Szenarios (WVER-440)

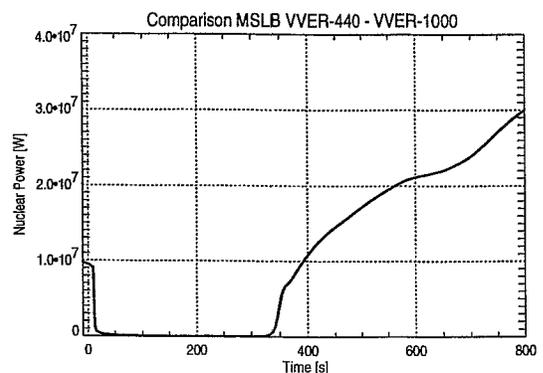


Abb. 3.18: Leistungsänderung während des FDL-Szenarios (WVER-1000)

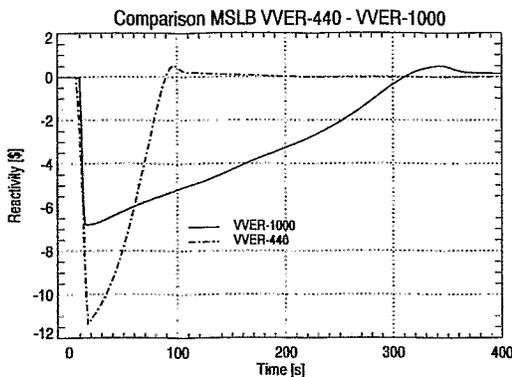


Abb. 3.19: Reaktivitätsänderung während des FDL-Szenarios

Die vergleichende Analyse von FDL-Szenarios für WVER-440 und WVER-1000 demonstriert die unterschiedlichen Eigenschaften beider Reaktortypen im Hinblick auf die Auslegungssicherheit. Aufgrund der 6-Schleifen-Anlage des WVER-440 führt ein Frischdampfleck in einer Schleife zu verhältnismäßig geringeren Auswirkungen als der analoge Störfall bei einem WVER-1000. So ist in der WVER-1000-Anlage trotz der angenommenen homogenen Vermischung ein größerer Leistungsanstieg zu verzeichnen.

3.5. Validierung des Programmkomplexes ATHLET-DYN3D

Bei der Validierung des Programmkomplexes ATHLET-DYN3D fanden die beiden im Rahmen dieses Vorhabens akquirierten Transienten (siehe Abschnitt 3.2):

- Abschaltung einer von vier HKP bei einem Leistungsniveau von 75 % der Nennleistung nach 43.6 effektiven Betriebstagen und
- schneller Lastabwurf durch Schließen der Turbinenschnellschlußventile bei einem Leistungsniveau von 100 % nach 208 effektiven Betriebstagen

Anwendung.

Abschaltung einer von vier HKP

Da die analysierte Abschalttransiente nach 43.6 effektiven Betriebstagen des ersten Brennstoffzyklus im KKW Saporoshje (Block 6) initiiert wurde, war es erforderlich, die Abbrandverteilung zu diesem Zeitpunkt mittels DYN3D zu bestimmen. Die Validierungsrechnung erfolgte mit Hilfe der internen Porgammversion des gekoppelten Codekomplexes ATHLET-DYN3D. In den vom DYN3D durchgeführten neutronenkinetischen Berechnungen wurde der Reaktorkern als 60°-Symmetriesektor betrachtet. Bei den thermohydraulischen Berechnungen der Anlage mit ATHLET wurden eine Einzel- sowie eine Dreifachschleife betrachtet. Der Reaktorkern wurde nur durch einen Kühlkanal modelliert. Die Pumpenabschaltung wurde in der modellierten Einzelschleife initiiert. Dabei wurde die Druckdifferenz über der abgeschalteten Hauptkühlmittelpumpe tabellarisch vorgegeben (siehe Tabelle 3.6).

Zeit [s]	0.0	4.0	10.0	18.0	25.0	63.0	78.0
Druckdifferenz (Relativwert)	1.000	0.8864	0.5904	0.5077	0.4182	0.2788	0.2788
Zeit [s]	114.0	141.0	210.0	244.0	274.0	2000.0	
Druckdifferenz (Relativwert)	0.2754	0.2737	0.2702	0.2702	0.2702	0.2702	

Tab. 3.6: Charakteristik zur Realisierung der Pumpenabschaltung

Die Ergebnisse des Vergleiches der berechneten Parameter mit den Meßwerten aus dem KKW sind in den Abbildungen A3.1 - A3.10 dargestellt (siehe Anhang 3).

Die Steuerung der Regelgruppe K10 erfolgte durch den im ATHLET modellierten Leistungsregler, wobei das infolge der Pumpenabschaltung einzuregelnde Leistungslevel entsprechend der Dokumentation zur Betriebstransiente mit 52 % Nominalleistung vorgegeben wurde. Der Unterschied zwischen berechneter und gemessener Regelstabposition am Ende der Transiente ist in einer vom Realwert abweichenden Regelstabwirksamkeit begründet.

Während des Einfahrens der Regelgruppe mit einer Geschwindigkeit von 2 cm/s sind die Zeitverläufe der Kernleistung und der Reaktivität (Abbildung A3.1, A3.2) vom Cusping-Effekt (ungleichförmige Änderung der Absorberwirkung bei langsamen Bewegungen der Regelorgane über mehrere Nodes) geprägt. Nach ca. 80 s der Transiente sind die Schwingungen im Leistungs- bzw. Reaktivitätsverlauf auf ein periodisches Verfahren der Regelgruppe (Abbildung A3.3) zurückzuführen, das aufgrund der Modellierung des Leistungsreglers hervorgerufen wird. Dabei wurden die Leistungswerte 51.2 % bzw. 52.5 % Vollast als Schwellwerte für das Ansprechen des Reglers verwendet.

Der Druck im Primärkreislauf und der Höhenstand im Druckhalter wurden in guter Übereinstimmung mit den Meßdaten berechnet (Abbildungen A3.4, A3.5).

In den Kaltstrang- und Heißstrangtemperaturen des PKL gibt es deutliche Abweichungen zwischen Rechnung und Messung (Abbildungen A3.6, A3.7). Zunächst ist festzustellen, daß die Meßwerte in den 4 Schleifen bereits im stationären Ausgangszustand deutlich voneinander abweichen. Diese durch Asymmetrie der Schleifen bedingten Unterschiede können in der Rechnung nicht berücksichtigt werden, da mit einer Einzel- und Dreifachschleife gerechnet wird sowie die unterschiedlichen Bedingungen in den Schleifen (evtl. Abweichungen in den Pumpencharakteristiken) nicht bekannt sind. Die Abweichungen zwischen den Mittelwerten der berechneten und gemessenen Kaltstrangtemperaturen im Ausgangszustand betragen 1.5 – 2 K und sind wahrscheinlich durch Differenzen im Massenstrom bedingt. Meßwerte für den Massenstrom liegen nicht vor. Die Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Heißstrangtem-

peraturen können damit erklärt werden, daß in der Rechnung der Massenstrom in der abgeschalteten Schleife (mit Strömungsumkehr) überschätzt (zu niedrige Heißstrangtemperatur in der rückwärts durchströmten Schleife) und der Massenstrom im Kern unterschätzt wird (zu hohe Heißstrangtemperaturen in den in Betrieb befindlichen Schleifen). Der Strömungswiderstand der rückwärts durchströmten Pumpe ist nicht hinreichend genau bekannt.

Der Druck im Frischdampfsammler wurde in der Rechnung entsprechend den Meßwerten geregelt (Abbildung A3.8).

Der Druck sowie der Höhenstand im Dampferzeuger zeigen in Rechnung und Messung die gleiche Tendenz (Abbildung A3.9, A3.10), es gibt kleine Differenzen im Ausgangszustand.

Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile

In Vorbereitung der Validierungsrechnung wurde die Abbrandverteilung zu Beginn der Transiente mit Hilfe des Programmcodes DYN3D bestimmt. Im Rahmen der Validierung des Programmkomplexes ATHLET-DYN3D an der Lastabwurftransiente wurde ebenfalls die Programmversion mit interner Kopplungsstrategie verwendet. Die Startparameter für die Berechnung dieser Transiente wurden in einer sogenannten Einschwingrechnung ermittelt. Dabei wurde die Berechnung des Anfangszustandes solange fortgesetzt, bis eine Stabilisierung der grundlegenden Anlagenparameter im PKL bzw. SKL eingetreten war (d.h. bei fehlender Anregung von außen tritt keine zeitliche Änderung der Anlagenparameter auf). Die folgenden Berechnungen des transienten Prozesses zeigten, daß der zeitliche Verlauf einiger Anlagenparameter im SKL erhebliche Abweichungen zu den Meßwerten aufwies.

Die Analyse dieser Ergebnisse ergab eine Abweichung zwischen modelliertem und realem Verhalten der Umleitstation BRU-K. Deshalb wurde in den folgenden Rechnungen der Druckverlauf im Frischdampfsammler entsprechend den Meßwerten vorgegeben (siehe Tabelle 3.7). So konnte nach dem Schließen der Turbinenschnellschlußventile der Dampfmassestrom zur Umleitstation BRU-K aus der Bedingung der Aufrechterhaltung des Druckes im Frischdampfsammler bestimmt werden.

Entsprechend Prozedardarstellung (siehe Abschnitt 3.2) wurden das Einfallen der Abschaltgruppe innerhalb von 4 s und das „aufeinanderfolgende“ Einfahren der Regelgruppen K10 und K9 modelliert. Dabei beginnt das Einfahren der Gruppe K9 entsprechend der Anlagendokumentation bereits, wenn die Regelgruppe K10 eine bestimmte Höhenposition passiert hat (d.h. nicht erst nach dem Erreichen ihrer unteren

Zeit [s]	Druck im Frischdampfsammler [MPa]
0.00	5.880
1.16	6.250
3.08	6.650
5.00	6.940
6.15	7.070
8.07	7.169
9.50	7.200
10.22	7.169
15.01	6.724
20.06	6.331
22.97	6.221
30.00	6.068
40.00	6.024
50.21	5.994
59.87	5.942
99.70	5.914
302.97	5.899
2000.00	5.899

Tab. 3.7: Zeitverlauf des Druckes im Frischdampfsammler nach dem Schließen der Turbinenschnellschlußventile

Endlage). Die Bewegung der Gruppe K9 war in den Meßdaten jedoch nicht eindeutig gegeben, so daß das am Ende der Transiente einsetzende Einfahren der Regelgruppe K9 in den ersten Nachrechnungen nicht beachtet wurde. Die korrekte Modellierung der Einfahrprozesse ergibt im Vergleich zwischen Rechnung und Messung eine gute Übereinstimmung der Stabstellungen am Ende der Transiente (siehe Tabelle 3.8).

	Messung	Rechnung
Position der Regelgruppe K10 am Ende der Transiente [%]	18	21
Position der Regelgruppe K9 am Ende der Transiente [%]	89	88

Tab. 3.8: Vergleich der Stabstellungen (Regelgruppe K10 und K9) am Ende der Transiente

Im Anhang 3 dieses Berichtes sind die Ergebnisse der Validierungsrechnungen im Vergleich mit den Meßwerten der Parameter dargestellt (siehe Abbildungen A3.11 - A3.21). Die berechneten Zeitverläufe weisen eine befriedigende Übereinstimmung mit den gemessenen Charakteristiken auf.

Die Abweichungen der berechneten Kernleistung von den Meßwerten ist hauptsächlich auf das Handling des Wärmeübertragungskoeffizients zwischen Brennstoff und Brennstabhülle im ATHLET-Modul (hier: interne Kopplung) zurückzuführen. Dieser wird über den gesamten Zeitraum als konstante Größe vorgegeben. Entgegen der Problemlösung im Programmcode DYN3D bzw. im Programmkomplex ATHLET-DYN3D (hier: externe Kopplung) besteht bei dieser Kopplungsstrategie nicht die Möglichkeit, den Wärmeübertragungskoeffizienten in Abhängigkeit der Brennstofftemperatur bzw. der Gasspaltbreite zu bestimmen /Kli99/. Somit kommt es zu einer Überbewertung des Leistungsniveaus am Ende der Transiente, wo im Experiment durch die Verringerung der Brennstofftemperatur bzw. die daraus folgende Vergrößerung der Gasspaltweite eine Verschlechterung der Wärmeübertragung zu verzeichnen ist. Somit wird die Brennstofftemperatur in der rechnung unterschätzt und die negative Dopplerrückkopplung führt zu einer Überschätzung der Leistung.

Die Vergleiche der Temperaturverläufe sind durch eine zeitliche Verschiebung der Ereignisse gekennzeichnet, die in technischen Umsetzung der Temperaturmessung begründet ist.

Die gravierenden Abweichungen in den Druckverläufen für PKL und Druckhalter (d.h. Druckanstieg bei $t > 110$ s) könnten darauf zurückzuführen sein, daß während des Experiments einige der Heizer im Druckhalter abgeschaltet wurden (in Folge eines Abschaltalgorithmus bzw. einer nicht dokumentierten Schalthandlung). Diese Schlußfolgerung resultiert aus Erkenntnissen, die im Rahmen eines internationalen Forschungsprojektes (PHARE-Projekt SRR 1/95) gewonnen wurden /Min99, Kli99/.

3.6. Programmergänzung für DYN3D zur Berechnung von Reaktivitätskoeffizienten

Die ukrainischen Experten erstellten ein den Code DYN3D ergänzendes Programmmodul, mit dessen Hilfe auf der Grundlage der in DYN3D berechneten normalen und adjungierten Flüsse und Ströme durch störungstheoretische Berechnungen folgende Reaktivitätskoeffizienten bestimmt werden können:

- 1) Moderatortemperaturkoeffizient
 - a) ohne Berücksichtigung der Moderatordichteänderung
 - b) unter Berücksichtigung der Moderatordichteänderung
- 2) Brennstofftemperaturkoeffizient
- 3) Moderatordichtekoeffizient
- 4) Borsäurekoeffizient

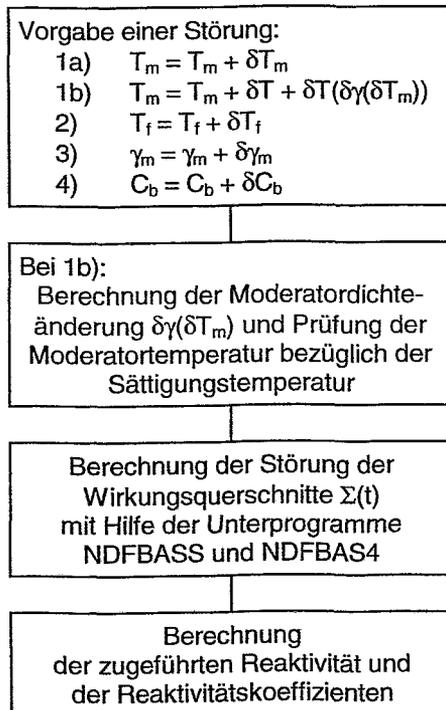


Abb. 3.20: Programmablaufschemata

Für die Bereitstellung der notwendigen Ausgangsgrößen (z.B. der adjungierten Flüsse und Ströme) wurde DYN3D durch die Programmierer des FZR entsprechend modifiziert. Diese Felder werden in einer Datei abgelegt und anschließend durch den Störungstheorie-Modul weiterverarbeitet.

In der Abbildung 3.20 ist die Verfahrensweise bei der Bestimmung der Reaktivitätskoeffizienten schematisch dargestellt.

Mit der Programmergänzung wurden Testrechnungen für verschiedene ukrainische Reaktoranlagen durchgeführt. Dabei wurden folgende Störgrößen angenommen:

- Brennstoff- u. Moderatortemperatur $1\text{ }^\circ\text{C}$
- Moderatordichte 0.5 kg/m^3
- Borsäurekonzentration $0.01\text{ g/kg}_{\text{H}_2\text{O}}$

Die erzielten Rechenergebnisse wurden mit verfügbaren Meßdaten zu den Borsäurekoeffizienten sowie isothermischen Temperaturkoeffizienten aus verschiedenen ukrainischen Reaktoranlagen (z.B. KKW Saporoshje (Block 1, 3 und 4), KKW Rowno (Block 2 und 3), KKW Südukraine (Block 1) sowie KKW Chmelnitzki (Block 1)) sowie mit Ergebnissen aus Berechnungen mit den Programmcodes BIPR und ALBOM verglichen. Außerdem wurden die mit der neuen Programmergänzung erhaltenen Ergebnisse mit Reaktivitätskoeffizienten verglichen, die aus zwei mit DYN3D berechneten stationären Zuständen bestimmt wurden. Diese Vergleiche sind auszugsweise in den Tabellen 3.9 - 3.11 dargestellt.

KKW Rowno (Block 2) <i>Anlagenzustand:</i> - 15. Brennstoffbelastung - Nulleistung - Kühlmitteltemperatur im kalten Strang $T_{in} = 261\text{ °C}$ - Position der Regelgruppe $H_{10} = 217\text{ cm}$	DYN3D (Störungs- theorie)	DYN3D (aus zwei stationären Zuständen)	Experiment
Borsäurekonzentration, g/kg	6.55	6.55	6.3
Moderatortemperaturkoeffizient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-14.23		
Brennstofftemperaturkoeffizient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-2.97	-2.99	
Isothermischer Temperaturkoeffizient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-17.20	-17.59	-18.38
Moderatordichtekoeffizient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	10.47	10.72	
Borsäurekoeffizient, $1/(\text{g}/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}) * 10^2$	-1.424	-1.422	

Tab. 3.9: Ergebnisse der Vergleichsrechnungen für KKW Rowno (Block 2)

KKW Rowno (Block 3) <i>Anlagenzustand:</i> - 12. Brennstoffbelastung - Leistung $W = 3000\text{ MW}$ - Kühlmitteltemperatur im kalten Strang $T_{in} = 287\text{ °C}$ - Position der Regelgruppe $H_{10} = 284\text{ cm}$	DYN3D (Störungs- theorie)	DYN3D (aus zwei stationären Zuständen)	BIPR
Borsäurekonzentration, g/kg	5.29	5.29	5.19
Moderatortemperaturkoeffizient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-29.99		-25.92
Brennstofftemperaturkoeffizient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-2.07	-2.07	-1.58
Moderatordichtekoeffizient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	12.99	13.32	14.07
Borsäurekoeffizient, $1/(\text{g}/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}) * 10^2$	-1.316	-1.315	-1.52

Tab. 3.10: Ergebnisse der Vergleichsrechnungen für KKW Rowno (Block 3)

KKW Saporoshje (Block 4) <i>Anlagenzustand:</i> - 12. Brennstoffbelastung - Leistung $W = 3000\text{ MW}$ - Kühlmitteltemperatur im kalten Strang $T_{in} = 287\text{ °C}$ - Position der Regelgruppe $H_{10} = 284\text{ cm}$	DYN3D (Störungs- theorie)	DYN3D (aus zwei stationären Zuständen)	ALBOM
Borsäurekonzentration, g/kg	6.15	6.15	6.19
Moderatortemperaturkoeffizient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-25.87		-24.17
Brennstofftemperaturkoeffizient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-2.07	-2.10	-1.55
Moderatordichtekoeffizient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	10.92	11.12	12.83
Borsäurekoeffizient, $1/(\text{g}/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}) * 10^2$	-1.283	-1.284	-1.481

Tab. 3.11: Ergebnisse der Vergleichsrechnungen für KKW Saporoshje (Block 4)

Die Bestimmung der Reaktivitätskoeffizienten einerseits mit Hilfe von DYN3D (einschließlich der Programmergänzung "REACTI") sowie andererseits mittels DYN3D (aus zwei stationären Zuständen) zeigte die Funktionstüchtigkeit des entwickelten

Programmmoduls. Bei diesen Vergleichsrechnungen waren folgende maximale Abweichungen der Reaktivitätskoeffizienten zu verzeichnen:

- Brennstofftemperaturkoeffizient - 3 %
- Borsäurekoeffizient - 3 %
- Moderator dichtekoeffizient - 10 % bei Nulleistung und 6 % bei Nennleistung²
- Moderatortemperaturkoeffizient - wird vom Wert des Moderator dichtekoeffizienten bestimmt.

Mit einer völligen Übereinstimmung der Ergebnisse kann nicht gerechnet werden, da es sich um unterschiedliche Berechnungsmethoden handelt.

Die störungstheoretische Methode ist nur für unendlich kleine Störungen anwendbar, besitzt aber den Vorteil, daß die Bestimmung der Reaktivitätskoeffizienten mit nur einer stationären Rechnung abzudecken ist. Im Gegensatz dazu erfordert die zum Vergleich eingesetzte Methode die Berechnungen von zwei stationären Zuständen.

Eine Beschreibung der Methodik und der Programmstruktur sowie eine umfassende Darstellung der Ergebnisse wird in Anhang 4 gegeben /Ovd98/.

4. Zusammenfassung

Der Programmkomplex ATHLET-DYN3D, der eine Anbindung des vom FZR entwickelten 3D Kernmodells DYN3D an den thermohydraulischen Systemcode ATHLET der GRS darstellt, wurde mit der Übergabe, der Einweisung in seine Nutzung sowie einer kontinuierlichen fachlichen Unterstützung der ukrainischen Experten bei der Lösung von Aufgabenstellungen im Rahmen des WTZ-Vorhabens erfolgreich bei der Aufsichtsbehörde der Ukraine eingeführt. Während der Nutzertrainings ermöglichten die verschiedenen Arten von Beispielrechnungen einen umfassenderen Einblick in die Anwendungs- bzw. Modifikationsmöglichkeiten des gekoppelten Programmcodes. Es wurden vergleichende Analysen zu einem FrischdampfleckszENARIO für WWER-440 und WWER-1000 durchgeführt

Mit der Nachrechnung von zwei Betriebstransienten aus dem KKW Saporoshje wurden Beiträge zur Validierung von ATHLET-DYN3D in der gekoppelten Programmversion geleistet. Die Dokumentation der Betriebstransienten erfolgte auf der Grundlage der im Rahmen dieses Vorhabens gemeinsam erstellten und erörterten „Richtlinien zu den Anforderungen an Meßdaten aus KKW, Informationen über den Anlagenzustand, den Ablauf der Experimente sowie relevante Schalthandlungen zur Datensammlung für Validierungsrechnungen“.

Die durchgeführten Validierungsrechnungen zeigten, daß die Modellierung des Primärkreislaufs eines WWER-1000 einschließlich Kern und Neutronenkinetik mit ATHLET-DYN3D zufriedenstellend ist. Unsicherheiten bestehen noch bei einigen Daten (Schaltkriterien für Druckhalterheizer, Pumpencharakteristik) sowie bei der Modellierung der Sekundärseite (liegende Dampferzeuger).

Mit der Erarbeitung einer Programmergänzung zur Berechnung von Reaktivitätskoeffizienten beteiligten sich die ukrainischen Experten aktiv an der Weiterentwicklung des Programmcodes DYN3D.

² Die größere Abweichung bei Nulleistung ist auf die kleineren Absolutwerte der Koeffizienten für diesem Zustand zurückzuführen.

In den Fachgesprächen bekundeten die ukrainischen Partner ihr Interesse an neuen im FZR erstellten Programmversionen von DYN3D (z.B. Programmmodifikation mit Xe-Option) bzw. des gekoppelten Programmcodes ATHLET-DYN3D. Mit den bisher bereitgestellten Instrumentarien konnte die ukrainische Aufsichtsbehörde zahlreiche Aufgabenstellungen ihres Verantwortungsbereiches erfüllen.

Durch die Nachrechnung von Meßdaten (Reaktivitätskoeffizienten) und von Transienten wurden gleichzeitig Beiträge zur Validierung der Codes DYN3D und ATHLET sowie des gekoppelten Codekomplexes für Reaktoren vom Typ WWER-1000 geleistet.

5. Literatur

- /Bey98/ Beyer M.: "Beschreibung von Funktion und Wirkungsweise sowie von Verriegelungen und Regelungen zu bestimmten technischen Systemen für Reaktoren vom Typ WWER-440/312 und WWER-1000/W320", Interner Bericht, Rossendorf, März 1998
- /Gru95/ Grundmann U., D. Lucas, S. Mittag, U. Rohde: „Weiterentwicklung und Verifikation eines dreidimensionalen Kernmodells für Reaktoren vom Typ WWER und seine Ankopplung an den Störfallcode ATHLET“, Forschungszentrum Rossendorf, Report FZR-84, April 1995
- /Gru98/ Grundmann U., S. Kliem, E. Krepper, S. Mittag, U. Rohde, F. Schäfer, A. Seidel: „Qualifizierung des Kernmodells DYN3D im Komplex mit dem Störfallcode ATHLET für die Störfallanalyse von WWER-Reaktoren“, Forschungszentrum Rossendorf, Report FZR-216, März 1998
- /Gru99/ Grundmann U., S. Mittag, U. Rohde: „The 3-Dimensional Core Model DYN3D“, Forschungszentrum Rossendorf, Report FZR-248, Januar 1999
- /Kha97/ Khalimonchuk V.: "Aufbereitung und Dokumentation von neutronenphysikalischen und thermohydraulischen Daten aus Inbetriebnahmemessungen und Betriebstransienten in Kernkraftwerken", Interner Bericht (in russischer Sprache), Kiew, Oktober 1997
- /Kli99/ Kliem S., S. Mittag, A. Seidel: "DYN3D-ATHLET calculations modelling the turning-off of one feed water pump from working two in the Balakovo-4 VVER-1000", Report FZR/SRR195/BALA2.1, Forschungszentrum Rossendorf, December 1999
- /Min99/ Minutes of 2nd Expert Mission, June 3 - 4, 1999, VTT Energy, Nuclear Energy, Espoo, Finland
- /Ovd98/ Ovdienko Yu.: „Subroutine REACTI for reactivity coefficients calculation with help of DYN3D“, Interner Bericht, Kiew, Dezember 1998

Anhang 1

**Directive about requirements on measurement data
for transient code verification**

DIRECTIVE ABOUT REQUIREMENTS ON MEASUREMENT DATA FOR TRANSIENT CODE VERIFICATION

This paper describes the requirements on the structure of measurement data bases which are prepared for validation of coupled neutronic-thermohydraulic code systems. The documentation of the data must include all relevant information about the transient processes, initial state of the plant and hardware actions necessary for calculations.

Listing of necessary information

Information	Primary importance	Secondary importance	Remark
A. Reactor physics initial state			
1. core loading pattern	x	-	
2. position of control rod	x	-	
3. nuclear power	x	-	
4. effective power days	x	-	
5. boron concentration	x	-	
6. history of power change	-	x	
7. history of Xe and Sm	-	x	
8. burnup distribution	-	x	
9. power distribution (axial and radial)	-	x	relativ values in tabular form
B. Thermohydraulic initial state			
1. Cold leg coolant temperature	x	-	measuring position
2. hot leg coolant temperature	x	-	measuring position
3. pressure in primary circuit (upper plenum)	x	-	
4. pressure in pressurizer	x	-	
5. pressure drop over core	x	-	measuring position
6. pressure drop over coolant pumps	x	-	
7. mass flow rates in primary circuit loops	x	-	
8. level in pressurizer	x	-	
9. level in steam generator	x	-	
10. coolant temperature at reactor core outlet	-	x	

Information	Primary importance	Secondary importance	Remark
C. Transient data			
1. time behaviour of relevant thermohydraulic parameters (according to B)	x	-	in tabular form
2. time behaviour of power	x	-	in tabular form
3. power distribution (axial and radial) at selected time points	-	x	relativ values in tabular form
D. Sequences of event			
1. description of the sequence of events including diagrams	x	-	correspondence of data with diagrams
2. movement of control rods	x	-	
3. reactor protection and control system actions	x	-	
4. operating mode of control systems (e.g. automatic power control)	x	-	
5. position of valves, opening and closing actions	x	-	with information about set points; opening characteristics (time-dependent cross section)
6. operation of pumps (main coolant pumps, feedwater pumps)	x	-	
7. auxiliary systems	-	x	

Remarks:

- All data and characteristics have to be saved on disk.
- Information about:
 - uncertainty estimation for all data (if available),
 - delay times for signals of measuring systems (low-pass filter constants),
 - signals activating reactor protection and control systems (including the delay times),
 - allocation of loops relative to the core (for fixing of core sectors related to the loops) and
 - component characteristics (e.g. pump run-down curve) are necessary.
- For using coupled codes it is necessary to model primary and secondary circuit with main components including control systems. This information have be to given for each specific plant configuration.

Listing of interesting transients and accidents

For the purpose of code validation, the following processes are suitable:

A. Transient events

1. fast power decrease regimes (to partial power level or power station internal load),
2. transition from hot zero power to minimum controllable power level
3. spurious reactor scram,
4. uncontrolled control group movements (e.g. insertion of a control rod or a group of control rods, withdrawal of a control rod group during power operation),
5. uncontrolled withdrawal of a control rod group under subcritical conditions or low power level during unit start-up,
6. outage of one or more main coolant pumps,
7. switching on of one main coolant pump,
8. inadvertent opening of pressurizer safety valve,
9. rupture of steam generator tubes,
10. loss of feedwater flow to one or more steam generator,
11. cold water injection to steam generator due to malfunction of feedwater system,
12. spurious opening of steam dump valve,
13. loss of heat sink (turbine trip),
14. connecting primary system loop containing cold coolant (only for VVER-440),

B. Accidents

1. inadvertent change of boron acid concentration (availability of data?),
2. seizure of one main coolant pump,
3. rupture of steam generator collector cover or several steam generator tubes,
4. spectrum of various steam line ruptures inside and outside the containment – including rupture of a single steam generator tube (availability of data?),
5. operation of the unit with a fuel element placed in wrong position during refueling.

The selection of processes from this listing should be performed taking into account of information about measured transient data, which are available.

Anhang 2

Aufbereitung und Dokumentation von neutronenphysikalischen und thermohydraulischen Daten aus Inbetriebnahmemessungen und Betriebstransienten in Kernkraftwerken

Übersetzung aus dem Russischen

UDK621.039.7
Staatl. Reg.-Nr.
Inv.-Nr.

ATOMAUDIT GmbH

Bestätigt durch den Generaldirektor

(Dienstsiegel)

gez. N.A. Steinberg

14. Oktober 1997

**Bericht
über die wissenschaftliche Forschungsarbeit**

**Aufbereitung und Dokumentation von neutronenphysikalischen und
thermohydraulischen Daten aus Inbetriebnahmemessungen und Be-
triebstransienten in Kernkraftwerken**

Projektleiter

gez. V. Khalimonchuk
14.10.1997

Kiew, 1997

A2-1

Kurzfassung

In dieser Arbeit werden die Transienten zur Abschaltung einer von vier Hauptumwälzpumpen (HUP) sowie zum schnellen Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile beschrieben, die während der Inbetriebnahmephase bzw. der Leistungsaufnahme am Block 6 des KKW Saporoshje auftraten. Es werden die Meßdaten zu den neutronenphysikalischen und thermohydraulischen Kennlinienverläufen während der Transienten, die Meßgenauigkeit sowie die Funktion des Reaktorregelsystems dargestellt.

Inhalt

1. Einleitung	A2-5
2. Charakteristiken der Anlagen und Reaktorregelsysteme des WWER-1000 am Block 6 des KKW Saporoshje	A2-6
2.1. Daten zur Messung wärmephysikalischer Parameter	A2-6
2.2. Genauigkeit der Bestimmung von wärmephysikalischen Parametern.....	A2-6
2.3. Verzögerungszeiten bei der Messung von wärmephysikalischen Parametern und beim Ansprechen der Schutzmechanismen.....	A2-7
2.4. Kenndaten für die HUP (entsprechend den Ergebnissen aus Inbetriebnahmemessungen).....	A2-7
2.5. Druckhalter (DH)	A2-8
2.6. Leistungsbegrenzungsregler (ROM)	A2-9
2.7. Reaktorleistungsregler (Automatischer Leistungsregler - "ARM").....	A2-9
2.8. Reaktorschutzsystem	A2-10
2.9. Reaktorleistungsbegrenzung (Warnschutz der 1. Ordnung - "PS-1").....	A2-10
2.10. Reaktorleistungsbegrenzung (Warnschutz der 2. Ordnung - "PS-2")...	A2-11
2.11. Reaktorleistungsbegrenzung (Beschleunigter Warnschutz - "URB")....	A2-11
2.12. Umleitstation in den Kondensator (BRU-K) und Speisewassersystem .	A2-12
3. Beschreibung der Transienten.....	A2-14
3.1. Ergebnisse der dynamischen Überprüfung der Reaktoranlage Block 6 im KKW Saporoshje im Regime mit Abschaltung einer HUP (einer von vier in Betrieb befindlichen).....	A2-14
3.2. Ergebnisse der Überprüfung der Reaktoranlage Block 6 im KKW Saporoshje im Regime des Lastabwurfs infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile bei der Leistungsaufnahme auf 100 %.....	A2-18
Anlage A	A2-21
Transiente zur Abschaltung einer von vier in Betrieb befindlichen HUP (14 Abbildungen)	
Anlage B	A2-36
Transiente zur Abschaltung einer von vier in Betrieb befindlichen HUP (Daten in Tabellen)	

Anlage C	A2-37
Transiente zum Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile bei der Leistungsaufnahme auf 100 % (16 Abbildungen)	
Anlage D	A2-54
Transiente zum Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile bei der Leistungsaufnahme auf 100 % (Daten in Tabellen)	
Anlage E	A2-55
Anzeigewerte der Incore-Instrumentierung	

1. Einleitung

In Anbetracht einer Reihe während des Betriebes ukrainischer Kernkraftwerke aufgetretener technischer und ökonomischer Probleme entstanden Abweichungen von den projektmäßigen Spaltzonencharakteristiken für den WWER-1000. Dies erfordert die Durchführung zusätzlicher Sicherheitsuntersuchungen, die oft eine Überprüfung von Transienten und projektmäßigen Störfällen beinhalten. Viele dieser Transienten und projektmäßigen Störfälle erfordern ihre Modellierung unter Verwendung eines das Modell der räumlichen Spaltzonenkinetik realisierenden Programms, das auch die Thermohydraulik des Primär- und Sekundärkreislaufes beschreibt. Auf der Grundlage der Analyse dieser Regime werden zusätzliche Beschränkungen für ihre Einbringung in das Betriebsregelwerk der einzelnen Blöcke in ukrainischen KKW erarbeitet sowie entsprechende Entscheidungen zu den Betriebsbedingungen durch die Aufsichtsbehörde der Ukraine getroffen, die gegenwärtig die Abteilung für kern-technische Aufsicht beim Umweltministerium darstellt. Im Rahmen eines BMBF-Projektes stellt das Forschungszentrum Rossendorf zwecks einer wissenschaftlich-technischen Unterstützung der Aufsichtsbehörde den gekoppelten Programmcode DYN3D-ATHLET für die Nutzung zur Verfügung. Für eine erfolgreiche Erfüllung der gestellten Projektziele, der Einweisung ukrainischer Spezialisten in die Nutzung dieses Programmkomplexes, sind die Schaffung einer Ausgangsdatenbank für den Block 6 im KKW Saporoshje, die Berechnung einiger Transienten sowie der Vergleich der Rechenergebnisse mit den Meßwerten vorgesehen. In diesem Bericht werden die Informationen zu zwei Transienten am Block 6 des KKW Saporoshje dargestellt, deren Nachrechnung mit dem Programmkomplex DYN3D-ATHLET im Nachhinein vorgesehen ist. Diese Arbeit ist die erste Etappe bei der Realisierung einer wissenschaftlich-technischen Unterstützung der ukrainischen Aufsichtsbehörde.

2. Charakteristiken der Anlagen und Reaktorregelsysteme des WWER-1000 am Block 6 des KKW Saporoshje

2.1. Daten zur Messung wärmephysikalischer Parameter

1. Der Höhenstand im Dampferzeuger (DE) wird für die Bezugsbasis 4000 mm angegeben, d.h. vom Boden des DE aus.
2. Die Thermoelemente (95 Stück) zur Bestimmung der Kassettenaustrittstemperatur sind in der Nähe der unteren Platte des Schutzrohrblockes (SRB) angeordnet. Kälteres Wasser aus den zentralen Führungskanälen gelangt bis zu den Thermoelementen.
3. Die Neutronenleistung wird mit der Ionisationskammer gemessen, die unterhalb der Spaltzone angebracht ist. Ihr Signal wird auch zur Berechnung der Reaktivität verwendet.
4. Die Aufheizung innerhalb der Brennelemente bestimmt man als Temperaturunterschied zwischen der mittleren Eintrittstemperatur aus allen 4 Schleifen und der Austrittstemperatur an jedem Brennelement.
5. Den Durchsatz jeder HUP wird aus dem bekannten Druckabfall über der jeweiligen HUP berechnet.
6. Die Eintrittstemperatur wird in der Hauptumwälzleitung nach der HUP gemessen (ca. 3 m vom Reaktor entfernt). Die Messung erfolgt mit 2 Thermoelementen und 1 Widerstandsthermometer. Es wird der Mittelwert aus den Messungen verwendet.
7. Die Austrittstemperatur wird ebenso wie die Eintrittstemperatur bestimmt. Der Meßort befindet sich auch in ca. 3 m Entfernung vom Reaktorgefäß.
8. Der Druck am Spaltzoneneintritt wird in Höhe des Eintrittsstützens gemessen, und der Druck am Spaltzonenausritt in Höhe des Austrittsstützens.
9. Der Druckabfall über der Spaltzone wird als Unterschied zwischen Eintritts- und Austrittsdruck bestimmt.
10. Der Druckabfall über der HUP wird am HUP-Eingang und -Ausgang unter Berücksichtigung des Gewichtes der Wassersäule bestimmt.
11. Die thermische Reaktorleistung wird anhand des Speisewasserdurchsatzes und der Enthalpieunterschiede im Sekundärkreislauf (SKL) berechnet.

2.2. Genauigkeit der Bestimmung von wärmephysikalischen Parametern

1. Fehler der Kühlmitteltemperaturmessungen in kalten und heißen Strängen: ± 2 °C (nach Angaben der Mitarbeiter aus dem KKW)
2. Fehler der Druckmessungen über der Spaltzone: 1,2 %
3. Fehler der Kühlmitteltemperaturmessungen in den Schleifen: 0,25 %
4. Genauigkeit der Bestimmung des Druckabfalls im Reaktor: 1,2 %
5. Genauigkeit der Bestimmung der Regelstabstellung: 5 cm
6. Genauigkeit der Bestimmung der Speisewassertemperatur: 0,75 %
7. Genauigkeit der Bestimmung des Speisewasserdruckes in der Schleifen: 1,2 %
8. Genauigkeit der Bestimmung des Frischdampfdruckes im DE: 1,2 %

2.3. Verzögerungszeiten bei der Messung von wärmephysikalischen Parametern und beim Ansprechen der Schutzmechanismen

1. Verzögerung bei der Messung von Kühlmitteltemperatur:
 - 20 s - gerätetechnische Verzögerung
 - 30 s - Relaxation (Nachwirkungserscheinungen)
2. Verzögerungszeit bei der Messung des Druckes über der Spaltzone - ca. 2 s (gerätetechnische Verzögerung + Relaxation)
3. Projektmäßige Durchlaufzeit für die Signale des Havarieschutzes (HS):
 - nicht mehr als 0,3 s ohne Spannungsausfall am Block
 - nicht mehr als 2,3 s bei Spannungsausfall am Block
 Die reale Ansprechzeit des HS bei Spannungsausfall beträgt 1,4 s + 0,2 s und somit die reale Fallzeit der Regelgruppen $\leq 5,6$ s.
4. Die Schließzeit der Schnellschluß- und Regelventile der Turbine beträgt ca. 1 s.

2.4. Kenndaten für die HUP (entsprechend den Ergebnissen aus Inbetriebnahmemessungen)

2.4.1. Durchsatz einer HUP: bis 27000 m³/h

Tatsächliche Kenndaten für HUP-Durchsatz, m³/h:

- 4 HUP in Betrieb: 84659
- 3 HUP in Betrieb: 3 * 24100
- 2 HUP in Betrieb: 2 * 26260
- 1 HUP in Betrieb: 26824

2.4.2. Auslaufzeit der HUP bei Spannungsausfall, s:

- bei 1 von 4 HUP: 60
- bei 4 von 4 HUP:
 - für HUP1 - 224
 - für HUP2 - 220
 - für HUP3 - 208
 - für HUP4 - 247

2.4.3. Auslaufkennlinie für HUP

(Projektwerte von Konstruktionsbüro OKB "Gidropress")

Auslaufzeit, s	Durchsatz, m ³ /h	Förderhöhe, kp/cm ²	Rotordrehzahl, min ⁻¹
0	20000	6,50	995
0,5	19450	6,15	968
1,0	18900	5,80	940
1,5	18450	5,50	917
2,0	18000	5,30	895
2,5	17550	5,00	873
3,0	17150	4,80	853
3,5	16750	4,60	833

Auslaufzeit, s	Durchsatz, m ³ /h	Druckhöhe, kp/cm ²	Wellendrehzahl, min ⁻¹
4,0	16350	4,35	813
5,0	15650	4,00	780
7,0	14400	3,40	716
10,0	12850	2,27	640
15,0	10900	2,00	542
20,0	9400	1,45	468
25,0	8400	1,15	418
30,0	7500	1,00	373
50,0	5160	0,45	257
90,0	3020	0,15	150
135,0	1820	0,05	90
180,0	1100	0,02	55
210,0	720	0,001	36
232,0	0	0	0

2.5. Druckhalter (DH)

<u>Leistung der Elektroheizer, kW:</u>	Gruppe 1	-	270
	Gruppe 2	-	270
	Gruppe 3	-	720
	Gruppe 4	-	1260
	<u>Gesamt:</u>		

Sprühsystem im DH:

- KKW-Angaben zu den Sprüheren im DH, kg/s:

YP11,12S02	-	164 ... 167
YP13S02	-	89
- Bei 4 in Betrieb befindlichen HUP und gleichzeitiger Öffnung von:

YP11,12S02	-	183
YP11,12,13S02	-	202
- Effektivität der Sprüher:

HUP in Betrieb

Sprühsystem	Mittlere Kühlmitteltemperatur, °C	dP/dt, kp/cm ² /s
YP11S01,02	284,8	0,33
YP12S01,02	280,0	0,37
YP11,12S01,02	279,0	0,38
YP13S02,03	278,0	0,15

2.6. Leistungsbegrenzungsregler (ROM)

Der Leistungsbegrenzungsregler verringert in folgenden Fällen die Reaktorleistung auf ein vorab festgelegtes Niveau:

- | | |
|--|-------------------------|
| • Abschaltung einer von vier HUP | - auf 67 % Nennleistung |
| • Abschaltung von zwei gegenüberliegenden HUP | - auf 50 % Nennleistung |
| • Abschaltung von zwei benachbarten HUP | - auf 40 % Nennleistung |
| • Abschaltung einer der Turbospeisewasserpumpen | - auf 50 % Nennleistung |
| • Abschaltung zwei von zwei Turbospeisewasserpumpen | - auf 8 % Nennleistung |
| • Schließen zwei von vier Turbinenschnellschlußventilen | - auf 40 % Nennleistung |
| • wenn thermische Leistung vorgegebenen Wert um 2 % überschreitet (Verzögerung von 50 s) | - auf festgelegten Wert |
| • wenn Neutronenleistung vorgegebenen Wert um 2 % überschreitet | - auf festgelegten Wert |

In allen Fällen wird der Reaktorleistungsregler abgeschaltet. Die Leistung wird durch das Einfahren der Regelgruppe mit Arbeitsgeschwindigkeit abgesenkt.

2.7. Reaktorleistungsregler (Automatischer Leistungsregler - "ARM")

Schutz und Verriegelungen

- Wenn die Reaktorleistungsbegrenzung (Warnschutz) "PS-1"¹ anspricht, schaltet der ARM in die Betriebsart "N"² um und das automatische Regime wird beendet. Nach Aufhebung des Signals geht der ARM zum automatischen Betrieb über, wobei er in der Betriebsart "N" verbleibt. Die automatische Umschaltung in die Betriebsart "T"³ ist nicht zugelassen.
- Wenn die Reaktorleistungsbegrenzung (Warnschutz) "PS-2" anspricht, ist eine Leistungserhöhung durch den ARM nicht zugelassen.
- Nach Erhalt des Warnschutzsignals vom Neutronenfluß-Kontrollsystem (Reaktorleistung größer als Nennleistung), schaltet der ARM in die Betriebsart "N" um und es wird ein Signal für das Verbot einer Leistungserhöhung gebildet.
- Nach Erhalt des Warnschutzsignals vom Neutronenfluß-Kontrollsystem (Reaktorperiode ist 40 s) bildet der ARM ein Signal für das Verbot einer Leistungserhöhung.
- Wenn der Druck im SKL den vorgegebenen Wert um 2 kp/cm² überschreitet, schaltet der ARM von der Betriebsart "N" auf die Betriebsart "T" um.
- Wenn der Druck im SKL unter 154 kp/cm² abfällt, bildet der ARM ein Signal für das Verbot einer Leistungsabsenkung.

¹ Lastabwurf; die Regelgruppen in der Reihenfolge 10, 9, 8, 7 usw. werden mit einer Geschwindigkeit von 2 cm/s in die Spaltzone eingefahren (mit Überschneidungen beim Übergang von einer zur nächsten Gruppe)

² Betriebsart des ARM zur Regelung der Neutronenleistung auf der Grundlage der Meßwerte aus den seitlichen Ionisationskammern. Dabei arbeitet das elektrohydraulische Turbinenregelsystem in der Betriebsart „RD“ (d.h. Regelung des Druckes am Turbineneintritt durch die Regelventile) oder „RDM“ (d.h. Regelung des Druckes und der Leistung).

³ Betriebsart des ARM zur Regelung des Druckes im Sekundärkreislauf (vor der Turbine) mit einer Genauigkeit von ca. 0,5 kp/cm². Die Turbine wird in der Betriebsart „RM“ (d.h. Regelung der Leistung) betrieben.

2.8. Reaktorschutzsystem

Signale für eine Reaktorschnellabschaltung

- Reaktorperiode im Quellbereich < 10 s
- Reaktorperiode im Zwischenbereich < 10 s
- Reaktorperiode im Energiebereich < 10 s
- Neutronenflußdichte im Energiebereich > 107 % des Nennwertes
- Temperaturdifferenz zwischen der Sättigungstemperatur und der Temperatur in einem beliebigen heißen Strang < 10 °C
- Druck oberhalb der Spaltzone < 148 kp/cm² und Reaktorleistung > 75 % der Nennleistung und Temperatur im heißen Strang > 260 °C
- Druck oberhalb der Spaltzone < 140 kp/cm² und Temperatur im heißen Strang > 260 °C
- Verringerung des Druckabfalls über einer HUP von 4 kp/cm² auf 2,5 kp/cm² innerhalb von 5 s
- Druck im DE < 4,9 MPa und in einer der Schleifen $(T_{S1} - T_{S2}) > 75$ °C
- Höhenstand in einem von vier DE 650 mm unterhalb des Nennwertes bei in Betrieb befindlicher HUP in dieser Schleife
- Druck im Primärkreislauf (PKL) > 17,6 MPa
- Höhenstand des Kühlmittels im DH < 4600 mm nach Anzeige des Höhenstandsmessers

2.9. Reaktorleistungsbegrenzung (Warnschutz der 1. Ordnung - "PS-1")

Es beginnt das aufeinanderfolgende Einfahren der Regelgruppen mit einer Geschwindigkeit von 2 cm/s. Der Einfahrprozeß wird nach Aufhebung des Signals "PS-1" abgebrochen.

Signale für diesen Reaktorschutz:

- Reaktorperiode < 20 s:
 - im Quellbereich
 - im Zwischenbereich
 - im Energiebereich
- thermische Reaktorleistung größer als die zulässige Größe, in Abhängigkeit von der Anzahl in Betrieb befindlicher HUP:
 - bei 4 HUP in Betrieb: > 102 %
 - bei 3 HUP in Betrieb: > 67 %
 - bei 2 gegenüberliegenden HUP in Betrieb: > 49 %
 - bei 2 benachbarten HUP in Betrieb: > 39 %
- Druck oberhalb der Spaltzone > 16,8 MPa
- Druck im Frischdampfsammler > 6,85 MPa
- Abschaltung von:
 - 1 von 4 in Betrieb befindlicher HUP
 - 1 von 3 in Betrieb befindlicher HUP
- Neutronenleistung 104 % der Nennleistung
- Auslösung mittels Schaltknopf "PS-1"

2.10. Reaktorleistungsbegrenzung (Warnschutz der 2. Ordnung - "PS-2")

Das Ausfahren der Regelstäbe ist bis zur Aufhebung dieses Signals verboten. Das Einfahren ist gestattet.

Signale für diesen Reaktorschutz:

- Neutronenflußdichte ist im Quellbereich größer als der vorgegebene Wert
- Druck oberhalb der Spaltzone > 16,3 MPa
- Einfallen eines Regelstabes

2.11. Reaktorleistungsbegrenzung (Beschleunigter Warnschutz - "URB")

2.11.1. Das System dient zur Erhöhung der Beständigkeit des Blockes und zur Abfederung von schnellen Transienten. Dies wird durch die gleichzeitige Leistungsabsenkung von Reaktor und Turbine mit einer bestimmten Geschwindigkeit erreicht. Für jede Brennstoffbeladung wird eine Regelgruppe als Gruppe für die beschleunigte Blockentlastung (URB) ausgewählt. Diese kann eine der Gruppen 1...4 oder 7 sein. Die ausgewählte Gruppe muß folgende Anforderungen erfüllen:

- die Auswahl der Gruppe muß unabhängig von Zeitpunkt und Betriebsregime sein
- das Einfahren der Gruppe muß eine Leistungsabsenkung auf 30...45 % gewährleisten
- nach der Leistungsabsenkung muß der Ungleichmäßigkeitskoeffizient im Brennelement $k_q < 1,35$ sein

2.11.2. Betriebsregime

2.11.2.1. Bei Normalbetrieb

Nach Erreichen einer Reaktorleistung von 75 % wird das System automatisch zugeschaltet.

Wenn die Reaktorleistung unter 75 % absinkt, wird der für das Einfallen der entsprechenden Regelgruppe verantwortliche Systemteil automatisch abgeschaltet.

2.11.2.2. Bei einem Betriebsregime mit Komponentenabschaltung

Bei der Abschaltung (gleichzeitige oder aufeinanderfolgende) von zwei HUP bei einer Reaktorleistung von 75 %.

Nach dem Abschalten der zweiten HUP:

- eine Regelgruppe fällt mit einer Verzögerung von 1,4 s in die Spaltzone ein;
- gleichzeitig geht der ROM in Betrieb und die Reaktorleistung wird bei der Abschaltung von zwei benachbarten HUP auf 40 % bzw. bei der Abschaltung von zwei gegenüberliegenden HUP auf 50 % abgesenkt;
- die Regelung der Reaktorleistung wird automatisch vom ARM an den ROM übergeben; sobald der ROM die Leistungsabsenkung vollzogen hat, wird die Regelung erneut dem ARM (in der Betriebsart "N") übertragen und die Reaktorleistung auf dem Niveau von 40 % bzw. 50 %

gehalten; eine Umschaltung des ARM in die Betriebsart "T" ist bei einer Druckerhöhung im SKL nicht gestattet;

- die Turbinenleistung wird durch das elektrohydraulische Turbinenregelsystem auf 350 MW bzw. 450 MW verringert.

Nach der Stabilisierung der Parameter beginnt der Operator mit dem Ausfahren der ersten Regelgruppe entsprechend der Dienstvorschrift.

Beim Schließen der Turbinenschnellschlußventile

- eine Regelgruppe fällt in die Spaltzone ein;
- gleichzeitig geht der ROM in Betrieb und die Reaktorleistung wird auf 40 % abgesenkt;
- die Regelung der Reaktorleistung wird automatisch vom ARM an den ROM übergeben; sobald der ROM die Leistungsabsenkung vollzogen hat, wird die Regelung erneut dem ARM (in der Betriebsart "N") übertragen und die Reaktorleistung auf dem Niveau von 40 % gehalten; eine Umschaltung des ARM in die Betriebsart "T" ist bei einer Druckerhöhung im SKL nicht gestattet;
- die Umleitstation in den Kondensator (BRU-K) wird aufgrund des Signals "Lastabwurf" geöffnet

Nach der Stabilisierung der Parameter beginnt der Operator mit dem Ausfahren der ersten Regelgruppe entsprechend der Dienstvorschrift.

2.12. Umleitstation in den Kondensator (BRU-K) und Speisewassersystem

Projektmäßige Grundlagen

Beim Normalbetrieb muß das System folgende Anforderungen erfüllen:

- Speisewasserdurchsatz:
Zu jedem der DE muß mindestens ein Durchsatz von 1470 t/h mit einer Temperatur von 220 °C (bzw. 164 °C falls die HD-Vorwärmer abgeschaltet sind) gewährleistet sein, wenn der Druck im DE 7,8 MPa beträgt. Dieser Durchsatz muß beim Normalbetrieb und während der Übergangsprozesse gewährleistet werden.
- Bei einem Lastabwurf von 100 % auf 90 % der Nennleistung innerhalb von 15 s müssen folgende Durchsätze erreichbar sein:
 - 4 * 900 t/h über Umleitstation (BRU-K)
 - 4 * 900 t/h über Abblaseregelventil (BRU-A)

Speisewassersystem

Beim Normalbetrieb erzeugen die Turbospeisewasserpumpen einen Gesamtdurchsatz von 6000 t/h, wobei der Druck auf der Druckseite 81 kp/cm² und die Temperatur 164 °C beträgt.

BRU-K und BRU-A

- Druckbereich für das erzwungene Öffnen/Schließen der BRU-K: 68...58 kp/cm²
- Druckbereich für das erzwungene Öffnen/Schließen der BRU-A: 73...64 kp/cm²
- Zeit bis zum vollständigen Öffnen der BRU-K beträgt 15 s; bei einem Druck von 6,7 MPa wird ein Durchsatz von 900 t/h erreicht.

- Jeder Regler der BRU-K kann in folgenden Betriebsarten wirken:

Betriebsart "R-1" (bestimmende Betriebsart)

Die Ventile der BRU-K sind geschlossen und die Öffnung ist nicht gestattet. Das Verbot wird aufgehoben, wenn das Signal des elektrohydraulischen Turbinenregelsystems "Lastabwurf" anliegt und es durch eine Lastabwurfgeschwindigkeit $\geq 50 \text{ MW}_e/\text{s}$ bestätigt wird.

Das Signal "Lastabwurf" wird vom elektrohydraulischen Turbinenregelsystem gebildet bei:

- Generatorabschaltung wegen Ansprechen KAG-24
- hoher Drehzahl der Turbine.

Der BRU-K-Regler registriert den Druck im Frischdampfsammler für den Zeitpunkt 1 s vor der Signalbildung und versucht diesen Druck durch die Veränderung des Öffnungsgrades wiederherzustellen.

Betriebsart "R-2" (Druckregelung)

Diese Betriebsart besitzt 3 Modifikationen:

- Aufrechterhaltung eines Druckes von 64 kp/cm^2 im Frischdampfsammler
Diese Betriebsart wirkt dann, wenn die BRU-K infolge zu hohen Druckes im Frischdampfsammler ($> 68 \text{ kp/cm}^2$) geöffnet wurde.
- Aufrechterhaltung des Druckes im Frischdampfsammler, der 1 s vor dem Öffnen der BRU-K vorhanden war
Diese Betriebsart wirkt im Falle eines Lastabwurfs und des Schließens zweier von vier Turbinenschnellschlußventilen.
- Abkühlregime, das vom Operator ausgewählt wird
Während dieser Betriebsart wählt der Regler solch eine Ventilstellung der BRU-K, daß die Abkühlgeschwindigkeit im SKL 30 oder 60 grd/h beträgt. Die Anzahl der in Betrieb befindlichen BRU-K wird automatisch festgelegt.

Wenn der Druck im Frischdampfsammler $> 68 \text{ kp/cm}^2$ ist, denn öffnet das Ventil und der Regler beginnt einen Druck von 64 kp/cm^2 aufrechtzuerhalten. Im Falle eines Lastabwurfs wird der vor dem Lastabwurf vorhandene Druck registriert (bei einem Prozeß mit Schließen der Turbinenventile sind es 60 kp/cm^2) und die BRU-K wartet nicht erst auf das Erreichen des Wertes von 68 kp/cm^2 , sondern beginnt vorher mit dem Öffnen. Es gibt eine Rückkopplung von der Ventilstellung. Die Verzögerung beim Ansprechen der BRU-K kann man mit ca. 2 s annehmen. Diese resultiert aus den Verzögerungen des Magnetanlasser (0,1 s), des Motoranlaufs (1 s) und den Schaltzeiten für die Binärsignale (1 s). Die Zeit bis zur vollständigen Öffnung der BRU-K (lt. Angaben der Spezialisten aus dem KKW Saporoshje) beträgt 18 s.

3. Beschreibung der Transienten

3.1. *Ergebnisse der dynamischen Überprüfung der Reaktoranlage Block 6 im KKW Saporoshje im Regime mit Abschaltung einer HUP (einer von vier in Betrieb befindlichen)*

3.1.1. Ausgangszustand

Bezeichnung der Parameter	Parameterwert
Thermische Leistung der Reaktoranlage, MW	2292
Leistung lt. Neutronenfluß-Kontrollsystem, %	76,8
Elektrische Leistung des Generators, MW	717
Betriebszeit im Moment der Untersuchung, eff. Tage	43,6
Borsäurekonzentration, g/kg _{H₂O}	6,0
Mittlere Temperatur am Spaltzoneneintritt, °C	285,2
Mittlere Aufheizung in den Schleifen, °C	22,3
Stellung der Regelgruppe 10	79
Stellung der Regelgruppen 1...9	obere Endlage
Druck im PKL (oberhalb der Spaltzone), kp/cm ²	159,1
Druck im Frischdampfsammler), kp/cm ²	60,7
Höhenstand des Kühlmittels im DH, cm	787
Netzfrequenz, Hz	49,8

3.1.2. Anlagenzustand

In Betrieb befinden sich: HUP 1...4, DE 1...4, Turbospeisewasserpumpe 1..2, Turbine, ARM in der Betriebsart "T", elektrohydraulisches Turbinenregelsystem in der Betriebsart "RDM", ROM (Einstellwert 77 %), Anfahrhöhenstandsregler der DE 1...4, Druck- und Höhenstandsregler des DH.

3.1.3. Methodik der Überprüfung

Die Prüfung erfolgte entsprechend dem Ablaufprogramm "Dynamische Überprüfung der Reaktoranlage Block 6 im KKW Saporoshje im Regime mit Abschaltung einer HUP", Block 6 KKWS.320.20.NB.PM.3.

3.1.4. Kontrolle der Parameter

Die Kontrolle der Parameter erfolgte mit den vorhandenen Meßsystemen, wie dem Incore-Überwachungssystem, dem Blockrechnersystem "TITAN" und der Instrumentierung sowie mittels Bildschirmen auf der Blockwarte und Meßeinrichtungen auf PC-Basis.

3.1.5. Ergebnisse der Überprüfung

Um 22:39:48 (lt. Blockwartenuhr) wurde die HUP-1 gemäß der Anweisung vom Blockleiter mit dem auf der Blockwarte befindlichen Schalter abgeschaltet. Nach 2 s trat Signal "PS-1" auf, "ROM in Betrieb" aufgrund der Abschaltung einer von vier in Betrieb befindlichen HUP, der ARM wurde vom Steuermechanismus der Regelgruppe getrennt und durch den Betrieb des ROM blockiert, der mit dem Einfahren der Regelgruppe 10 begann. Das Zuschalten der Hilfspumpe für die HUP-1 verlief ohne Beanstandung.

Das elektrohydraulische Turbinenregelsystem schaltete aufgrund des Signals "PS-1" in die Betriebsart "RD-1" um und senkte die elektrische Leistung von 717 MW auf 442 MW ab. Das Warnschutzsignal lag ca. 78 s an. In diesem Zeitraum wurde die Regelgruppe 10 aus ihrer Stellung 79 % (vom unteren Endschalter) auf 40 % abgesenkt. Die Neutronenleistung wurde entsprechend der Anzeige des Neutronenfluß-Kontrollsystem von 76,8 % auf 51,8 % verringert, d.h. um 25 % (dies sind 32,5 % der Ausgangsleistung, wenn man 75 % als Nennleistung annimmt), was unter der Berücksichtigung des Anzeigefehlers vom Neutronenfluß-Kontrollsystem (± 2 %) dem Kriterium für eine erfolgreiche Überprüfung entspricht. Die thermische Leistung wurde dabei um 738 MW gegenüber dem Ausgangswert verringert. Die Geschwindigkeit der Leistungseinsenkung betrug somit 0,31 %/s.

Nach Aufhebung des Warnschutzes "PS-1" schaltete der ARM automatisch in die Betriebsart "N" um und stabilisierte nach 200 s im Zusammenspiel mit dem elektrohydraulischen Turbinenregelsystem die Anlagenparameter auf dem neuen Leistungsniveau. Der Höhenstand im DH verringerte sich maximal um 75 cm gegenüber der Ausgangswertes, d.h. bis auf 680 cm in der 100. Sekunde nach der Pumpenabschaltung.

Das elektrohydraulische Turbinenregelsystem gewährleistete in der Betriebsart "RD-1" die Aufrechterhaltung des Druckes im Frischdampfsammler, wobei die maximale Abweichung in der 80. Sekunde 1 kp/cm² betrug. Die maximale Absenkung des Höhenstandes im DE-1 um 30 cm gegenüber dem Ausgangswert war in der 20. Sekunde nach der Pumpenabschaltung zu verzeichnen.

In den Abbildungen 1...14 der Anlage A sind die zeitlichen Veränderungen der grundlegenden Anlagenparameter dargestellt. Die entsprechenden Tabellen mit der Daten über die Parameterveränderungen sind auf der Diskette im Verzeichnis GZN abgelegt. Eine Beschreibung der Dateien befindet sich in der Anlage B.

Während der Leistungsabsenkung wurden auf den Bildschirmen des Incore-Kontrollsystems folgende Maximaltemperaturen in der Spaltzone angegeben:

- am Austritt des Brennelementes (06-39) - 314 °C
- Aufheizung im Brennelement (06-39) - 31 °C
- Aufheizung in der Schleife N^o4 - 22 °C

3.1.6. Zusatzinformationen zur Transiente mit der Abschaltung einer von vier in Betrieb befindlichen HUP

Die Daten in der Tabelle 1 entsprechen dem Zeitpunkt 22:07:03 (d.h. vor Beginn der Transiente)

Tabelle 1

Nº der Schleife	Durchsatz in der Schleife, 10^3 t/h	Temperatur kalter Strang, °C	Aufheizung in Schleifen, °C	Druckabfall über HUP, kp/cm^2	Schleifenleistung, MW
1	16,22	284,7	22,1	6,27	530
2	16,44	284,4	22,0	6,19	533
3	16,09	284,6	22,4	6,16	532
4	16,37	284,5	21,2	6,23	512

Die Daten in der Tabelle 2 entsprechen dem Zeitpunkt 22:07:03 (d.h. vor Beginn der Transiente)

Tabelle 2

Nº des DE	Leistung, MW	Druck, kp/cm^2	Dampfdurchsatz, 10^3 t/h	Speisewasserdurchsatz, 10^3 m^3/h	Speisewassertemperatur, °C	Höhenstand im DE, mm
1	559	61,50	0,96	1,11	166,1	249
2	518	61,25	0,93	1,07	166,2	258
3	556	61,37	0,98	1,12	166,1	258
4	541	61,31	0,92	1,06	166,1	247

Anmerkung: Druck im Frischdampfsammler - $60,94 \text{ kp/cm}^2$

Die Daten in der Tabelle 3 entsprechen dem Zeitpunkt 22:53:36 (d.h. am Ende der Transiente)

Tabelle 3

Nº der Schleife	Durchsatz in der Schleife, 10^3 t/h	Temperatur kalter Strang, °C	Aufheizung in Schleifen, °C	Druckabfall über HUP, kp/cm^2	Schleifenleistung, MW
1	-1,62	282,5	-4,9	1,87	11
2	18,62	283,9	17,5	4,84	474
3	18,00	284,6	19,0	4,91	501
4	18,62	282,5	12,5	4,91	332

Die Daten in der Tabelle 4 entsprechen dem Zeitpunkt 22:53:36 (d.h. am Ende der Transiente)

Tabelle 4

Nº des DE	Leistung, MW	Druck, kp/cm ²	Dampfdurchsatz, 10 ³ t/h	Speisewasserdurchsatz, 10 ³ m ³ /h	Speisewassertemperatur, °C	Höhenstand im DE, mm
1	10	60,50	0,0	0,0	166,0	258
2	485	61,12	0,84	0,97	165,9	257
3	539	61,50	0,93	1,07	165,9	258
4	381	61,12	0,66	0,76	166,1	248

Anmerkung: Druck im Frischdampfsammler - 61,00 kp/cm²

In der Tabelle 5 sind zusätzlich Daten angegeben, die den Anlagenzustand am Block 6 des KKW Saporoshje vor Beginn bzw. am Ende der Transiente beschreiben.

Tabelle 5

Parameterbezeichnung	Zeitpunkt 22:07:03 (d.h. vor Beginn der Transiente)	Zeitpunkt 22:53:36 (d.h. am Ende der Transiente)
Effektive Betriebsdauer des Reaktors, eff. Tage	43,6	43,7
Maximale Kassettenaustrittstemperatur, °C	311,0	308,6
Mittlere Kassettenaustrittstemperatur, °C	302,9	300,5
Maximalwert des Ungleichmäßigkeitskoeffizienten K_v	1,71	1,90
Brennelement-Nr., in der Maximalwert K_v auftritt	11	27
Axiale Lage, in der Maximalwert K_v auftritt, % von unterer Spaltzonenebene	40	28
Thermische Reaktorleistung, MW	2203	1436
Borsäurekonzentration, g/kg	6,03	5,8
Druck oberhalb der Spaltzone, kp/cm ²	159,00	160,00
Druckabfall über Spaltzone, kp/cm ²	3,65	2,08
Höhenstand im DH, cm	752	701

3.1.6. Schlußfolgerungen

- Die Untersuchung der Abschaltung einer von vier in Betrieb befindlichen HUP bei einem Leistungsniveau von 75 % der Nennleistung zeigte, daß durch den ROM die notwendige Leistungsabsenkung um 25 % und die Absenkgeschwindigkeit von 0,31 %/s gewährleistet wurde. Das elektrohydraulische Turbinenregelsystem gewährleistete die Aufrechterhaltung des Druckes im Frischdampfsammler mit der erforderlichen Genauigkeit. Die Parameter des Primär- und Sekundärkreislaufes erreichten nicht die Schwellwerte der Sicherheitssysteme. Die BRU-A und BRU-K wurden nicht geöffnet.
- Während der Transiente gab es keine Beanstandungen beim Betrieb der Anlage und der Blocksysteme, sowie der automatischen Regler des elektrohydraulischen Turbinenregelsystem, des ARM, des Druckes im PKL, des Höhenstandes im DH und des Speisewasserdurchsatzes zum DE.
- Die Kriterien für eine erfolgreiche Überprüfung wurden im vollen Umfang erreicht.

3.2. *Ergebnisse der Überprüfung der Reaktoranlage Block 6 im KKW Saporoshje im Regime des Lastabwurfs infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile bei der Leistungsaufnahme auf 100 %*

Diese Überprüfung erfolgte am 24.08.1996 entsprechend der im Ablaufprogramm "Dynamische Überprüfung der Reaktoranlage Block 6 im KKW Saporoshje im Regime des Lastabwurfs infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile bei der Leistungsaufnahme auf 100 %" angegebenen Verfahrensweise.

3.2.1. Ausgangszustand

– Effektive Betriebsdauer des Reaktors T_{eff}	208 eff. Tage
– Thermische Leistung	3000 MW
– Neutronenleistung lt. Neutronenfluß-Kontrollsystem	99,6 %
– Elektrische Leistung	979,9 MW
– Mittlere Temperatur am Spaltzoneneintritt	287,8 °C
– Stellung der Regelgruppe 10	83 %
– Druck im PKL	158,2 kp/cm ²
– Druck im Frischdampfsammler	60 kp/cm ²
– Mittlere Aufheizung	28,7 °C
– Höhenstand im Druckhalter	875 cm
– Borsäurekonzentration C_B	1,85 g/kg _{H₂O}
– Druck im Turbinenkondensator	0,03 kp/cm ²
– Betriebsart des ARM	"T"
– Betriebsart des elektrohydraulischen Turbinenregelsystems	"RDM"

Vor dem Beginn dieser Überprüfung befand sich der Reaktor 3 Tage in einem stationären Betriebsregime bei einer Leistung $N_T = 3000$ MW.

3.2.2. Ergebnisse der Überprüfung

Gemäß der Anweisung vom Leiter der Überprüfung wurden 2⁰² Uhr die Turbinenschnellschlußventile mit dem auf der Blockwarte befindlichen Schalter geschlossen. Aufgrund des Schließens der Turbinenschnellschlußventile wurde das Kommando für den "Beschleunigten Warnschutz" (URB) mit dem Einwurf der Regelgruppe 1 bis in die untere Endlage gegeben sowie das Signal für den Warnschutz 2. Ordnung (PS-2) mit dem Kommentar "Einfallen der Regelgruppe" ausgelöst, welches mit dem Schalter zur Aufhebung des PS-2 deaktiviert wurde. Dabei verringerte sich die Neutronenleistung auf 53 % der Nennleistung. Im Anschluß begann der weitere Lastabwurf aufgrund des "PS-1" auf 37 % des Nennwertes durch den ROM, was 130 s dauerte. Während dieser Zeitdauer wurden die Regelgruppe 10 von 83 % auf 18 % (vom unteren Spaltzonenebene) und die Regelgruppe 9 von der oberen Endlage auf 89 % eingefahren.

Die Geschwindigkeit der Leistungsverringerung aufgrund des URB betrug 9,8 %/c. Die thermische Leistung verringerte sich während des Lastabwurfs auf 1200 MW mit einer nachfolgenden Leistungsstabilisierung bei 37 % der Nennleistung.

Der ARM des Reaktors wurde mit dem Ansprechen des "PS-1" vom Steuerungskanal der Regelgruppe getrennt und schaltete sich nach Beendigung des Betriebes vom ROM sowie der automatischen Aufhebung des "PS-1"-Signales in der Betriebsart "N" zu, da er weiterhin der Aufrechterhaltung der Neutronenleistung diente.

Aufgrund des Schließens der Turbinenschnellschlußventile wurde in den ersten Sekunden ein Druckanstieg im PKL um ca. 1 kp/cm² beobachtet, der mit dem Einfallen der ersten Regelgruppe kompensiert werden konnte. Nach Beendigung des URB stieg der Druck im PKL für 10 s auf 159,3 kp/cm² an, der danach durch den Lastabwurf mittels ROM und dem Betrieb der BRU-K bis auf 147,5 kp/cm² abgesenkt wurde. Der Höhenstand im DH verringerte sich während des Lastabwurfs sowie der Druckabsenkung im PKL von 875 cm auf 600 cm und stabilisierte sich auf diesem Niveau.

Aufgrund des Schließens der Turbinenschnellschlußventile wurde die BRU-K automatisch geöffnet und schaltete in die Betriebsart zur Aufrechterhaltung des Druckes im Frischdampfsammler um, welcher nach 10 s der Transiente auf 73 kp/cm² anstieg. In der 40. Sekunde der Transiente stabilisierte sich der Druck im Frischdampfsammler bei 61 kp/cm². Der maximale Öffnungsgrad der BRU-K betrug 73 %.

Die Regler für die Kapazität der Turbospeisewasserpumpen sowie die Regler für die DE-Speisewasserversorgung arbeiteten ohne Beanstandungen im Automatikregime zur Aufrechterhaltung der Höhenstände in den DE.

In den Abbildungen 1...16 der Anlage C sind die Kennlinien für die grundlegenden wärmetechnischen Parameter dargestellt. Die entsprechenden Tabellen mit der Daten über die Parameterveränderungen sind auf der Diskette im Verzeichnis T_TG abgelegt. Eine Beschreibung der Dateien befindet sich in der Anlage D. In der Anlage E sind die Anzeigewerte der Incore-Instrumentierung angegeben, d.h. die lineare Leistungsdichte in den Brennelementen, die Aufheizung in den Brennelementen sowie die Koordinaten der Brennelemente, in denen die Emissionsdetektoren und Thermoelemente angebracht sind.

Während des dynamischen Betriebsregimes gab es keine Beanstandungen an der Funktion der Anlage und der Blocksysteme.

3.2.3. Schlußfolgerungen

Der Betrieb der grundlegenden Blockregler entsprach den im Projekt vorgeschriebenen Algorithmen.

Die Parameter des PKL und SKL erreichten nicht die Schwellwerte für das Ansprechen der Sicherheitssysteme.

Anlage A

Transiente zur Abschaltung einer von vier in Betrieb befindlichen HUP (14 Abbildungen)

- Abb. 1: Druckabfall über HUP-1
- Abb. 2: Drehzahl der HUP-1
- Abb. 3: Stellung der Regelgruppe 10
- Abb. 4: Höhenstand im DH
- Abb. 5: Höhenstand im DE-1
- Abb. 6: Relative Neutronenleistung
- Abb. 7: Druck im PKL
- Abb. 8: Druck im Frischdampfsammler
- Abb. 9: Druck im DE-1
- Abb. 10: Reaktivität
- Abb. 11: Temperatur im kalten Strang der Schleife 1
- Abb. 12: Temperatur im kalten Strang der Schleifen 2 und 3
- Abb. 13: Temperatur im kalten Strang der Schleife 4
- Abb. 14: Temperatur im heißen Strang der Schleife 1 und 4

MCP-1 trip
Pressure drop over the MCP

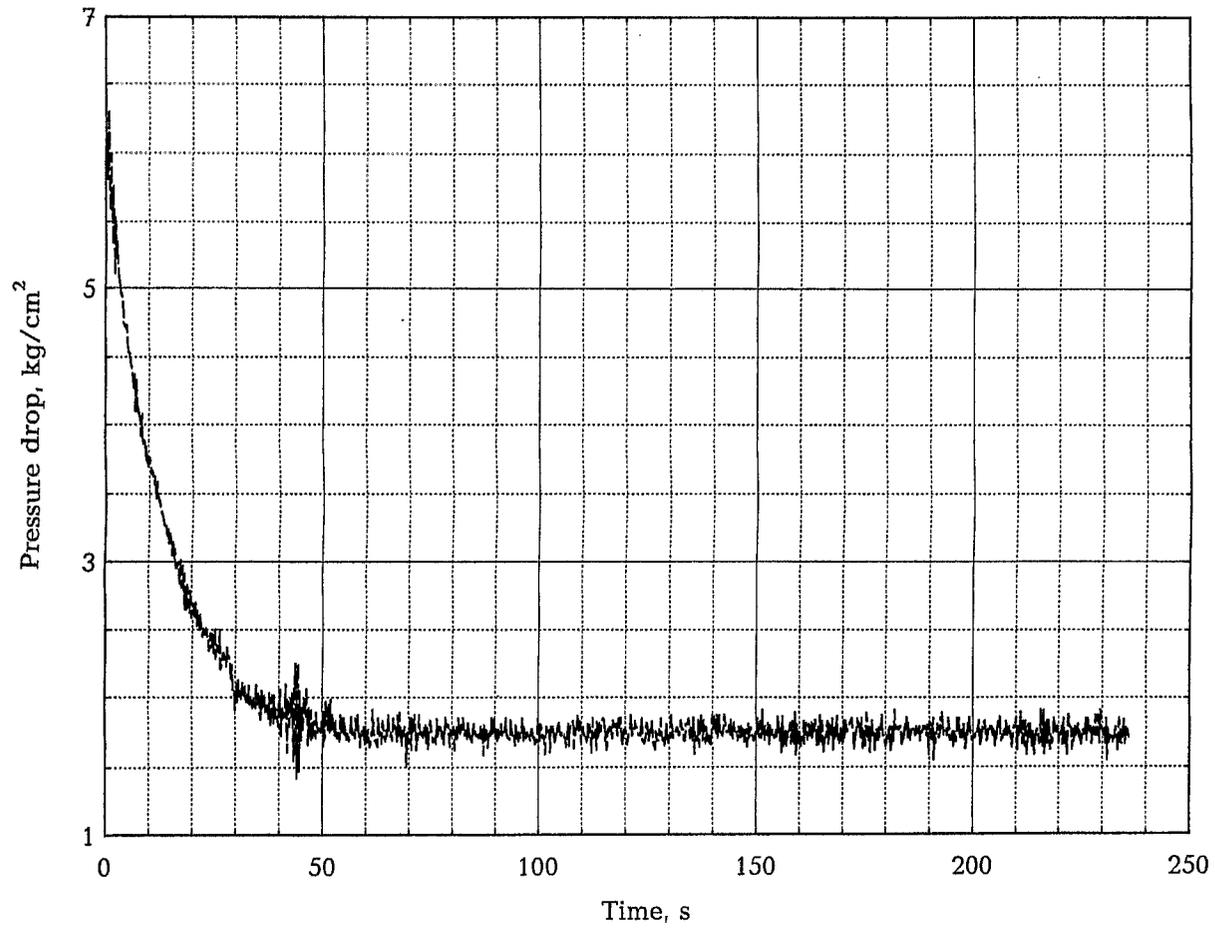


Fig. 1

MCP-1 trip

Rotation speed of first main coolant pump

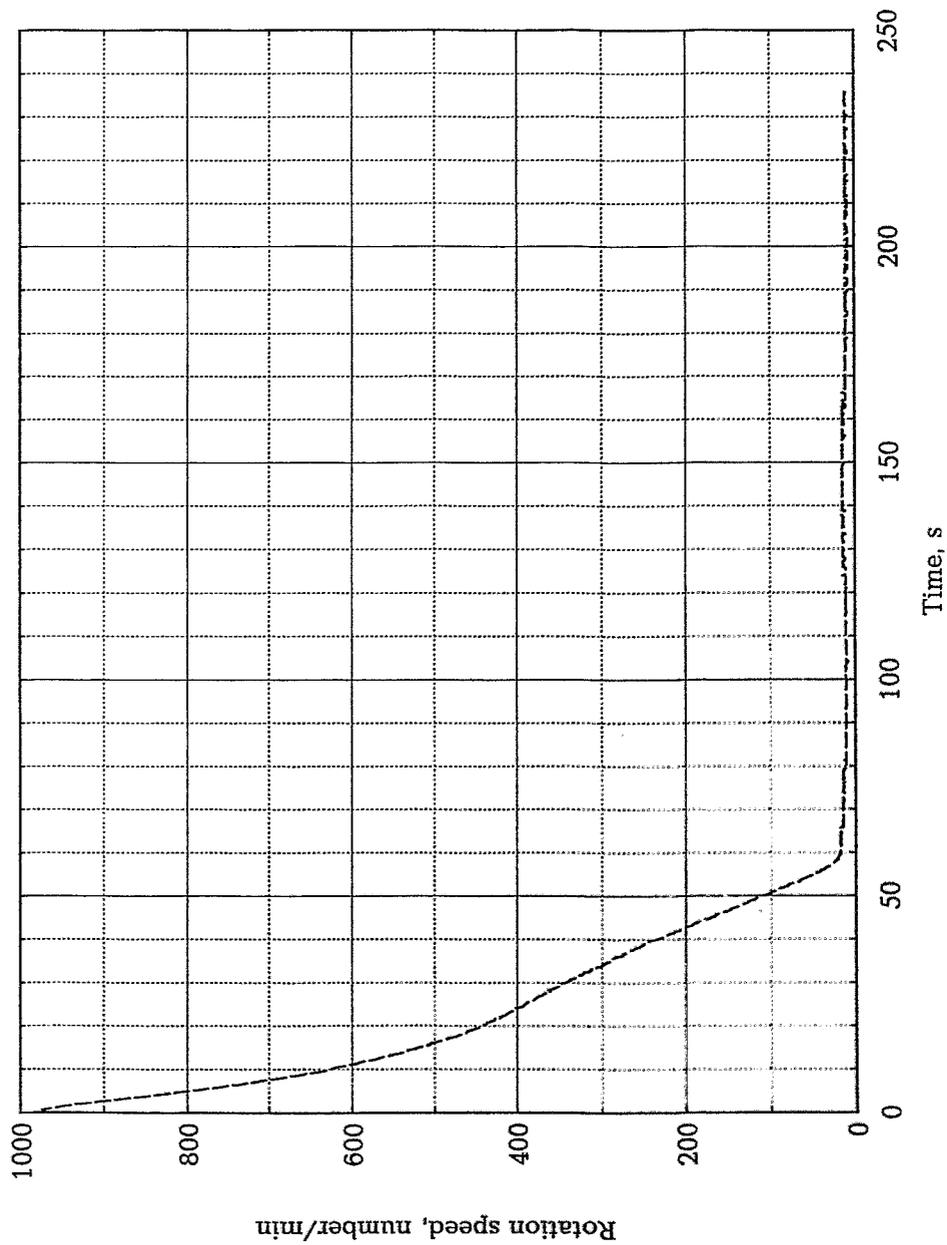


Fig. 2

MCP - 1 trip

Control rod position of 10th group

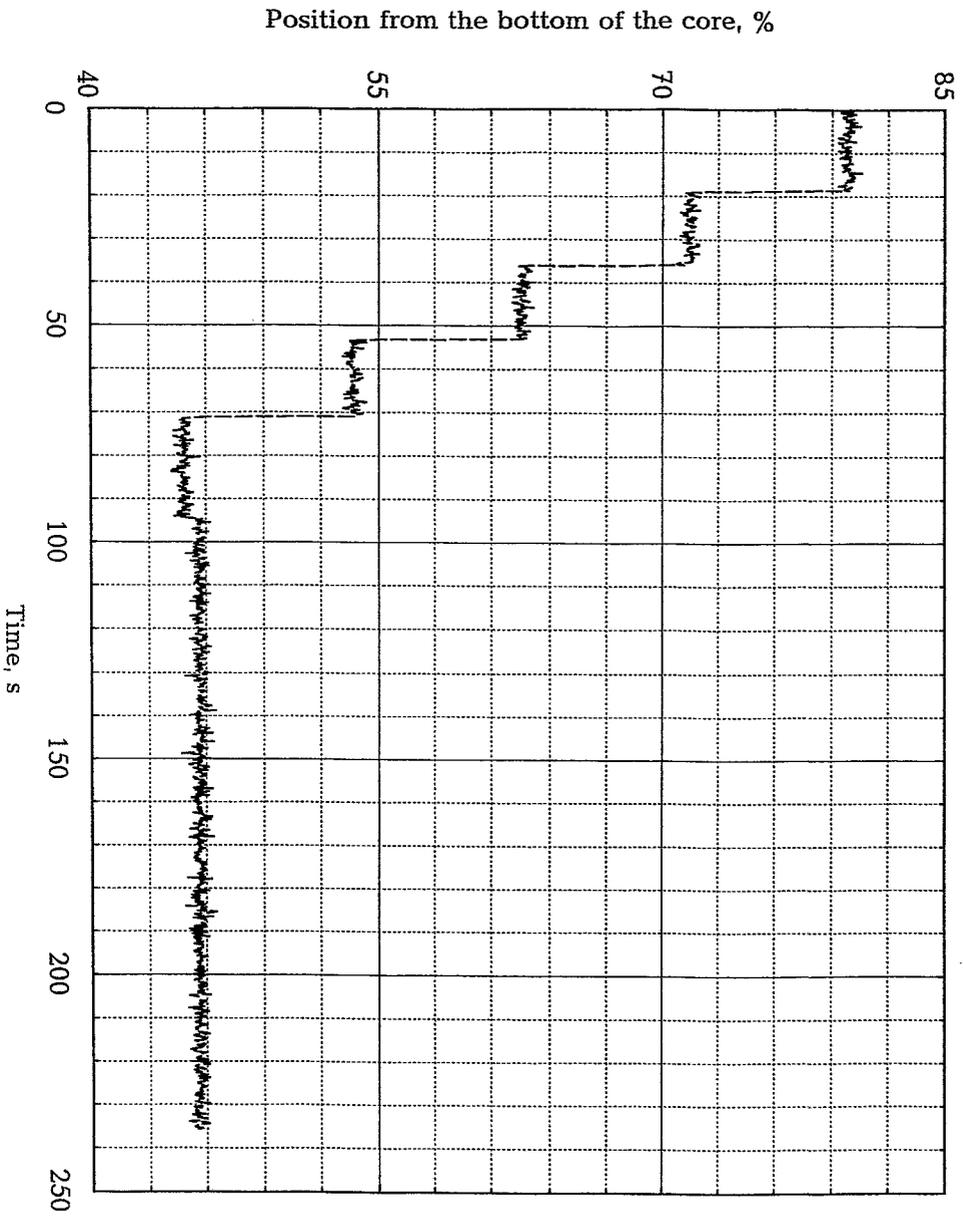


Fig. 3

MCP - 1 trip

Water level in the pressurize

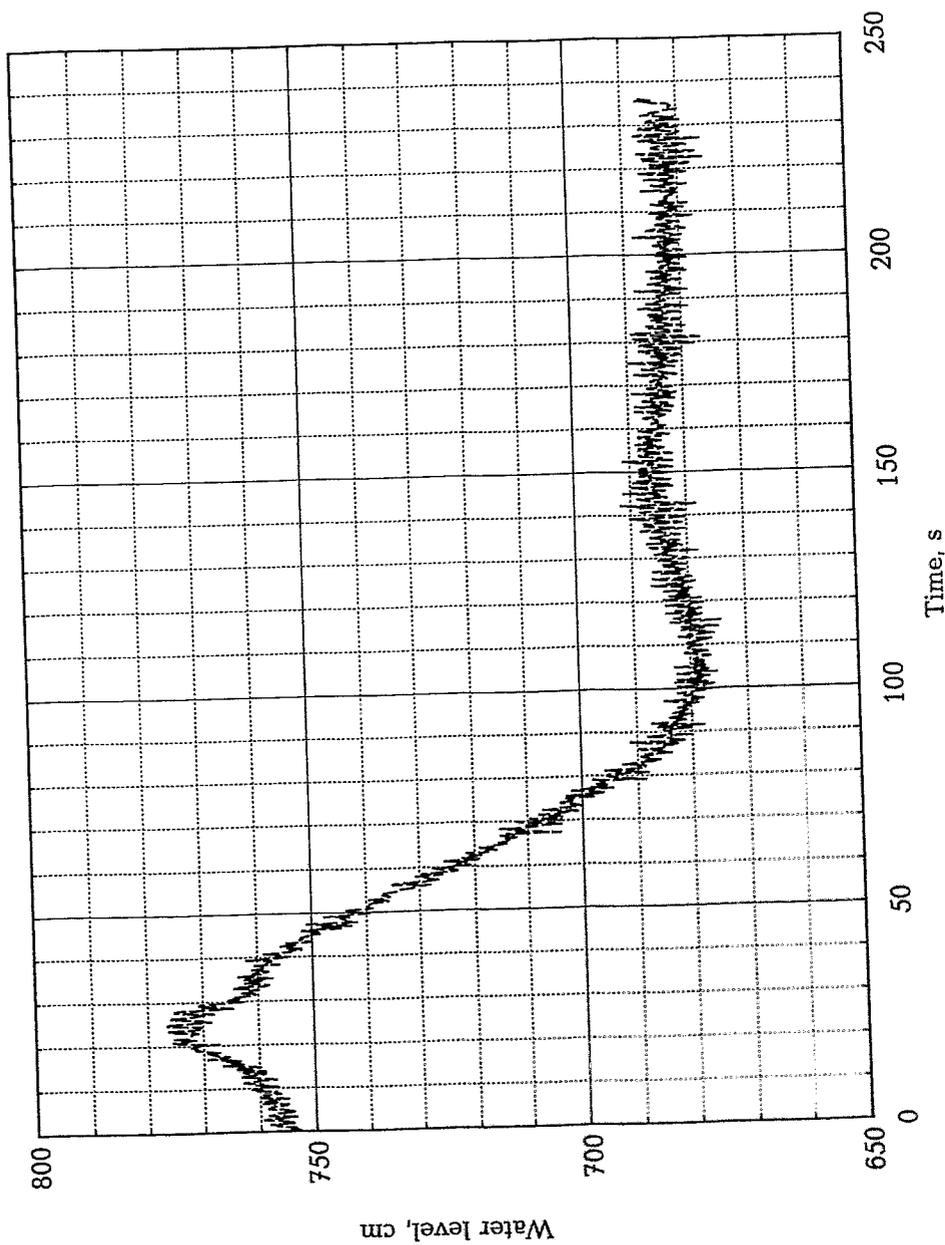


Fig.4

MCP-1 trip

Water level in the steamgenerator

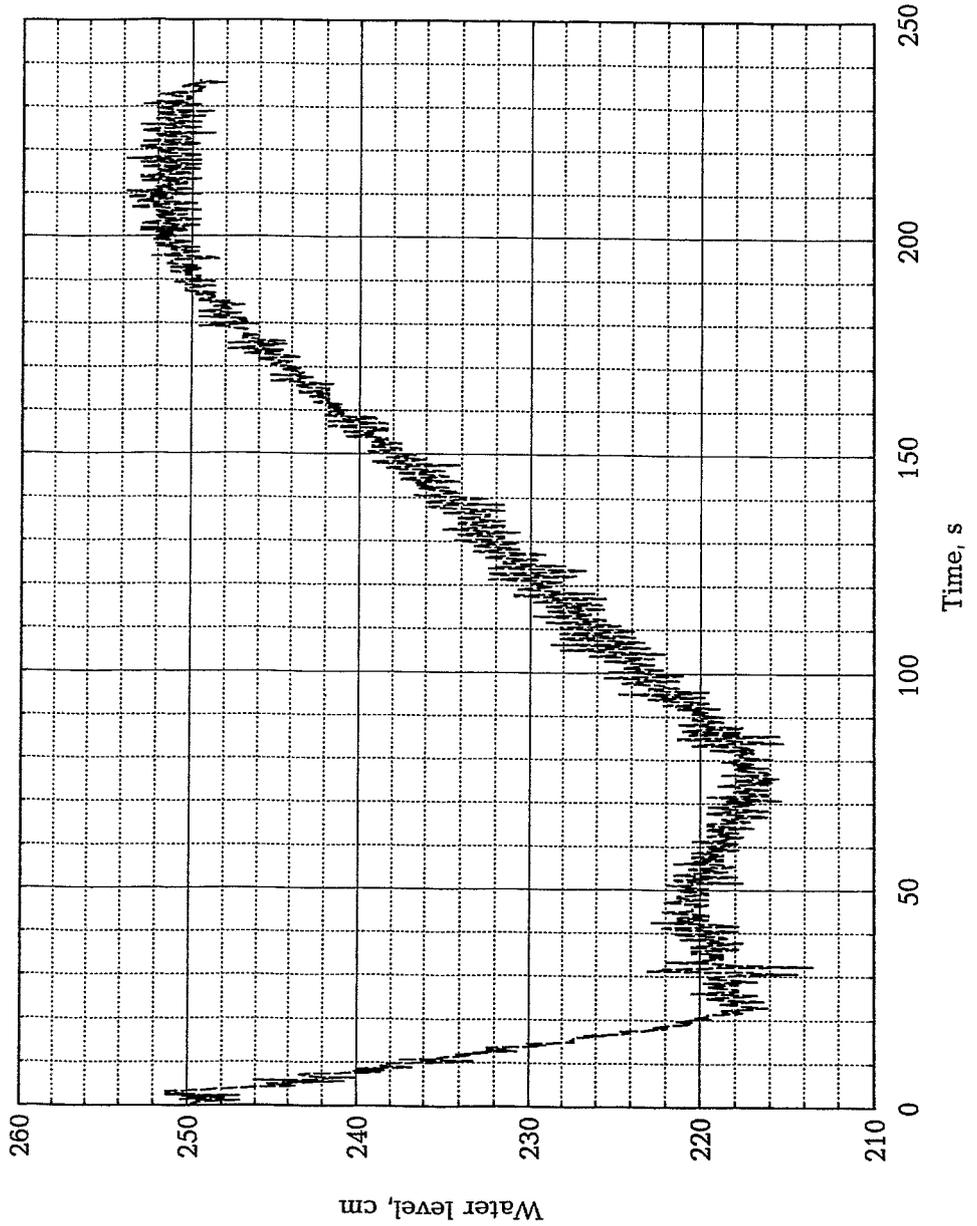


Fig. 5

MCP - 1 trip

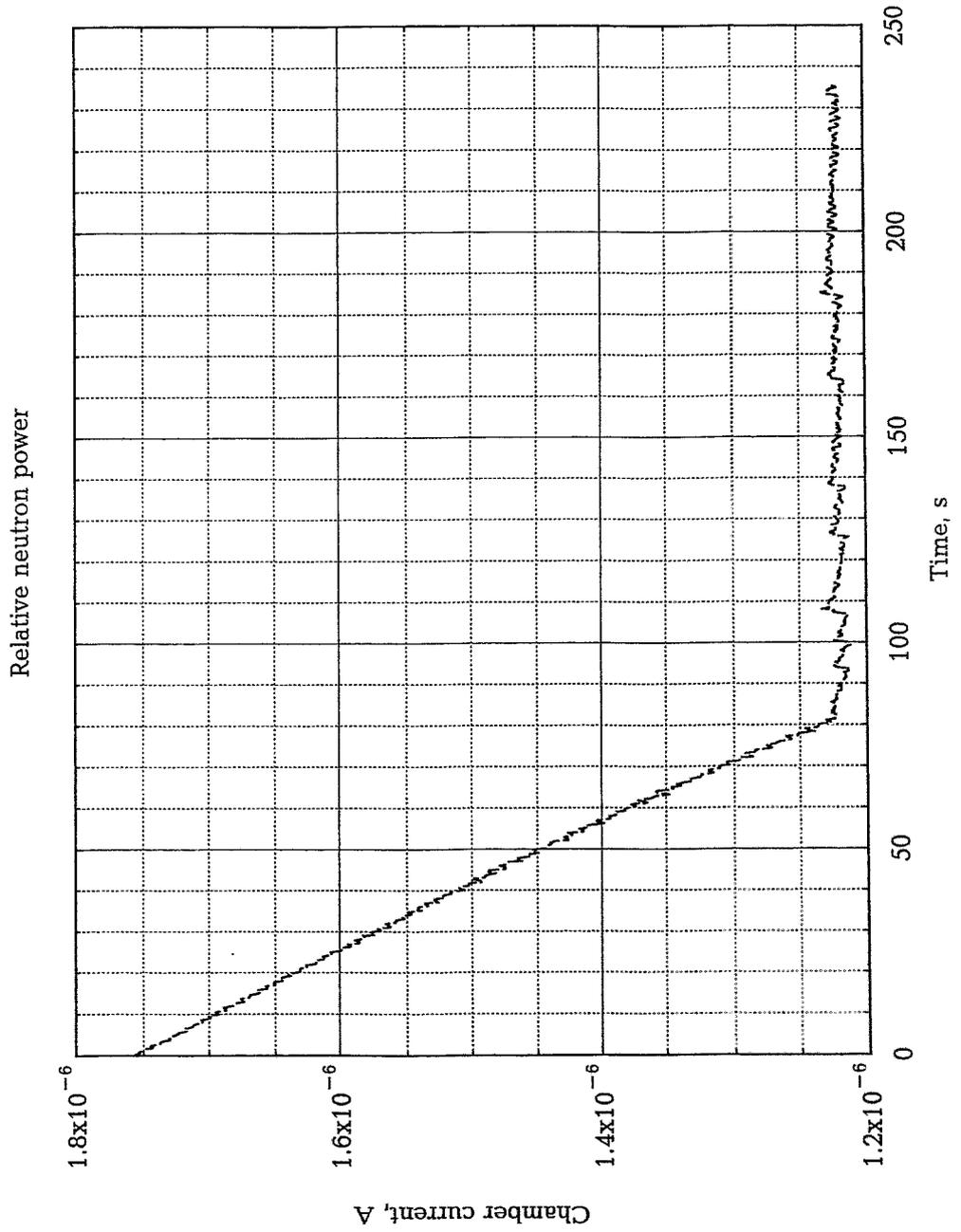


Fig. 6

MCP-1 trip

Pressure in the primary circuit

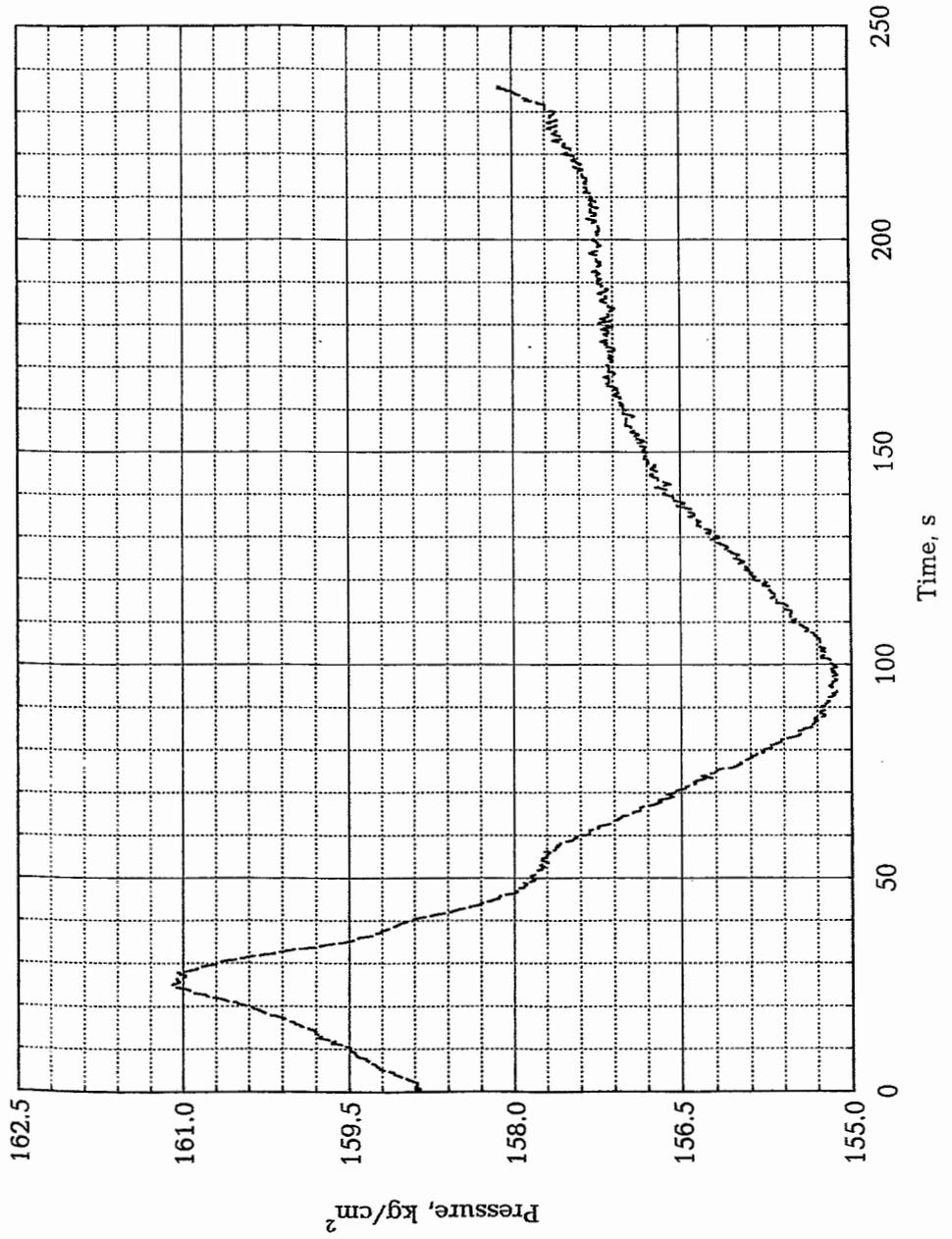


Fig. 7

MCP - 1 trip

Pressure in the main steam header

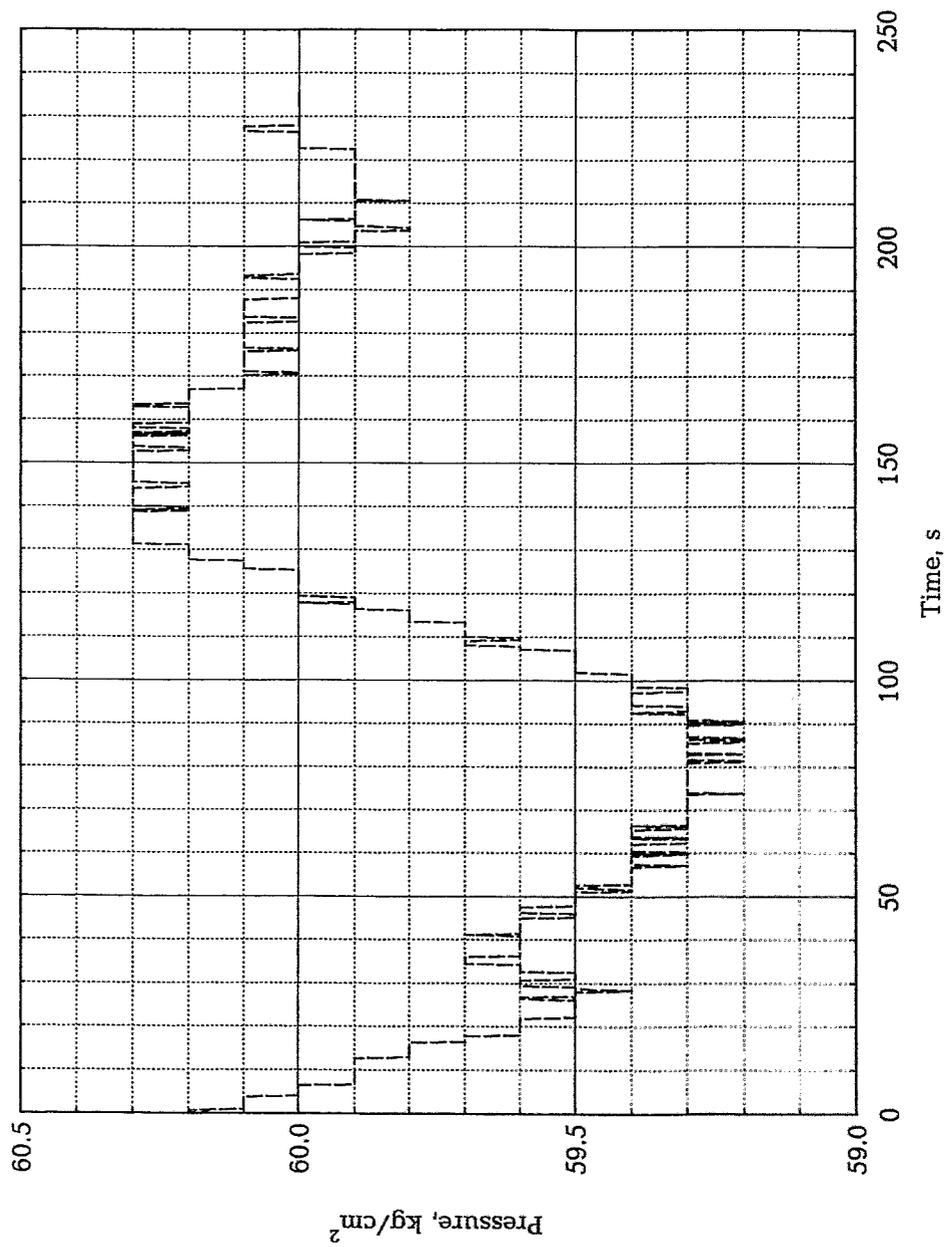


Fig. 8

MCP - 1 trip

Pressure in the steamgenerator 1

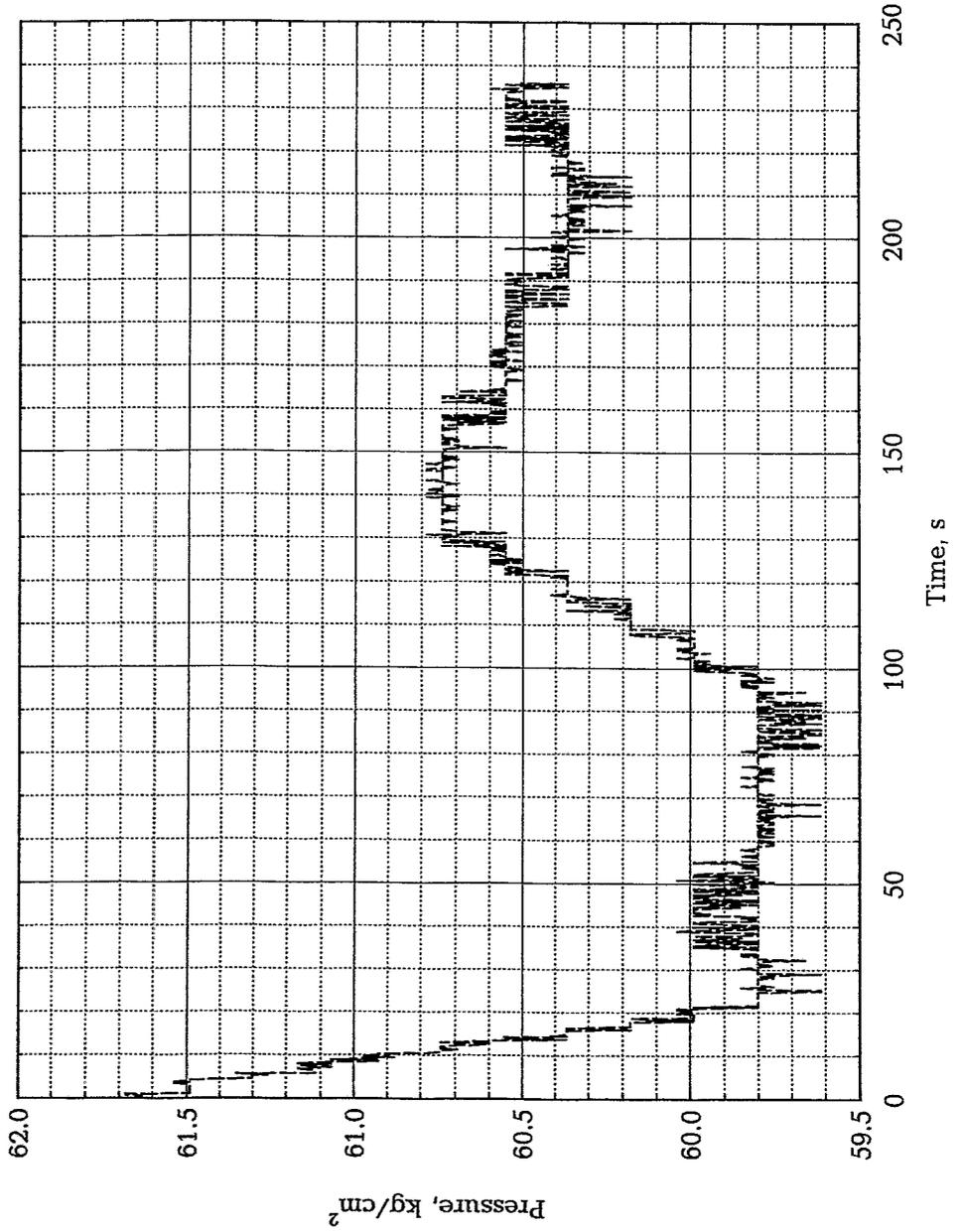


Fig. 9

MCP-1 trip

Reactivity

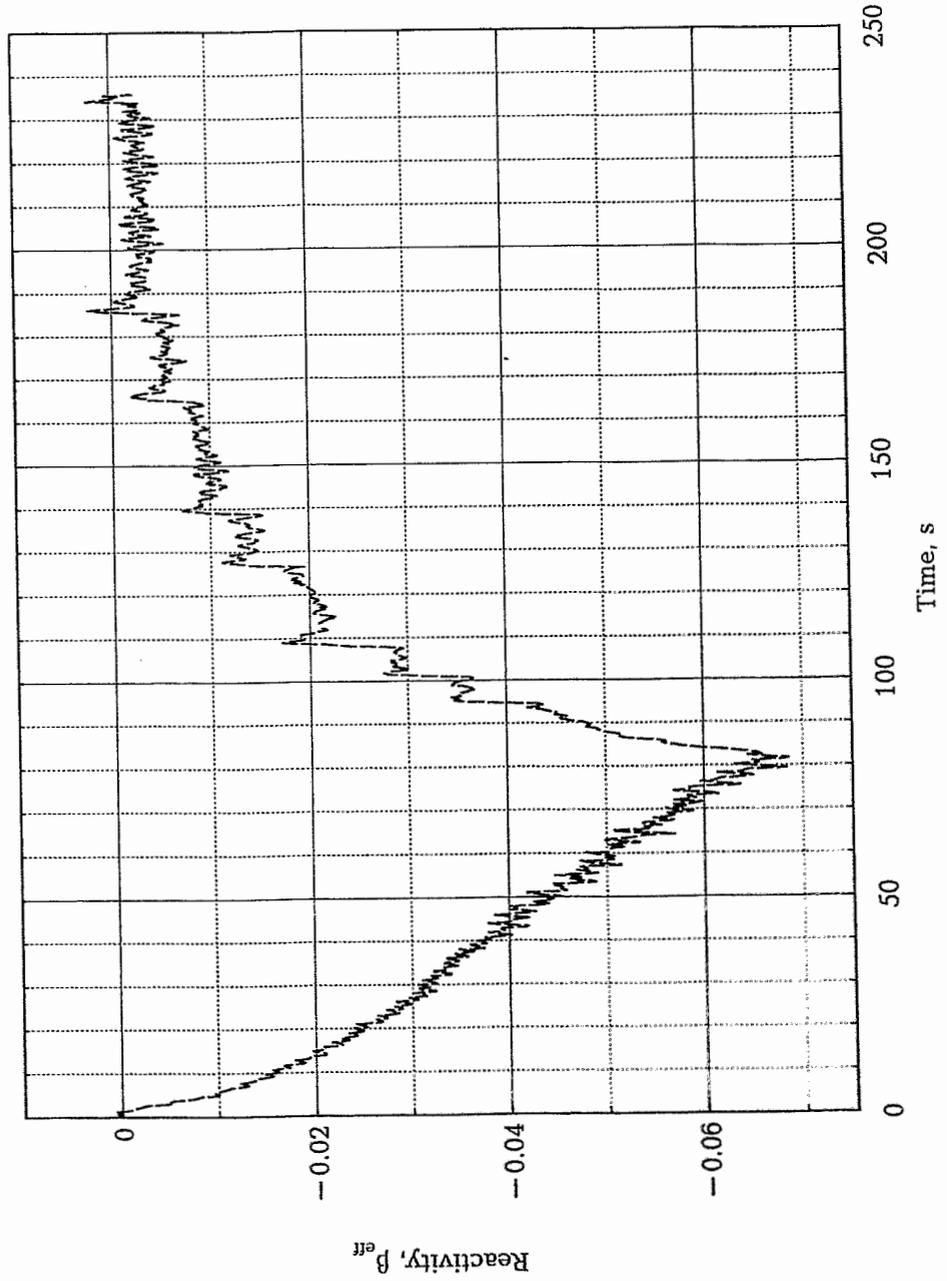


Fig. 10

MCP-1 trip
Cold leg temperature

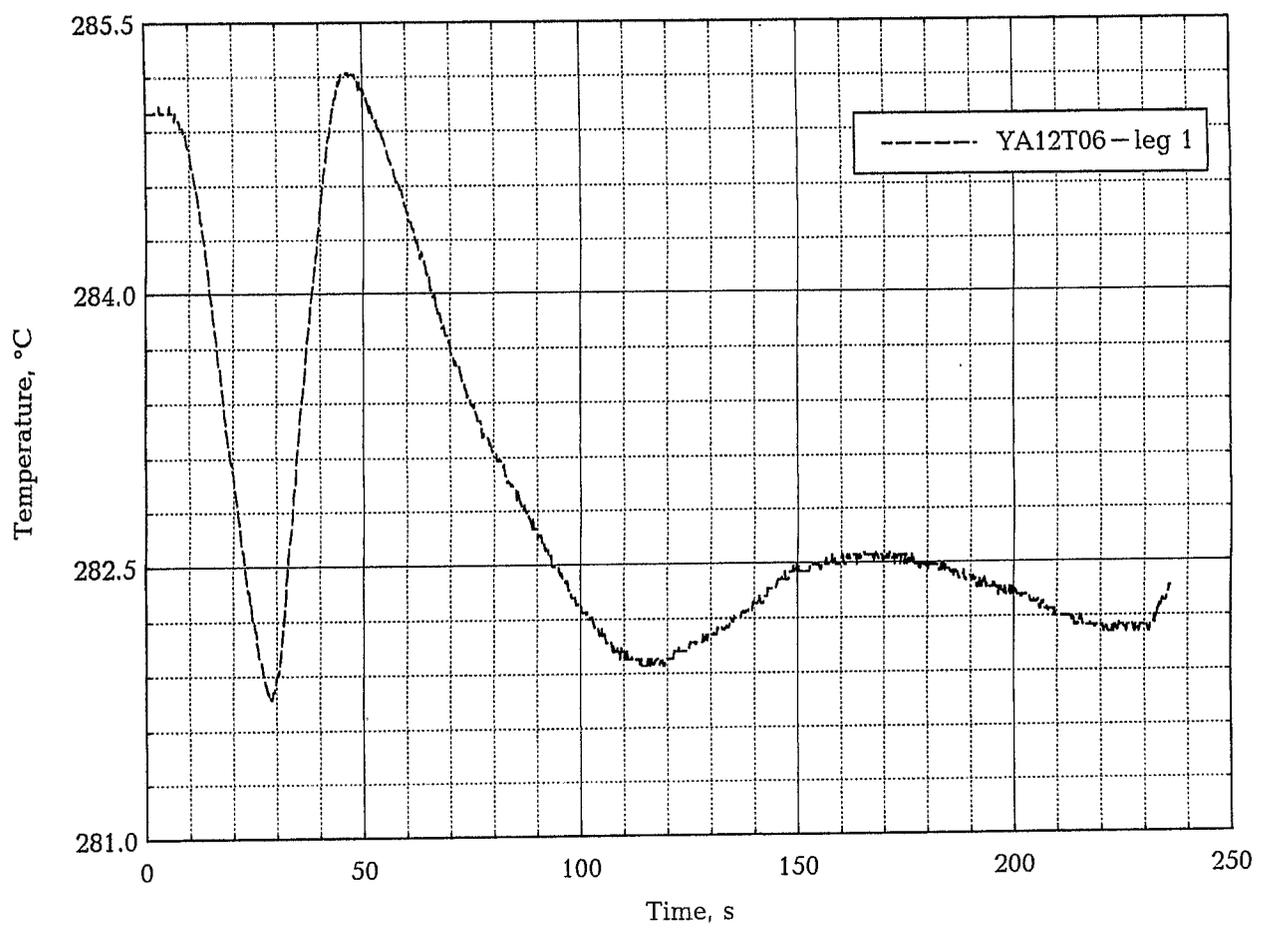


Fig. 11

MCP-1 trip

Cold legs temperature

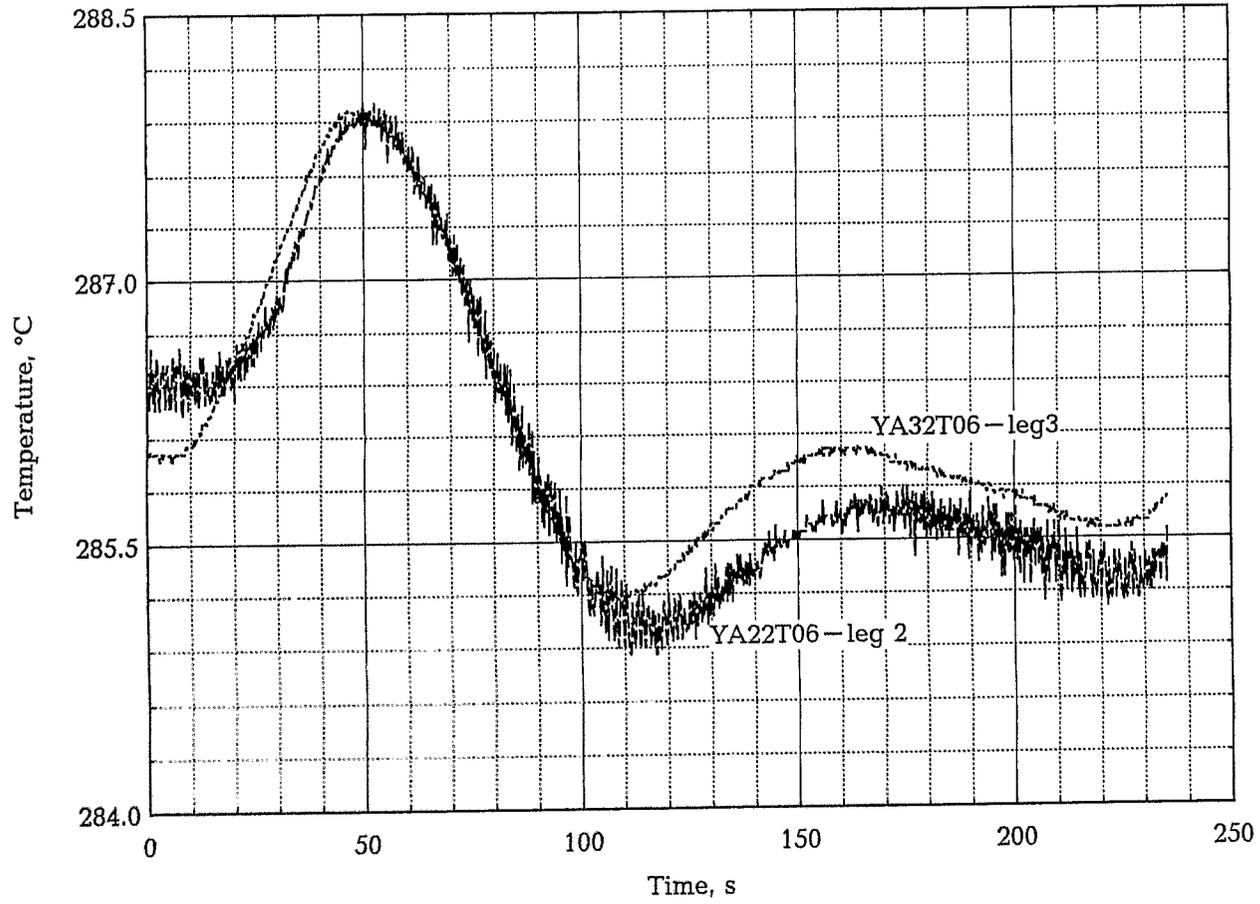


Fig. 12

MCP-1 trip

Cold leg temperature

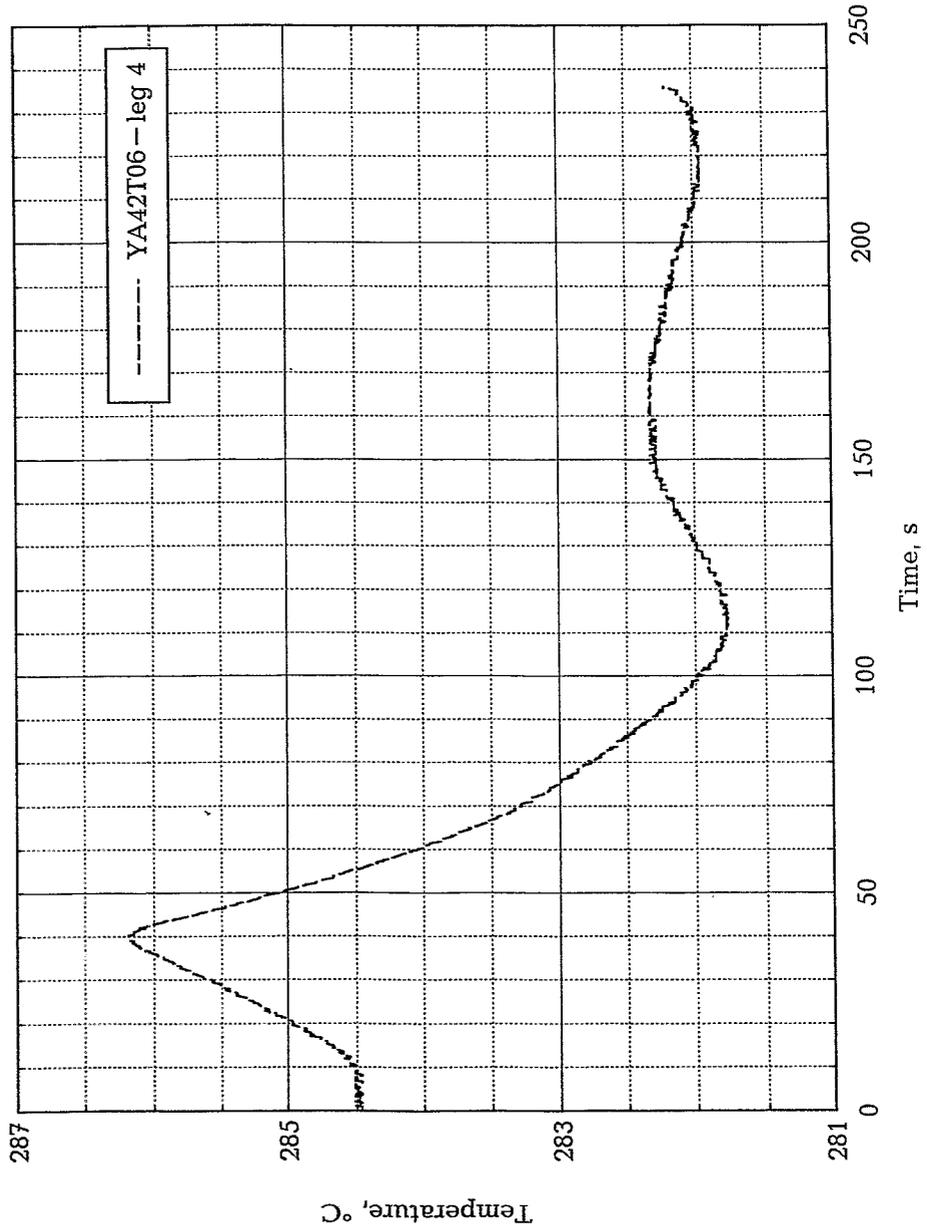


Fig. 13

MCP - 1 trip

Hot legs temperature

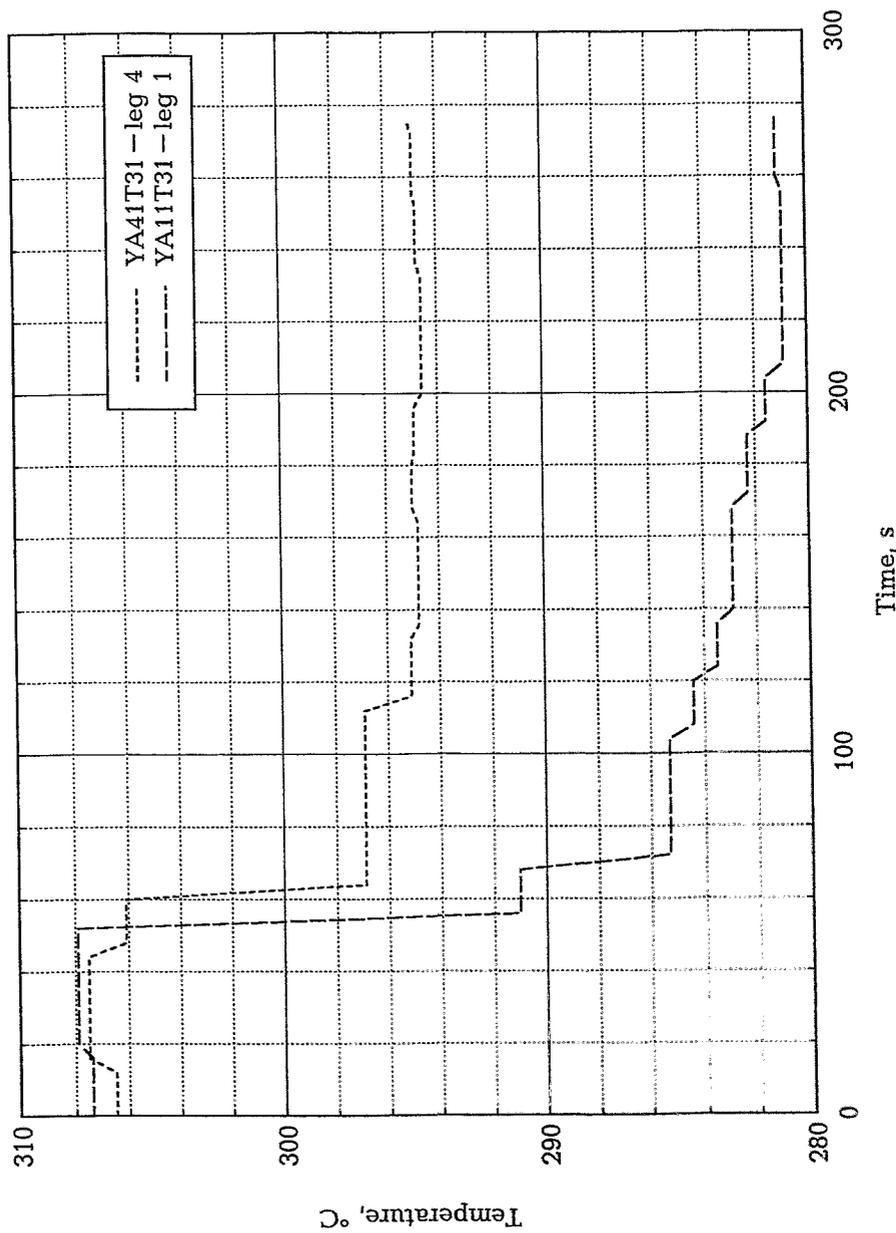


Fig. 14

Anlage B

Transiente zur Abschaltung einer von vier in Betrieb befindlichen HUP
(Daten in Tabellen)

Nr.	Dateiname	Typ der Informationen
1	dp_gzn1.nfi	Druckabfall über HUP-1
2	f_gzn1.nfi	Drehzahl der HUP-1
3	h_10.nfi	Stellung der Regelgruppe
4	h_kd.nfi	Höhenstand im DH
5	h_sg1.nfi	Höhenstand im DE-1
6	np.nfi	Relative Neutronenleistung (Stromsignal von Ionisationskammern)
7	p_1k.nfi	Druck im PKL (oberes Plenum)
8	p_gpk.nfi	Druck im Frischdampfsammler
9	p_sg1.nfi	Druck im DE-1
10	r.nfi	Reaktivität
11	t_cl_1.nfi	Temperatur im kalten Strang der Schleife 1
12	t_cl_23.nfi	Temperatur im kalten Strang der Schleifen 2 und 3
13	t_cl_4.nfi	Temperatur im kalten Strang der Schleife 4
14	t_hi_14.kor	Temperatur im heißen Strang der Schleife 1 und 4

Anlage C

Transiente zum Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile bei der Leistungsaufnahme auf 100 % (16 Abbildungen)

- Abb. 1: Druckabfall über Spaltzone
- Abb. 2: Druckabfall über HUP-1...4
- Abb. 3: Speisewasserdurchsatz DE-1...4
- Abb. 4: Stellung der Regelgruppe 10
- Abb. 5: Höhenstand im DH
- Abb. 6: Höhenstand im DE-1 und DE-2
- Abb. 7: Reaktivität
- Abb. 8: Relative Neutronenleistung
- Abb. 9: Druck im PKL
- Abb. 10: Druck im Frischdampfsammler
- Abb. 11: Druck im DH
- Abb. 12: Temperatur im kalten Strang der Schleife 1...4
- Abb. 13: Speisewassertemperatur DE-1...4
- Abb. 14: Temperatur im heißen Strang der Schleifen 1...4
- Abb. 15: Ventilstellung an Umleitstationen (BRU-K) 1...4
- Abb. 16: Plan für die 1. Brennstoffbeladung des Block 6 im KKW Saporoshje (60°-Sektor)
Für jedes Brennelement des Sektors sind angegeben:
1. Nummer des Brennelements
 2. Anreicherung, wobei:
 - 4.40 - Brennelement mit 4,4 % Anreicherung
 - 3.00 - Brennelement mit 3,0 % Anreicherung
 - 1.60 - Brennelement mit 1,6 % Anreicherung
 - 4.23 - Brennelement mit 4,4 % Anreicherung und Profilierung durch Brennstäbe mit 3,6 % Anreicherung
 3. Betriebsjahr
 4. Nummer der Regelgruppe

Turbogenerator trip

Pressure drop over core

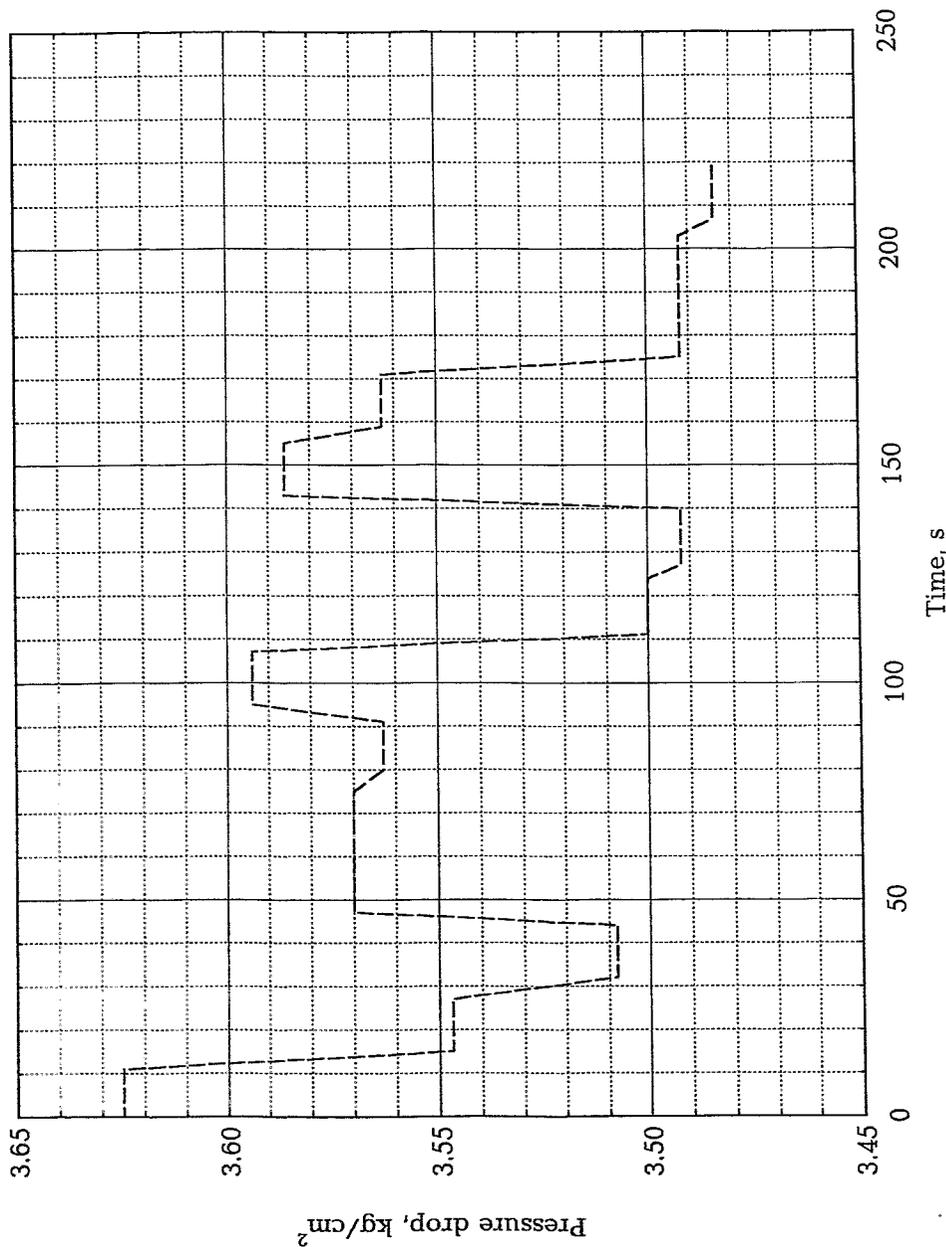


Fig. 1

Turbogenerator trip
Pressure drop over MCP

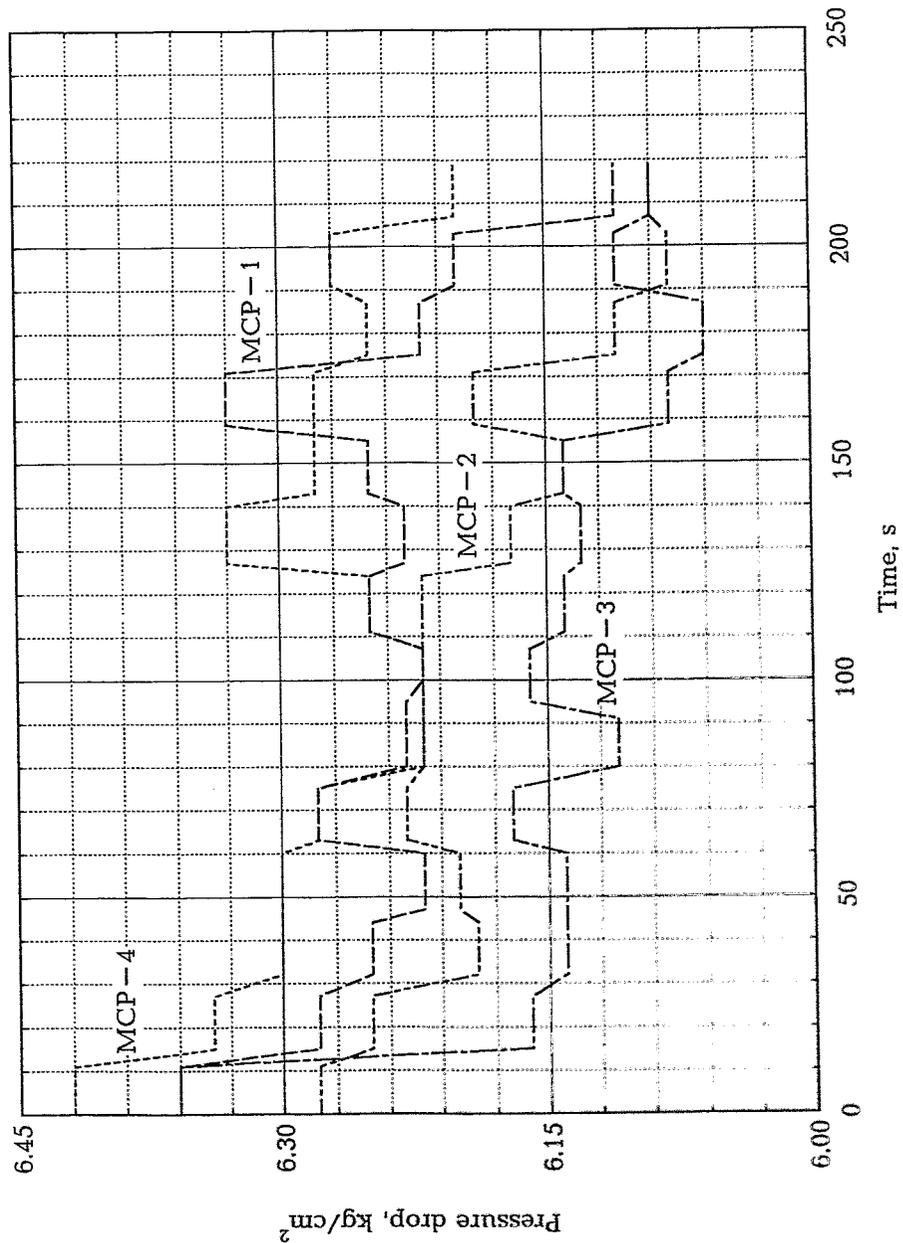


Fig. 2

Turbogenerator trip
Feed water flow rate

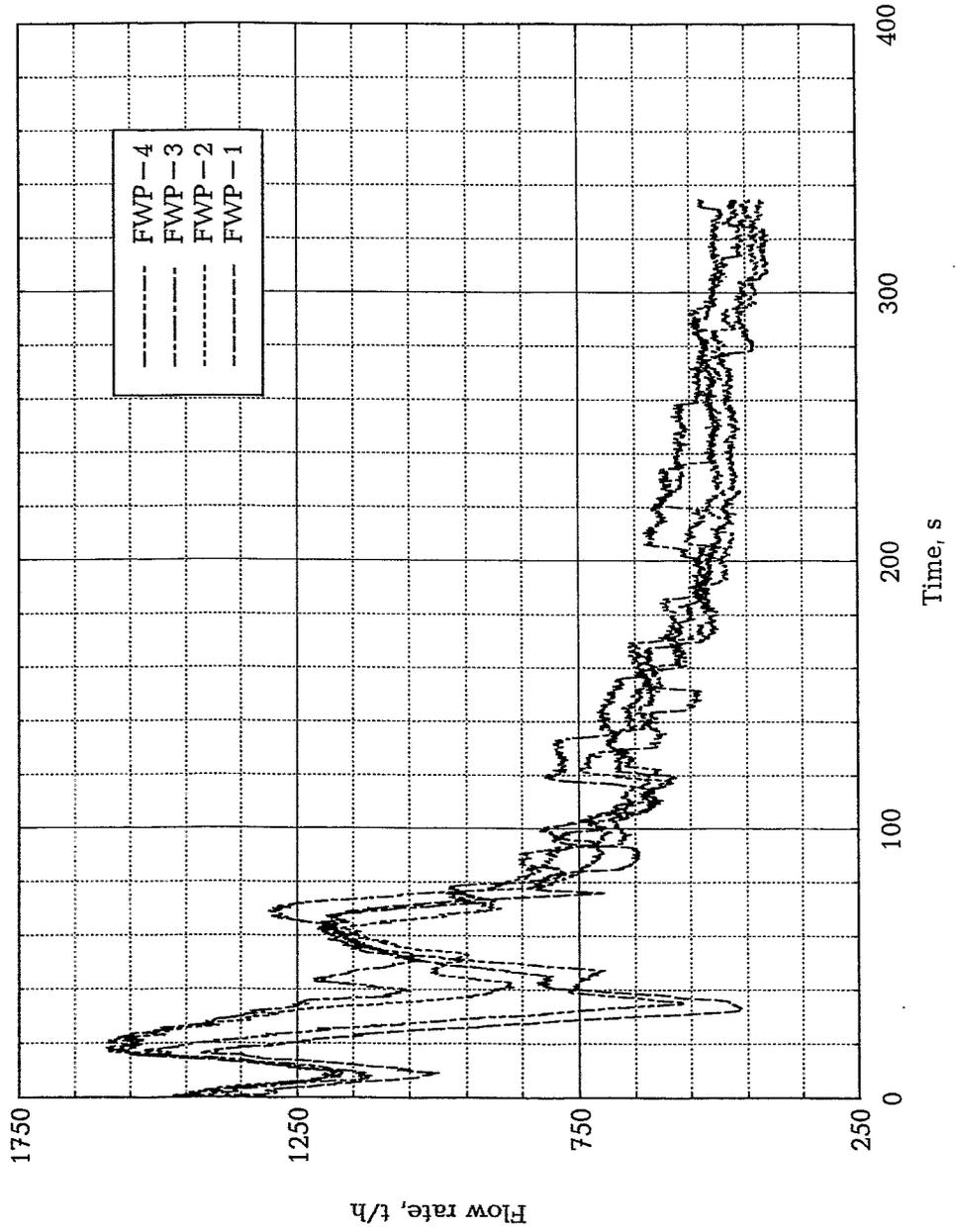


Fig.3

Turbogenerator trip
Control rod position of 10th group

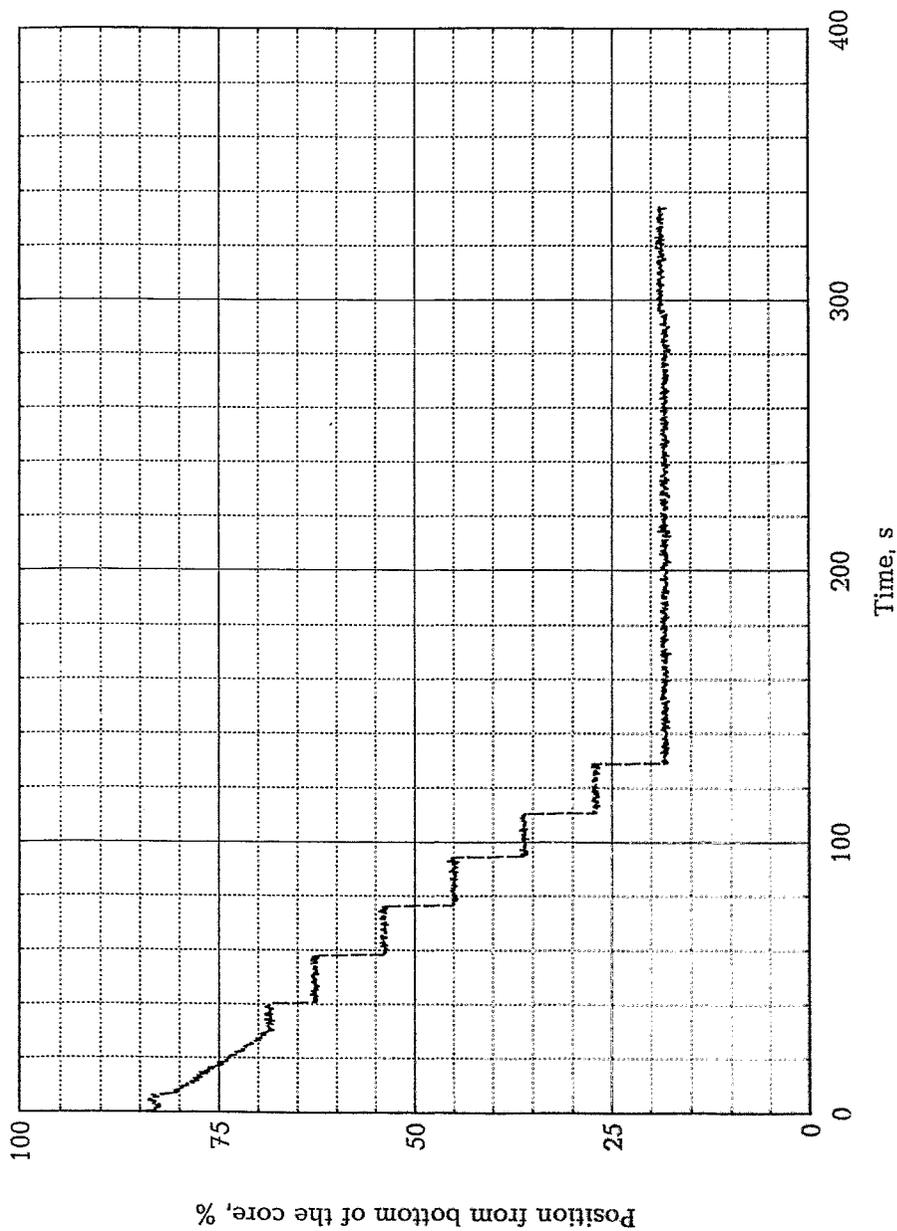


Fig. 4

Turbogenerator trip

Water level in pressurizer

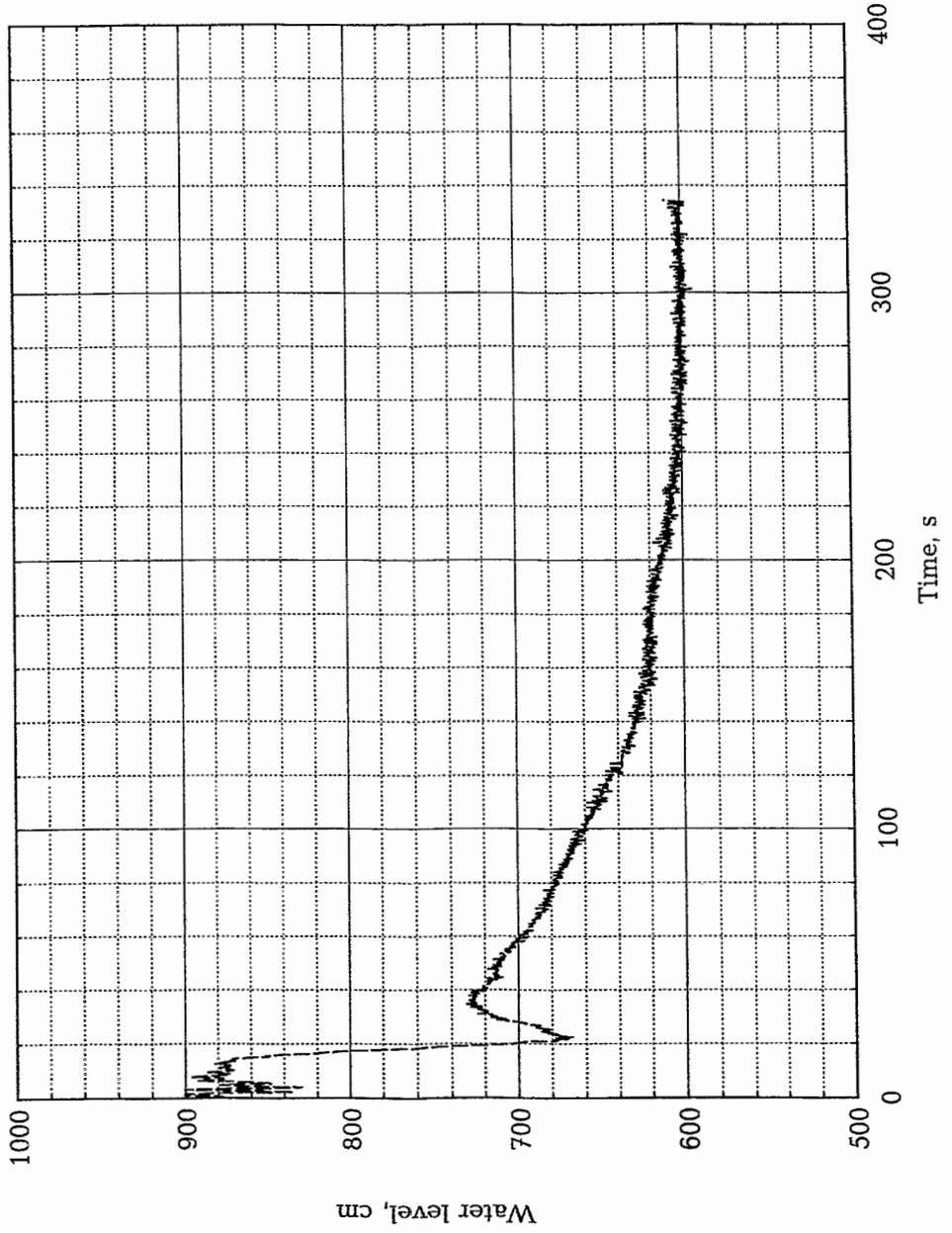


Fig. 5

Turbogenerator trip

Water level in the steamgenerator

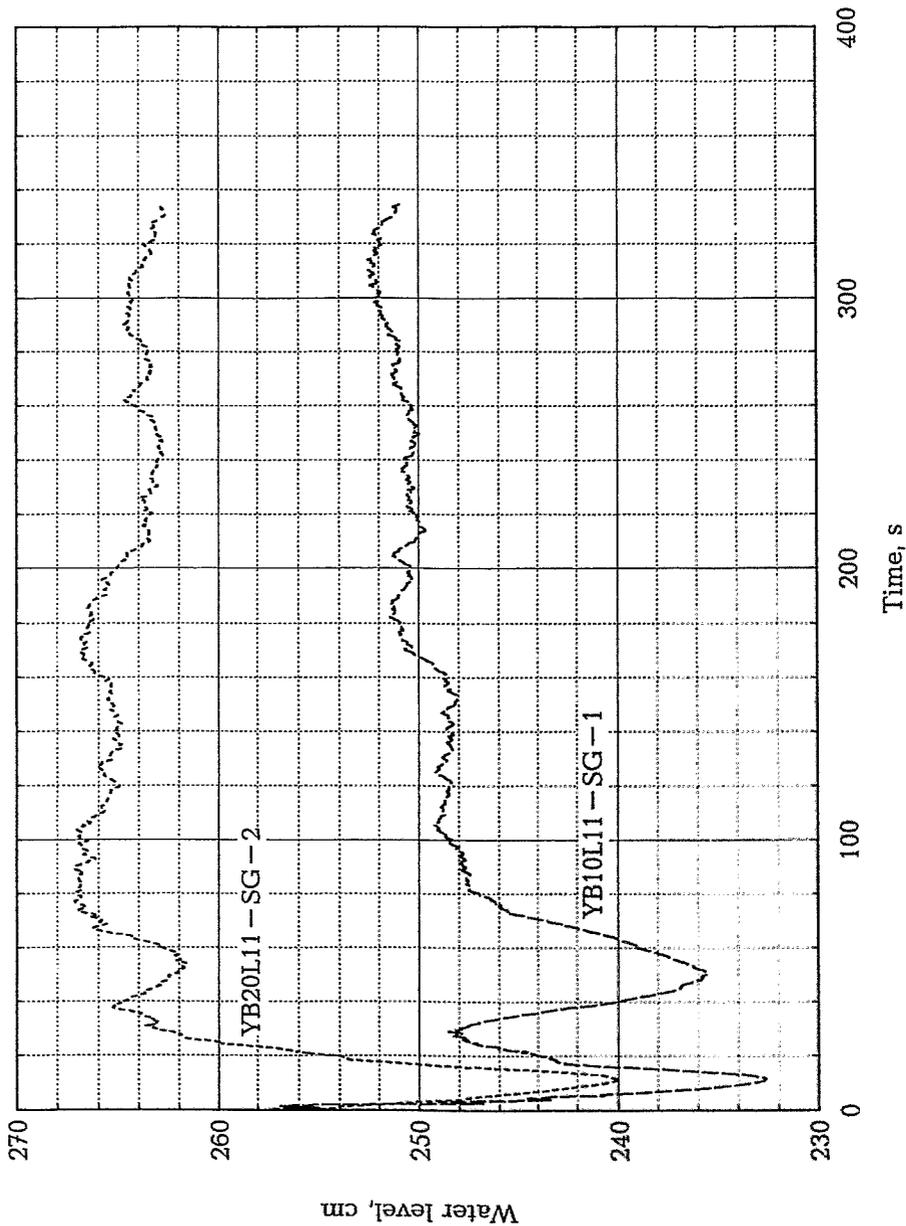


Fig. 6

Turbogenerator trip

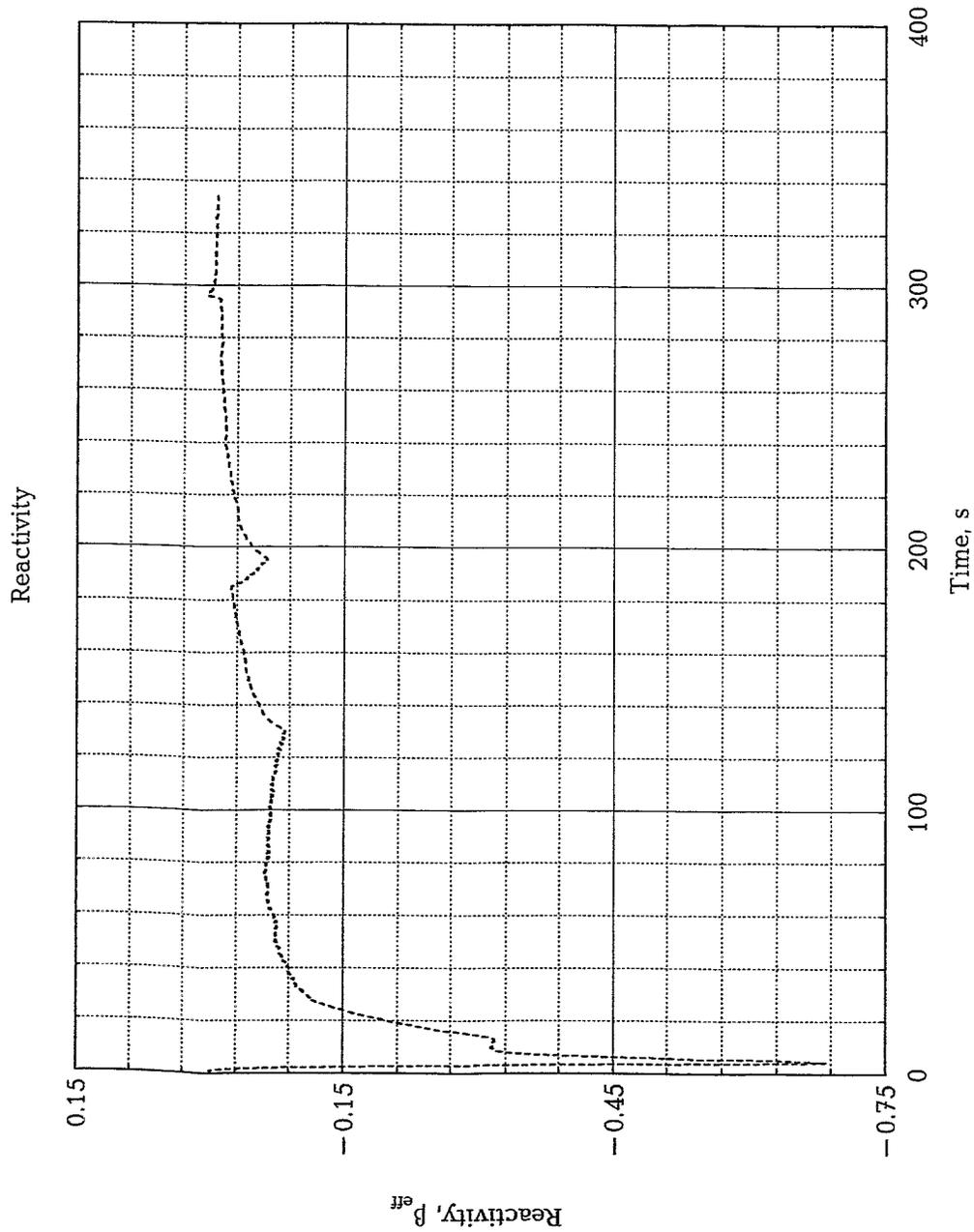


Fig. 7

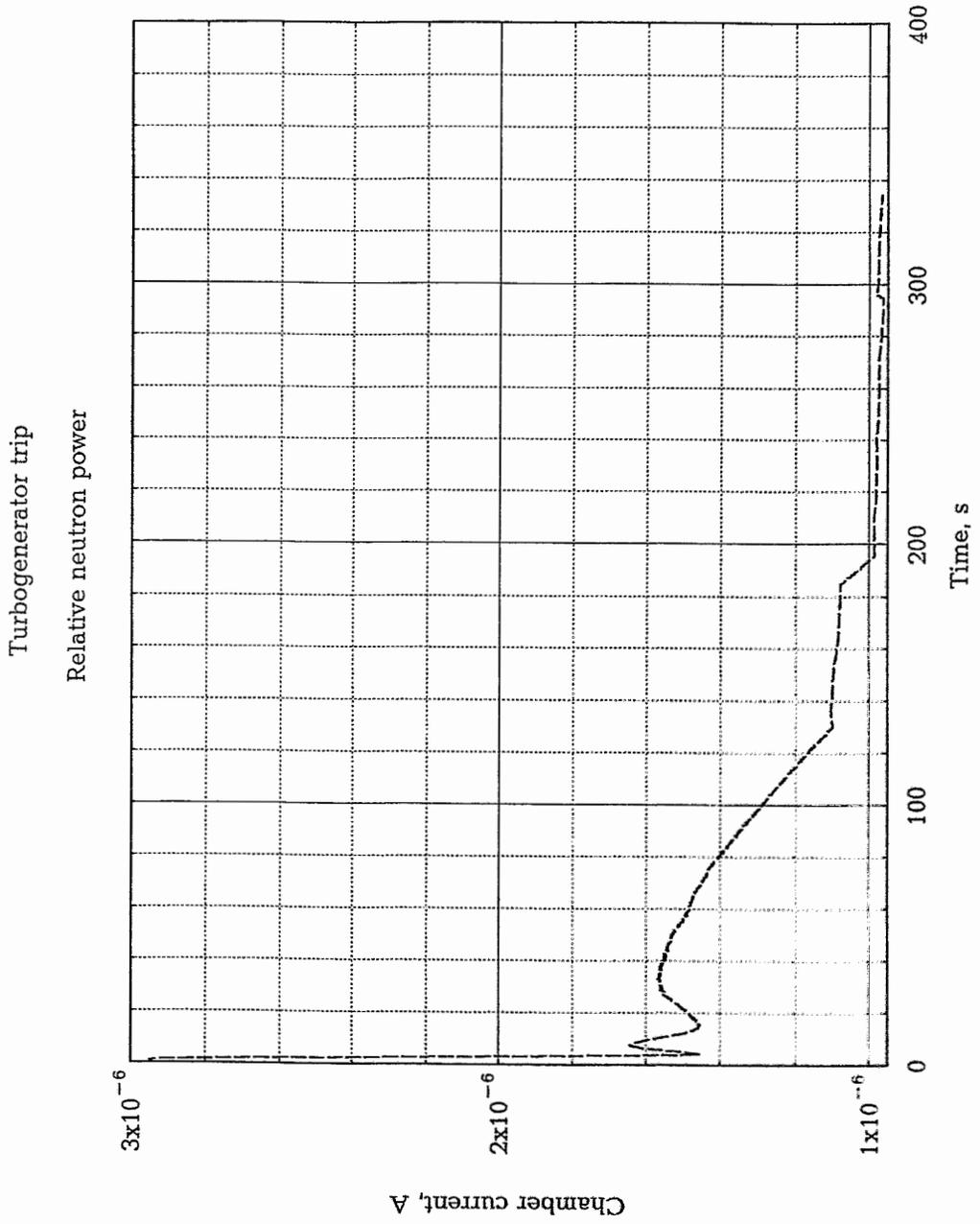


Fig. 8

Turbogenerator trip
Pressure in the primary circuit

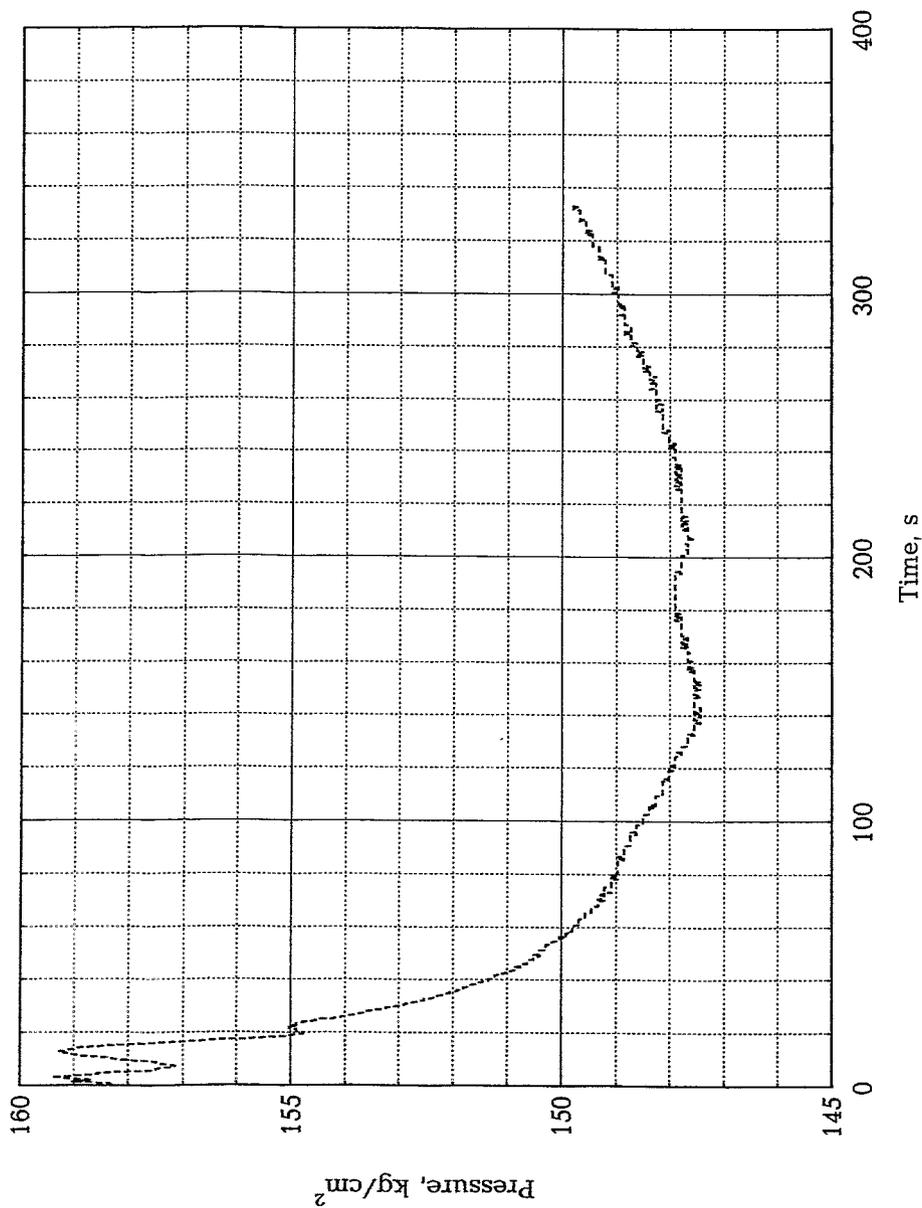


Fig. 9

Turbogenerator trip

Pressure in the steam header

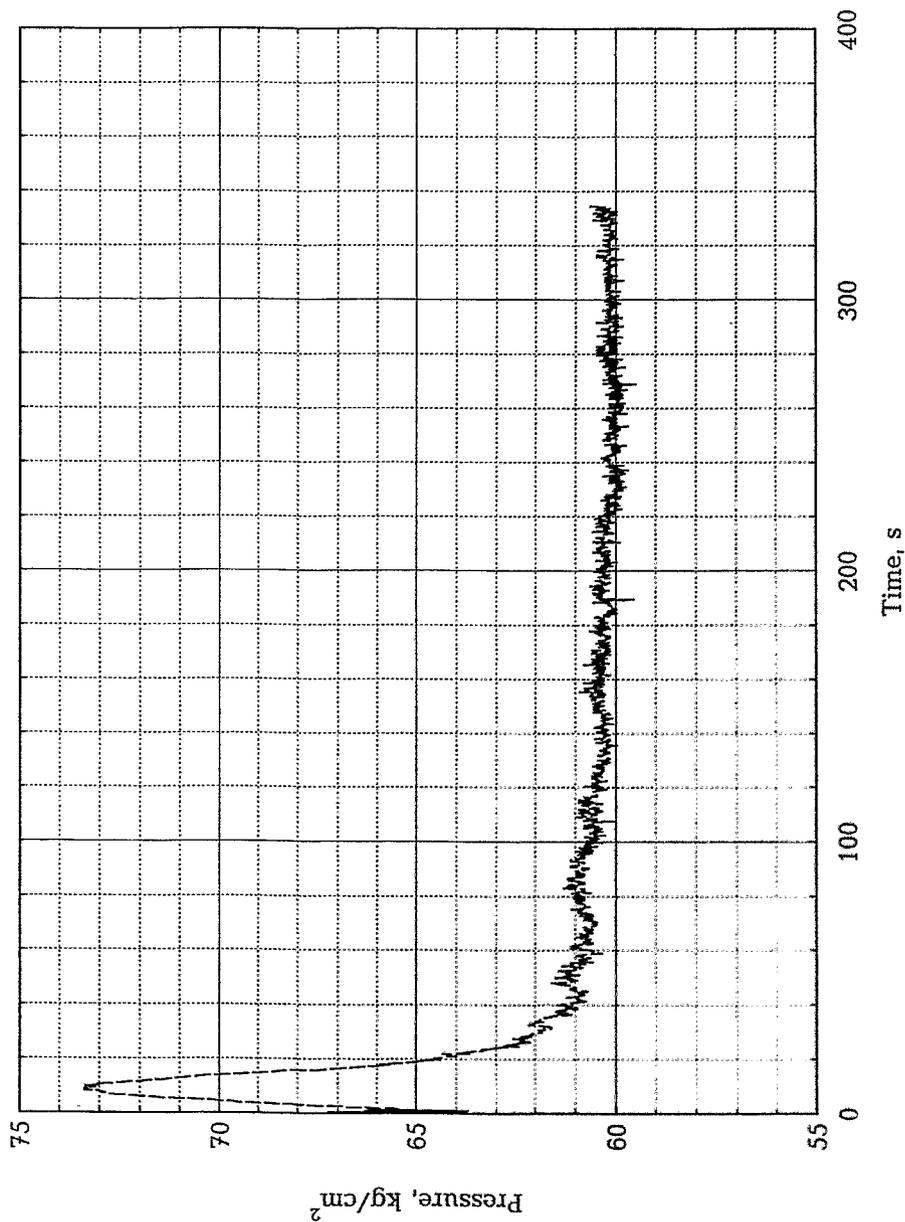


Fig. 10

Turbogenerator trip
Pressure in the preasurizer

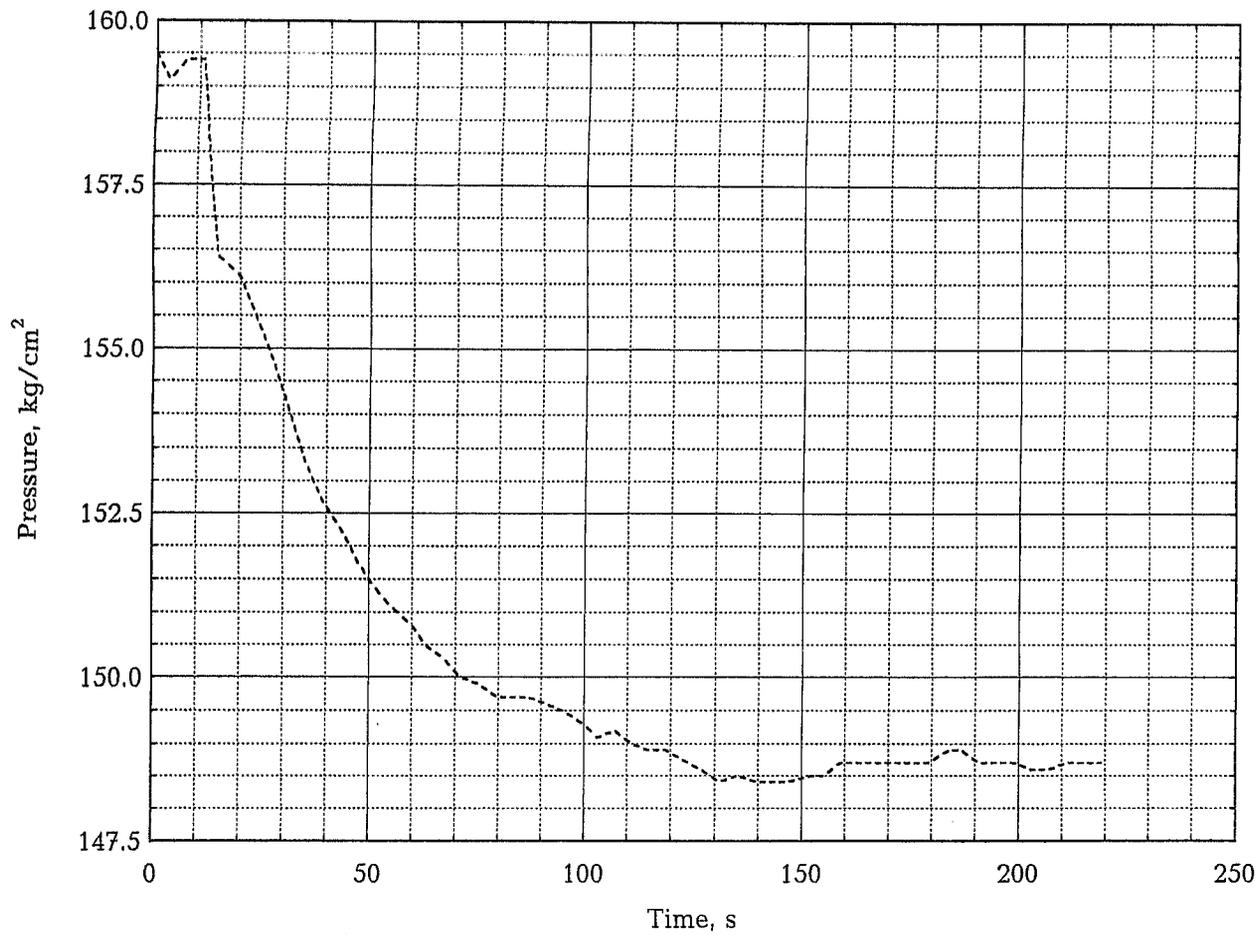


Fig.11

Turbogenerator trip
Cold legs temperature

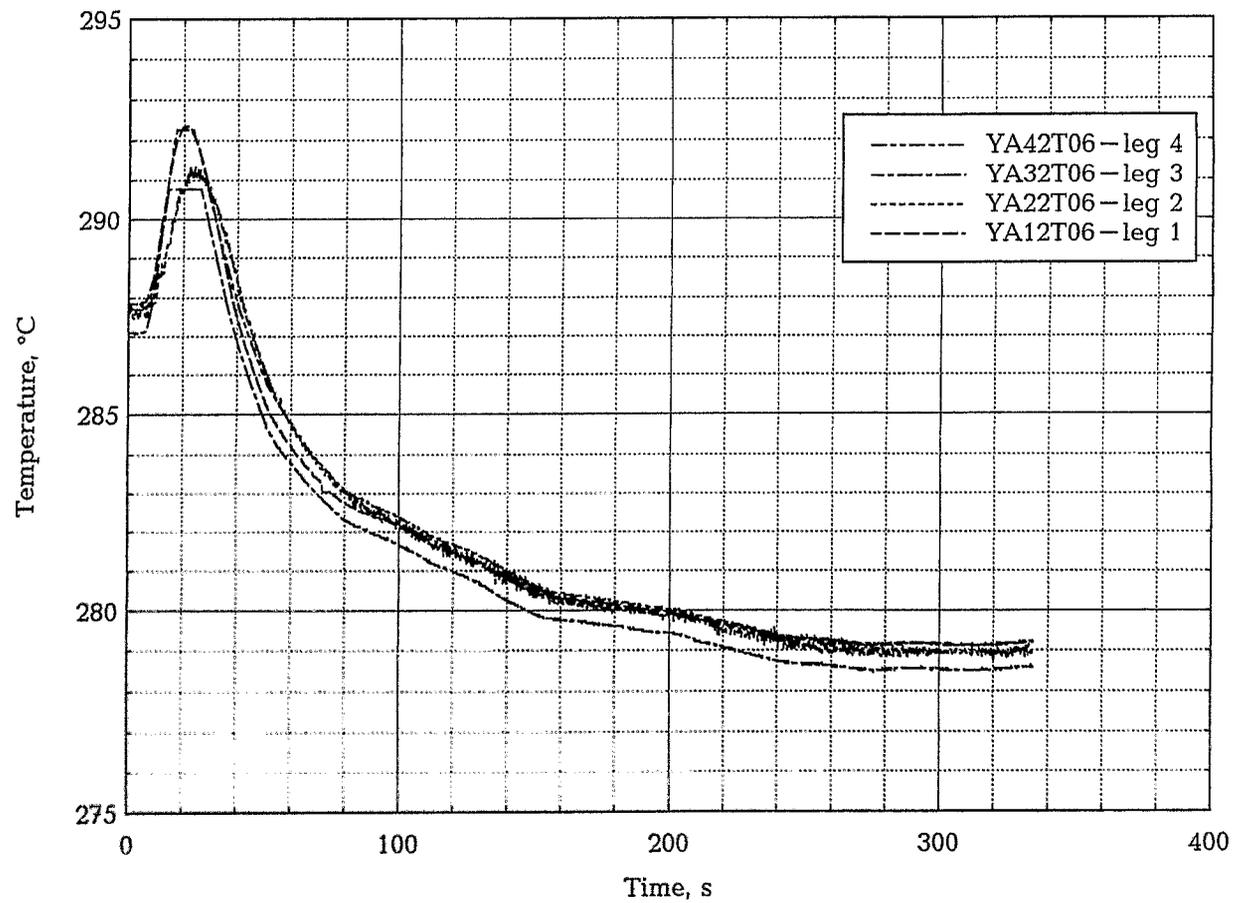


Fig. 12

Turbogenerator trip

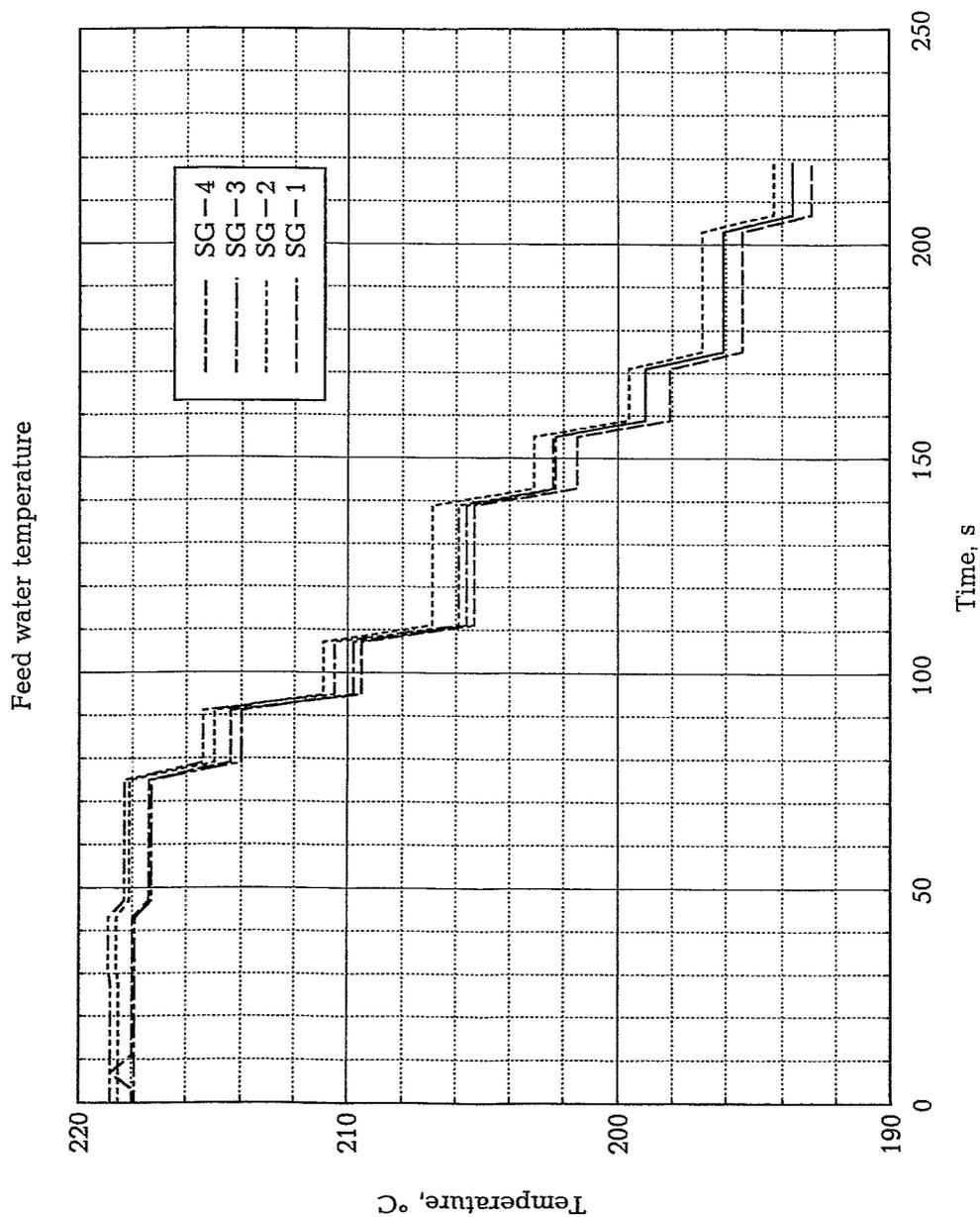


Fig. 13

Turbogenerator trip
Hot legs temperature

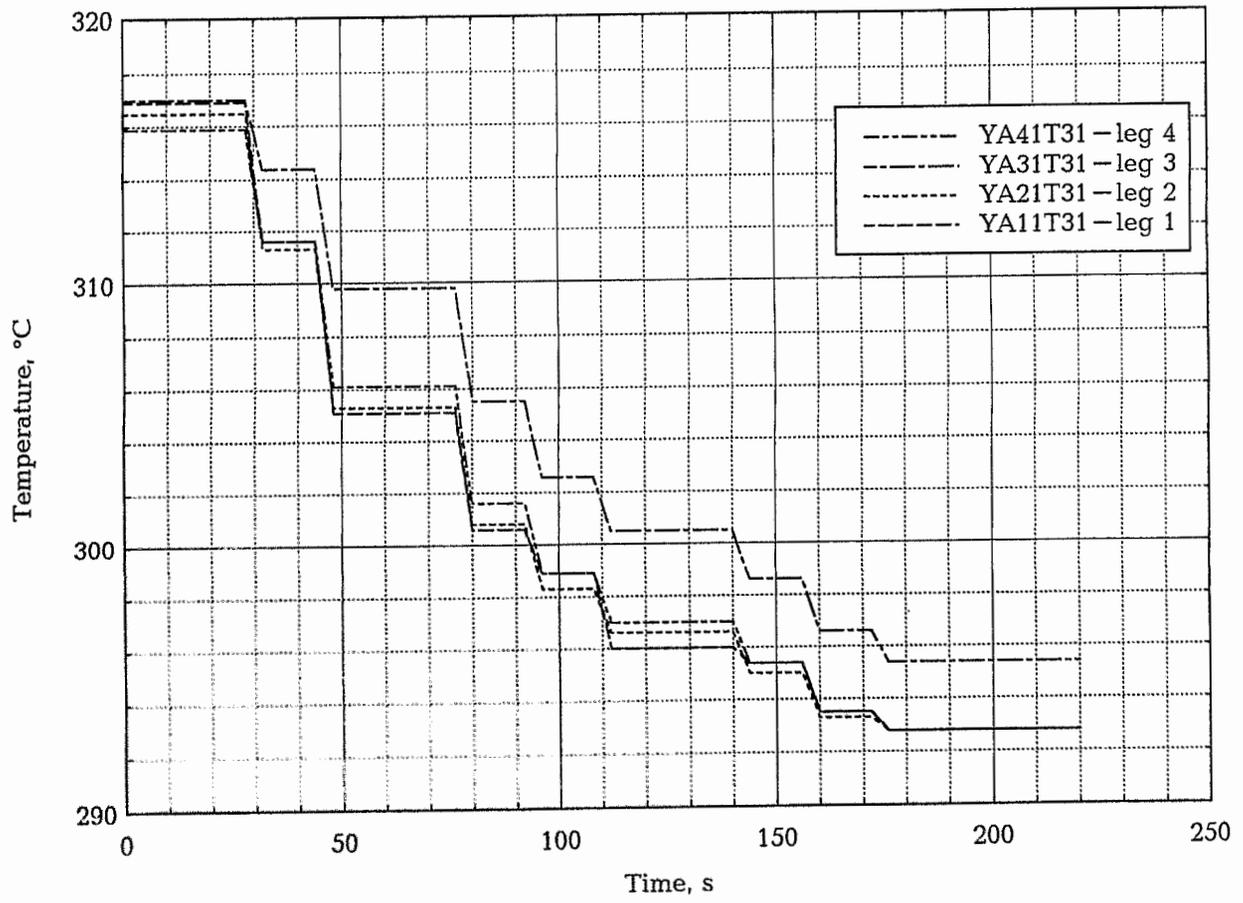


Fig. 14

Turbogenerator trip

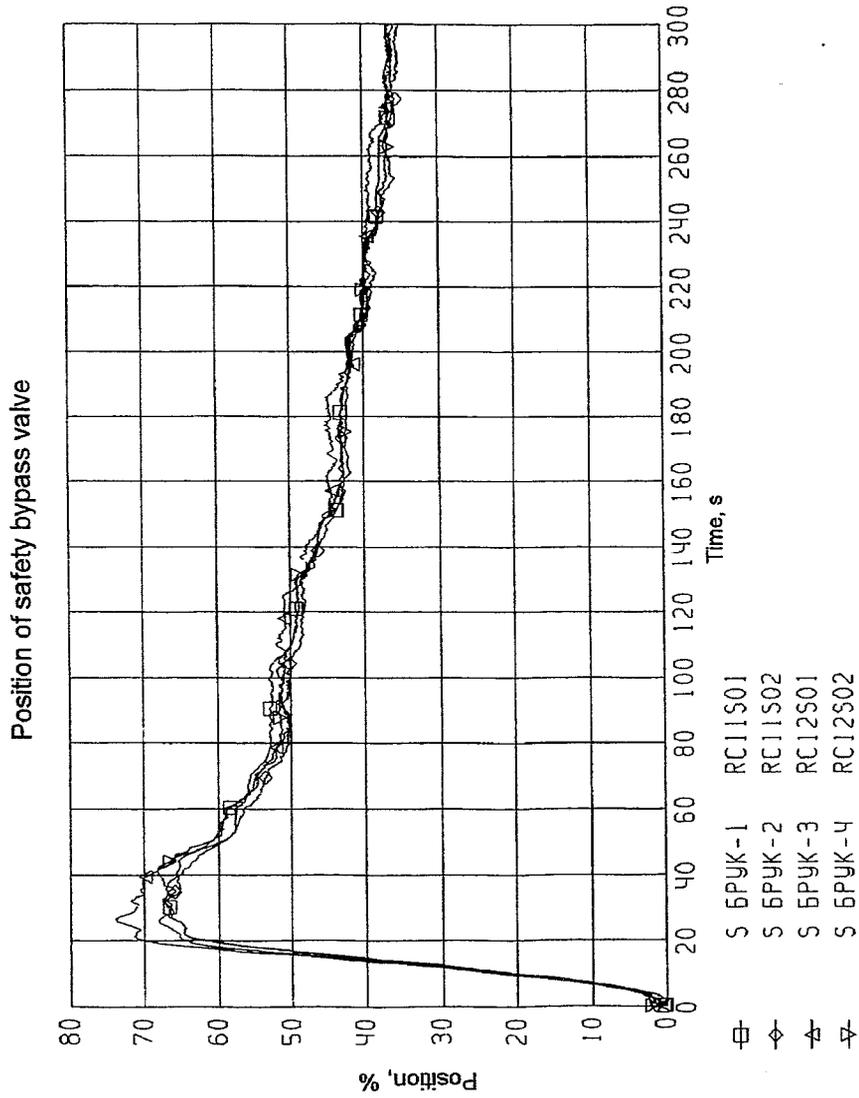


Fig. 15

Картограмма 1-й топливной загрузки 6-го блока ЗАЭС для сектора симметрии 60 градусов

28						
4.40						
1.00						
-						
26	27					
3.00	4.40					
1.00	1.00					
3	-					
23	24	25				
1.60	4.23	4.23				
1.00	1.00	1.00				
7	-	-				
19	20	21	22			
3.00	1.60	3.00	4.23			
1.00	1.00	1.00	1.00			
-	1	9	-			
14	15	16	17	18		
1.60	3.00	1.60	4.23	4.40		
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
-	6/5	2	-	-		
8	9	10	11	12	13	
3.00	1.60	3.00	1.60	3.00	4.40	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
6	-	-	8	4	-	
1	2	3	4	5	6	7
3.00	1.60	3.00	1.60	3.00	1.60	4.23
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	-	-	10	-	-	-

4.40 – ТВС обогащением 4.4%

3.00 – ТВС обогащением 3.0%

1.60 – ТВС обогащением 1.6%

4.23 – ТВС обогащением 4.4%, профилированная твэлами 3.6%

Рис. 16.

Anlage D

Transiente zum Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile bei der Leistungsaufnahme auf 100 %
(Daten in Tabellen)

Nr.	Dateiname	Typ der Informationen
1	dp_az.fzr	Druckabfall über Spaltzone
2	dp_gzn.fzr	Druckabfall über HUP-1...4
3	g_fw.add	Speisewasserdurchsatz DE-1...4
4	h_10.add	Stellung der Regelgruppe
5	h_kd.add	Höhenstand im DH
6	h_sg.add	Höhenstand im DE-1 und DE-2
7	np_r.add	Relative Neutronenleistung (Stromsignal von Ionisationskammern) und Reaktivität
8	p_1k.add	Druck im PKL (oberes Plenum)
9	p_gpk.add	Druck im Frischdampfsammler
10	p_kd.fzr	Druck im DH
11	t_cl.add	Temperatur im kalten Strang der Schleife 1...4
12	t_fw.fzr	Speisewassertemperatur am Eintritt der DE-1...4
13	t_hl.kor	Temperatur im heißen Strang der Schleifen 1...4
14	gr.txt	Daten zum Betrieb mit der 1. Brennstoffbeladung
15	shlaki.txt	Abbrandverteilung und Verteilung der Sm-Konzentration (Ergebnisse aus BIPR-Rechnung)

Anlage E

Anzeigewerte der Incore-Instrumentierung

Seiten A2-56 ... A2-74:

Lineare Leistungsdichte in den Brennelementen in MW/m (lt. Emissionsdetektoren)

- "KHI x" - Numerierung der Emissionsdetektoren und fortlaufende Numerierung über die Höhe (je 7 Geber)
- "cek" - Zeit in s

Seiten A2-74 ... A2-75:

Tabelle zur Verteilung der Emissionsdetektoren in der Spaltzone (360°)

- "TBC" - Numerierung der Brennelemente
- "KHI" - Numerierung der Emissionsdetektoren (wobei "0" - keine Emissionsdetektoren enthalten)

Seiten A2-75 ... A2-77:

Aufheizung in Brennelementen (lt. Thermoelemente des Reaktorkontrollsystems)

- "Homep TBC" - Numerierung der Brennelemente mit Thermoelementen
- "cek" - Zeit in s

Линейные энерговыделения в ТВС Мвт/м по ДПЗ

КНИ 1	1	2	3	4	5	6	7
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.773	4.894	4.750	4.804	4.867	5.093	4.175
16.0	4.773	4.707	4.750	4.804	4.867	4.859	3.996
36.0	4.000	4.113	4.011	4.054	4.089	4.214	3.464
58.0	3.640	3.750	3.644	3.648	3.613	3.707	3.062
80.0	3.359	3.445	3.312	3.246	3.187	3.273	2.742
100.0	3.101	3.152	2.960	2.863	2.824	2.957	2.503
122.0	2.804	2.804	2.613	2.531	2.539	2.718	2.503
145.0	2.433	2.414	2.261	2.253	2.308	2.718	2.210
166.0	2.152	2.144	2.031	2.253	2.308	2.406	2.210
188.0	1.941	1.937	2.031	1.914	2.046	2.406	2.210
209.0	1.941	1.937	1.707	1.914	2.046	2.406	1.984
220.0	1.941	1.937	1.707	1.914	2.046	2.406	1.984

КНИ 2	8	9	10	11	12	13	14
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.828	4.933	4.757	4.824	5.019	5.003	4.210
16.0	4.628	4.730	4.757	4.824	5.019	5.003	4.210
36.0	4.035	4.136	4.003	4.050	4.191	4.152	3.472
58.0	3.664	3.765	3.636	3.644	3.699	3.640	3.066
80.0	3.386	3.464	3.304	3.246	3.257	3.222	2.753
100.0	3.121	3.156	2.949	2.859	2.878	2.902	2.519
122.0	2.828	2.812	2.605	2.531	2.605	2.664	2.519
145.0	2.449	2.421	2.261	2.250	2.367	2.644	2.222
166.0	2.171	2.148	2.031	2.250	2.367	2.363	2.222
188.0	1.960	1.945	2.031	1.925	2.105	2.363	2.222
209.0	1.960	1.945	1.718	1.925	2.105	2.363	1.996
220.0	1.960	1.945	1.718	1.925	2.105	2.363	1.996

КНИ 3	15	16	17	18	19	20	21
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.308	6.285	6.096	6.082	6.210	6.222	5.250
16.0	6.000	5.976	5.796	5.785	5.906	5.894	4.957
36.0	5.210	5.214	5.074	5.066	5.140	5.058	4.269
58.0	4.730	4.730	4.593	4.531	4.496	4.386	3.761
80.0	4.332	4.335	4.156	3.992	3.914	3.851	3.375
100.0	4.019	3.957	3.687	3.484	3.437	3.453	3.085
122.0	3.632	3.492	3.210	3.066	3.078	3.164	2.878
145.0	3.113	2.972	2.765	2.695	2.785	2.925	2.878
166.0	2.742	2.621	2.464	2.457	2.582	2.925	2.617
188.0	2.468	2.355	2.238	2.457	2.582	2.656	2.617
209.0	2.218	2.128	2.238	2.125	2.324	2.656	2.617
220.0	2.218	2.128	2.238	2.125	2.324	2.656	2.617

КНИ 4	22	23	24	25	26	27	28
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.187	6.246	6.113	6.140	6.273	6.492	5.195
16.0	5.890	5.937	5.812	5.832	5.941	6.117	4.890
36.0	5.093	5.175	5.082	5.109	5.175	5.238	4.210

Приложение Д

58.0	4.632	4.699	4.621	4.589	4.535	4.554	3.714
80.0	4.273	4.332	4.195	4.054	3.937	4.007	3.328
100.0	3.937	3.941	3.722	3.531	3.468	3.593	3.035
122.0	3.546	3.480	3.234	3.097	3.097	3.281	3.035
145.0	3.062	2.968	2.792	2.734	2.816	3.050	2.695
166.0	2.691	2.617	2.500	2.503	2.816	3.050	2.695
188.0	2.433	2.355	2.269	2.503	2.480	2.773	2.695
209.0	2.175	2.117	2.269	2.160	2.480	2.773	2.410
220.0	2.175	2.117	2.269	2.160	2.480	2.773	2.410

КНИ 5	29	30	31	32	33	34	35
сек	1	2	3	4	5	6	7
0 0	6.363	6.535	6.218	6.214	6.425	6.496	5.117
16.0	5.976	6.132	5.839	5.835	6.015	6.070	4.785
36.0	5.125	5.292	5.058	5.058	5.214	5.191	4.105
58.0	4.601	4.753	4.546	4.515	4.578	4.531	3.628
80.0	4.207	4.351	4.121	4.011	4.027	4.035	3.277
100.0	3.863	3.949	3.671	3.542	3.593	3.660	3.019
122.0	3.492	3.511	3.250	3.171	3.273	3.390	3.019
145.0	3.039	3.054	2.859	2.863	3.015	3.183	2.699
166.0	2.726	2.746	2.613	2.652	3.015	3.183	2.699
188.0	2.492	2.523	2.414	2.652	2.722	2.945	2.699
209.0	2.269	2.308	2.414	2.367	2.722	2.945	2.421
220.0	2.269	2.308	2.414	2.367	2.722	2.945	2.421

КНИ 6	36	37	38	39	40	41	42
сек	1	2	3	4	5	6	7
0 0	6.363	6.390	6.156	6.179	6.402	6.429	5.128
16.0	5.968	5.968	5.757	5.785	5.964	5.980	4.765
36.0	5.121	5.164	5.000	5.035	5.171	5.125	4.105
58.0	4.621	4.660	4.519	4.507	4.546	4.488	3.667
80.0	4.214	4.257	4.089	4.003	4.011	4.007	3.320
100.0	3.890	3.890	3.656	3.539	3.589	3.652	3.070
122.0	3.519	3.460	3.234	3.183	3.277	3.398	3.070
145.0	3.050	2.988	2.843	2.855	3.015	3.183	2.765
166.0	2.738	2.695	2.597	2.855	3.015	3.183	2.765
188.0	2.496	2.457	2.398	2.500	2.726	2.949	2.765
209.0	2.289	2.457	2.398	2.500	2.726	2.949	2.484
220.0	2.289	2.457	2.398	2.500	2.726	2.949	2.484

КНИ 7	43	44	45	46	47	48	49
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.910	4.972	4.917	4.894	4.992	4.992	4.109
16.0	4.574	4.625	4.582	4.562	4.656	4.648	3.816
36.0	3.941	4.007	3.996	3.992	4.074	4.054	3.332
58.0	3.562	3.632	3.617	3.605	3.656	3.636	3.000
80.0	3.265	3.335	3.300	3.261	3.308	3.312	2.753
100.0	3.003	3.054	3.007	2.964	3.027	3.066	2.753
122.0	2.746	2.773	2.726	2.714	2.812	3.066	2.453
145.0	2.441	2.476	2.464	2.507	2.812	2.742	2.453
166.0	2.222	2.277	2.464	2.507	2.535	2.742	2.453
188.0	2.222	2.277	2.160	2.257	2.535	2.742	2.218

209.0	1.917	1.980	2.160	2.257	2.535	2.492	2.218
220.0	1.917	1.980	2.160	2.257	2.535	2.492	2.218

КНИ 8	50	51	52	53	54	55	56
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.835	4.968	4.917	3.332	4.984	4.976	4.113
16.0	4.496	4.625	4.562	3.332	4.632	4.617	3.816
36.0	3.886	4.019	3.988	3.332	4.058	4.031	3.335
58.0	3.507	3.632	3.613	3.332	3.636	3.617	3.000
80.0	3.218	3.339	3.296	3.332	3.289	3.292	2.753
100.0	2.964	3.062	3.003	3.332	3.015	3.058	2.753
122.0	2.707	2.773	2.734	3.332	2.812	3.058	2.453
145.0	2.398	2.476	2.472	3.332	2.812	2.742	2.453
166.0	2.191	2.273	2.472	3.332	2.523	2.742	2.453
188.0	2.191	2.273	2.167	3.332	2.523	2.742	2.230
209.0	1.878	1.980	2.167	3.332	2.523	2.488	2.230
220.0	1.878	1.980	2.167	3.332	2.523	2.488	2.230

КНИ 9	57	58	59	60	61	62	63
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.828	5.070	4.988	0.035	4.988	4.980	4.187
16.0	4.472	4.675	4.601	0.035	4.605	4.601	3.855
36.0	3.863	4.082	4.027	0.035	4.046	4.039	3.386
58.0	3.500	3.710	3.675	0.035	3.640	3.628	3.062
80.0	3.222	3.410	3.363	0.035	3.312	3.320	2.824
100.0	2.972	3.132	3.058	0.035	3.039	3.082	2.824
122.0	2.707	2.839	2.777	0.035	2.832	3.082	2.527
145.0	2.406	2.535	2.523	0.035	2.832	2.773	2.527
166.0	2.207	2.535	2.523	0.035	2.554	2.773	2.527
188.0	2.207	2.179	2.203	0.035	2.554	2.773	2.296
209.0	1.898	2.179	2.203	0.035	2.554	2.527	2.296
220.0	1.898	2.179	2.203	0.035	2.554	2.527	2.296

КНИ 10	64	65	66	67	68	69	70
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	5.632	5.824	5.757	5.652	5.664	5.492	4.199
16.0	5.167	5.355	5.304	5.234	5.222	5.046	3.867
36.0	4.507	4.699	4.679	4.617	4.632	4.480	3.437
58.0	4.105	4.292	4.289	4.230	4.230	4.105	3.152
80.0	3.808	3.976	3.953	3.906	3.898	3.796	2.933
100.0	3.523	3.667	3.644	3.597	3.636	3.582	2.933
122.0	3.234	3.363	3.355	3.339	3.429	3.582	2.671
145.0	2.886	3.039	3.066	3.113	3.429	3.285	2.671
166.0	2.671	2.832	3.066	3.113	3.152	3.285	2.671
188.0	2.671	2.832	2.757	2.871	3.152	3.285	2.671
209.0	2.355	2.523	2.757	2.871	3.152	3.042	2.367
220.0	2.355	2.523	2.757	2.871	3.152	3.042	2.367

КНИ 11	71	72	73	74	75	76	77
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	5.742	5.949	5.675	5.710	5.742	5.527	4.210
16.0	5.214	5.414	5.199	5.195	5.234	5.062	3.839
36.0	4.566	4.765	4.605	4.613	4.660	4.492	3.417

Приложение Д

58.0	4.160	4.347	4.203	4.207	4.238	4.097	3.125
80.0	3.843	4.015	3.878	3.878	3.902	3.789	2.906
100.0	3.558	3.718	3.558	3.562	3.625	3.558	2.906
122.0	3.253	3.394	3.257	3.324	3.421	3.558	2.652
145.0	2.914	3.070	2.992	3.097	3.421	3.261	2.652
166.0	2.695	2.863	2.992	3.097	3.156	3.261	2.652
188.0	2.695	2.863	2.687	2.867	3.156	3.261	2.437
209.0	2.371	2.554	2.687	2.867	3.156	3.019	2.437
220.0	2.371	2.554	2.687	2.867	3.156	3.019	2.437

КНИ 12	78	79	80	81	82	83	84
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	5.640	5.832	5.746	5.675	5.714	5.621	4.250
16.0	5.121	5.316	5.238	5.156	5.187	5.105	3.863
36.0	4.476	4.671	4.636	4.593	4.628	4.558	3.445
58.0	4.097	4.289	4.250	4.207	4.246	4.183	3.171
80.0	3.792	3.960	3.929	3.871	3.902	3.878	2.949
100.0	3.523	3.667	3.621	3.574	3.644	3.656	2.949
122.0	3.218	3.355	3.332	3.332	3.441	3.656	2.695
145.0	2.898	3.039	3.062	3.117	3.441	3.363	2.695
166.0	2.675	2.824	3.062	3.117	3.175	3.363	2.695
188.0	2.675	2.824	2.742	2.878	3.175	3.363	2.492
209.0	2.347	2.515	2.742	2.878	3.175	3.101	2.492
220.0	2.347	2.515	2.742	2.878	3.175	3.101	2.492

КНИ 13	85	86	87	88	89	90	91
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.976	5.000	4.875	4.910	5.007	5.093	3.839
16.0	4.500	4.519	4.398	4.437	4.527	4.558	3.421
36.0	3.949	3.984	3.882	3.914	3.941	3.914	2.972
58.0	3.578	3.613	3.515	3.472	3.414	3.386	2.625
80.0	3.287	3.296	3.144	3.031	2.976	2.976	2.359
100.0	3.015	2.972	2.757	2.648	2.628	2.703	2.359
122.0	2.683	2.589	2.390	2.335	2.363	2.488	2.039
145.0	2.292	2.214	2.082	2.078	2.164	2.488	2.039
166.0	2.031	1.957	2.082	2.078	2.164	2.210	2.039
188.0	2.031	1.957	1.730	1.796	1.933	2.210	1.800
209.0	1.648	1.613	1.730	1.796	1.933	2.210	1.800
220.0	1.648	1.613	1.730	1.796	1.933	2.210	1.800

КНИ 14	92	93	94	95	96	97	98
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.929	4.972	4.738	4.878	4.945	5.000	3.546
16.0	4.449	4.488	4.296	4.406	4.457	5.000	3.546
36.0	3.960	4.011	3.847	3.933	3.933	5.000	3.101
58.0	3.636	3.675	3.500	3.523	3.460	5.000	2.761
80.0	3.355	3.367	3.152	3.105	3.046	6.144	2.492
100.0	3.078	3.039	2.792	2.738	2.722	3.347	2.492
122.0	2.742	2.675	2.449	2.437	2.476	4.335	2.171
145.0	2.367	2.308	2.144	2.191	2.273	4.074	2.171
166.0	2.125	2.078	2.144	2.191	2.273	3.039	2.171
188.0	2.125	2.078	1.808	1.910	2.050	3.039	1.933
209.0	1.738	1.722	1.808	1.910	2.050	3.621	1.933

220.0	1.738	1.722	1.808	1.910	2.050	3.621	1.933
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

КНИ	15	99	100	101	102	103	104	105
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	4.851	5.000	4.933	4.960	5.000	5.105	3.996	
16.0	4.851	4.792	4.718	4.960	5.000	5.105	3.996	
36.0	4.003	4.132	4.085	4.113	4.132	4.132	3.253	
58.0	3.593	3.714	3.679	3.667	3.593	3.566	2.847	
80.0	3.285	3.390	3.324	3.226	3.117	3.121	2.535	
100.0	3.019	3.082	2.941	2.800	2.730	2.781	2.308	
122.0	2.726	2.726	2.558	2.457	2.433	2.539	2.308	
145.0	2.343	2.328	2.207	2.171	2.207	2.339	2.015	
166.0	2.062	2.046	1.972	2.171	2.207	2.339	2.015	
188.0	1.859	1.835	1.972	1.843	1.937	2.117	2.015	
209.0	1.660	1.835	1.648	1.843	1.937	2.117	1.792	
220.0	1.660	1.835	1.648	1.843	1.937	2.117	1.792	

КНИ	16	106	107	108	109	110	111	112
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	5.039	4.980	4.835	4.906	5.089	5.054	3.750	
16.0	4.816	4.750	4.621	4.906	4.832	4.792	3.554	
36.0	4.132	4.097	4.000	4.050	4.171	4.070	3.039	
58.0	3.722	3.691	3.597	3.609	3.617	3.515	2.667	
80.0	3.406	3.371	3.242	3.160	3.140	3.082	2.382	
100.0	3.117	3.046	2.843	2.738	2.750	2.753	2.175	
122.0	2.812	2.683	2.476	2.410	2.468	2.523	2.175	
145.0	2.410	2.289	2.140	2.132	2.238	2.523	1.906	
166.0	2.121	2.015	1.914	2.132	2.238	2.210	1.906	
188.0	1.906	1.816	1.914	1.804	1.972	2.210	1.906	
209.0	1.906	1.816	1.609	1.804	1.972	2.210	1.691	
220.0	1.906	1.816	1.609	1.804	1.972	2.210	1.691	

КНИ	17	113	114	115	116	117	118	119
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	6.480	6.343	6.113	6.386	6.441	6.300	4.828	
16.0	6.136	6.015	5.796	6.015	6.085	5.957	4.562	
36.0	5.257	5.183	5.015	5.230	5.250	5.085	3.902	
58.0	4.710	4.644	4.503	4.656	4.585	4.425	3.449	
80.0	4.300	4.234	4.070	4.105	4.015	3.917	3.105	
100.0	3.949	3.851	3.621	3.621	3.578	3.531	2.851	
122.0	3.582	3.425	3.187	3.226	3.246	3.265	2.851	
145.0	3.097	2.957	2.792	2.890	2.972	3.050	2.531	
166.0	2.753	2.628	2.519	2.667	2.972	3.050	2.531	
188.0	2.507	2.402	2.519	2.667	2.675	2.804	2.531	
209.0	2.273	2.402	2.171	2.367	2.675	2.804	2.261	
220.0	2.273	2.402	2.171	2.367	2.675	2.804	2.261	

КНИ	18	120	121	122	123	124	125	126
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0	6.363	6.386	6.23	6.273	6.289	6.406	4.812	
16	6.035	6.031	5.882	5.917	5.941	6.027	4.527	
36	5.16	5.191	5.093	5.136	5.128	5.136	3.886	
58	4.64	4.679	4.578	4.578	4.484	4.48	3.437	

Приложение Д

80	4.242	4.269	4.132	4.035	3.921	3.968	3.101
100	3.886	3.867	3.66	3.546	3.492	3.597	2.851
122	3.511	3.429	3.226	3.164	3.171	3.332	2.851
145	3.039	2.968	2.843	2.847	2.91	3.121	2.542
166	2.707	2.656	2.582	2.628	2.91	3.121	2.542
188	2.464	2.429	2.582	2.628	2.632	2.878	2.542
209	2.23	2.218	2.226	2.343	2.632	2.878	2.269
220	2.23	2.218	2.226	2.343	2.632	2.878	2.269

КНИ 19	127	128	129	130	131	132	133
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.414	6.421	6.175	6.265	6.312	6.277	4.863
16.0	6.039	6.046	5.824	5.894	5.941	5.894	4.562
36.0	5.183	5.214	5.039	5.117	5.128	5.027	3.906
58.0	4.667	4.699	4.546	4.566	4.488	4.394	3.464
80.0	4.285	4.308	4.109	4.031	3.945	3.902	3.136
100.0	3.917	3.902	3.640	3.550	3.515	3.542	2.890
122.0	3.527	3.453	3.207	3.160	3.191	3.277	2.890
145.0	3.062	2.984	2.816	2.839	2.929	3.074	2.589
166.0	2.726	2.671	2.554	2.632	2.929	3.074	2.589
188.0	2.492	2.437	2.554	2.632	2.648	2.835	2.589
209.0	2.195	2.183	2.152	2.308	2.648	2.835	2.308
220.0	2.195	2.183	2.152	2.308	2.648	2.835	2.308

КНИ 20	134	135	136	137	138	139	140
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.410	6.304	6.246	6.203	6.437	6.410	4.902
16.0	5.988	5.875	5.804	5.777	5.972	5.917	4.523
36.0	5.074	5.019	4.980	4.972	5.105	5.000	3.835
58.0	4.519	4.468	4.437	4.390	4.417	4.312	3.355
80.0	4.093	4.039	3.960	3.828	3.835	3.789	3.000
100.0	3.730	3.644	3.496	3.347	3.386	3.402	2.738
122.0	3.335	3.195	3.050	2.953	3.050	3.125	2.738
145.0	2.878	2.746	2.660	2.636	2.789	2.910	2.402
166.0	2.546	2.437	2.410	2.421	2.789	2.910	2.402
188.0	2.312	2.218	2.410	2.421	2.480	2.656	2.402
209.0	2.082	2.015	2.054	2.136	2.480	2.656	2.121
220.0	2.082	2.015	2.054	2.136	2.480	2.656	2.121

КНИ 21	141	142	143	144	145	146	147
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.410	6.332	6.238	6.199	6.339	6.312	4.863
16.0	5.949	5.867	5.769	5.726	5.847	5.804	4.480
36.0	5.058	5.019	4.960	4.929	5.000	4.902	3.804
58.0	4.500	4.468	4.414	4.339	4.316	4.226	3.332
80.0	4.078	4.046	3.941	3.789	3.760	3.710	2.972
100.0	3.699	3.628	3.464	3.296	3.300	3.332	2.714
122.0	3.320	3.195	3.035	2.917	2.980	3.058	2.714
145.0	2.855	2.738	2.652	2.605	2.718	2.851	2.382
166.0	2.535	2.453	2.402	2.402	2.718	2.851	2.382
188.0	2.292	2.218	2.402	2.402	2.425	2.601	2.382
209.0	2.058	2.218	2.039	2.101	2.425	2.601	2.113
220.0	2.058	2.218	2.039	2.101	2.425	2.601	2.113

КНИ	22	148	149	150	151	152	153	154
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	6.519	6.628	6.285	6.300	6.507	6.339	4.839	
16.0	6.015	6.089	5.781	5.792	5.968	5.812	4.441	
36.0	5.125	5.226	4.988	4.996	5.121	4.917	3.789	
58.0	4.570	4.671	4.453	4.414	4.425	4.257	3.320	
80.0	4.152	4.234	3.988	3.851	3.855	3.753	2.980	
100.0	3.781	3.820	3.503	3.375	3.402	3.371	2.722	
122.0	3.386	3.347	3.066	2.988	3.078	3.101	2.722	
145.0	2.910	2.875	2.679	2.671	2.812	2.886	2.402	
166.0	2.589	2.574	2.429	2.472	2.812	2.886	2.402	
188.0	2.339	2.339	2.429	2.472	2.515	2.640	2.402	
209.0	2.117	2.132	2.070	2.171	2.515	2.640	2.136	
220.0	2.117	2.132	2.070	2.171	2.515	2.640	2.136	

КНИ	23	155	156	157	158	159	160	161
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	4.042	4.320	4.144	4.093	4.093	4.039	3.015	
16.0	3.746	3.964	3.832	3.796	3.785	3.726	2.789	
36.0	3.257	3.480	3.375	3.363	3.367	3.320	2.468	
58.0	2.972	3.195	3.093	3.070	3.074	3.019	2.257	
80.0	2.757	2.960	2.863	2.839	2.835	2.808	2.257	
100.0	2.550	2.738	2.648	2.613	2.835	2.808	2.000	
122.0	2.339	2.511	2.429	2.613	2.492	2.523	2.000	
145.0	2.113	2.281	2.222	2.273	2.492	2.523	2.000	
166.0	2.113	2.281	2.003	2.273	2.234	2.324	1.781	
188.0	1.812	2.007	2.033	2.015	2.234	2.324	1.781	
209.0	1.812	2.007	2.003	2.015	2.234	2.324	1.781	
220.0	1.812	2.007	2.003	2.015	2.234	2.324	1.781	

КНИ	24	162	163	164	165	166	167	168
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	4.046	4.191	4.125	4.265	4.273	4.222	2.882	
16.0	3.714	3.843	3.800	3.902	3.914	3.847	2.882	
36.0	3.230	3.375	3.347	3.460	3.457	3.406	2.339	
58.0	2.945	3.082	3.058	3.167	3.156	3.105	2.136	
80.0	2.722	2.847	2.824	2.898	2.902	2.886	1.988	
100.0	2.519	2.632	2.589	2.683	2.902	2.886	1.988	
122.0	2.308	2.406	2.386	2.683	2.554	2.601	1.988	
145.0	2.058	2.167	2.386	2.339	2.554	2.601	1.734	
166.0	1.808	2.167	2.070	2.339	2.351	2.601	1.734	
188.0	1.808	1.917	2.070	2.339	2.351	2.390	1.734	
209.0	1.808	1.917	1.871	2.082	2.351	2.390	1.734	
220.0	1.808	1.917	1.871	2.082	2.351	2.390	1.734	

КНИ	25	169	170	171	172	173	174	175
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	7.199	7.339	7.152	7.089	7.054	6.984	5.597	
16.0	6.550	6.675	6.527	6.484	6.445	6.363	5.113	
36.0	5.679	5.832	5.730	5.703	5.691	5.625	4.531	
58.0	5.152	5.304	5.222	5.191	5.152	5.105	4.113	
80.0	4.757	4.886	4.792	4.738	4.718	4.703	3.812	

Приложение Д

100.0	4.386	4.496	4.386	4.351	4.363	4.406	3.593
122.0	3.992	4.085	4.003	4.019	4.093	4.187	3.593
145.0	3.574	3.679	3.664	3.726	3.875	4.187	3.300
166.0	3.292	3.406	3.433	3.726	3.875	3.906	3.300
188.0	3.066	3.199	3.433	3.425	3.632	3.906	3.300
209.0	2.851	2.996	3.093	3.425	3.632	3.667	2.960
220.0	2.851	2.996	3.093	3.425	3.632	3.667	2.960

КНИ	26	176	177	178	179	180	181	182
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	7.218	7.312	7.136	7.093	7.027	6.996	5.253	
16.0	6.527	6.621	6.476	6.429	6.394	6.324	4.750	
36.0	5.683	5.804	5.703	5.695	5.675	5.617	4.210	
58.0	5.160	5.285	5.195	5.175	5.152	5.117	3.847	
80.0	4.757	4.878	4.773	4.734	4.718	4.718	3.562	
100.0	4.386	4.476	4.371	4.347	4.378	4.429	3.562	
122.0	4.000	4.085	4.003	4.031	4.132	4.226	3.328	
145.0	3.574	3.679	3.664	3.761	3.917	4.226	3.238	
166.0	3.289	3.421	3.445	3.761	3.917	3.960	2.996	
188.0	3.078	3.214	3.445	3.453	3.695	3.960	2.996	
209.0	2.855	3.214	3.105	3.453	3.695	3.718	2.742	
220.0	2.855	3.214	3.105	3.453	3.695	3.718	2.742	

КНИ	27	183	184	185	186	187	188	189
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	7.136	7.347	7.175	7.101	7.097	6.882	5.226	
16.0	6.441	6.601	6.457	6.386	6.410	6.207	4.710	
36.0	5.636	5.839	5.734	5.699	5.714	5.527	4.191	
58.0	5.128	5.328	5.246	5.183	5.199	5.039	3.828	
80.0	4.726	4.914	4.808	4.746	4.769	4.656	3.570	
100.0	4.355	4.503	4.406	4.367	4.429	4.382	3.570	
122.0	3.976	4.109	4.042	4.062	4.187	4.382	3.261	
145.0	3.546	3.703	3.707	3.804	3.988	4.031	3.261	
166.0	3.296	3.449	3.492	3.804	3.988	4.031	3.023	
188.0	3.078	3.246	3.492	3.500	3.757	4.031	3.023	
209.0	2.855	3.046	3.160	3.500	3.757	3.687	2.785	
220.0	2.855	3.046	3.160	3.500	3.757	3.687	2.785	

КНИ	28	190	191	192	193	194	195	196
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	7.238	7.382	7.117	7.121	7.164	6.882	5.250	
16.0	6.375	6.519	6.285	6.308	6.320	6.089	4.628	
36.0	5.515	5.675	5.503	5.542	5.562	5.343	4.058	
58.0	4.991	5.109	4.960	4.972	4.976	4.808	3.660	
80.0	4.496	4.636	4.488	4.484	4.519	4.398	3.367	
100.0	4.105	4.222	4.082	4.097	4.164	4.097	3.160	
122.0	3.718	3.824	3.722	3.785	3.902	3.898	3.160	
145.0	3.316	3.441	3.398	3.507	3.691	3.898	2.867	
166.0	3.062	3.183	3.191	3.507	3.691	3.613	2.867	
188.0	2.847	3.183	3.191	3.210	3.453	3.613	2.867	
209.0	2.847	2.808	2.875	3.210	3.453	3.371	2.527	
220.0	2.847	2.808	2.875	3.210	3.453	3.371	2.527	

КНИ	Приложение Д							
	29	197	198	199	200	201	202	203
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	7.195	7.296	7.144	6.992	6.957	6.957	5.332	
16.0	6.304	6.406	6.273	6.140	6.144	6.113	4.660	
36.0	5.453	5.585	5.480	5.398	5.386	5.375	4.105	
58.0	4.886	5.011	4.925	4.828	4.820	4.832	3.699	
80.0	4.449	4.562	4.464	4.367	4.371	4.421	3.398	
100.0	4.078	4.171	4.070	3.996	4.042	4.132	3.191	
122.0	3.683	3.769	3.687	3.675	3.785	3.921	3.191	
145.0	3.277	3.394	3.378	3.410	3.574	3.921	2.910	
166.0	3.015	3.136	3.171	3.410	3.574	3.636	2.910	
188.0	3.015	3.136	3.171	3.136	3.355	3.636	2.910	
209.0	2.613	2.765	2.855	3.136	3.355	3.398	2.570	
220.0	2.613	2.765	2.855	3.136	3.355	3.398	2.570	

КНИ	Приложение Д							
	30	204	205	206	207	208	209	210
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	7.128	7.359	7.230	7.093	7.085	7.015	5.648	
16.0	6.218	6.445	6.316	6.218	6.218	6.410	4.937	
36.0	5.398	5.613	5.546	5.468	5.476	5.414	4.363	
58.0	4.851	5.070	5.007	4.914	4.929	4.871	3.933	
80.0	4.445	4.625	4.558	4.460	4.476	4.472	3.632	
100.0	4.046	4.210	4.132	4.062	4.117	4.167	3.414	
122.0	3.671	3.820	3.777	3.750	3.867	3.960	3.414	
145.0	3.277	3.425	3.445	3.492	3.656	3.960	3.109	
166.0	3.027	3.191	3.238	3.492	3.656	3.679	3.109	
188.0	2.820	2.976	3.238	3.191	3.421	3.679	3.109	
209.0	2.609	2.976	2.914	3.191	3.421	3.437	2.769	
220.0	2.609	2.976	2.914	3.191	3.421	3.437	2.769	

КНИ	Приложение Д							
	31	211	212	213	214	215	216	217
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	5.058	5.242	5.144	5.187	5.113	5.011	3.839	
16.0	4.457	4.621	4.550	4.601	4.527	4.437	3.406	
36.0	3.953	4.117	4.070	4.136	4.070	3.992	3.054	
58.0	3.605	3.769	3.730	3.781	3.726	3.652	2.808	
80.0	3.343	3.492	3.445	3.476	3.441	3.402	2.808	
100.0	3.093	3.230	3.187	3.218	3.222	3.402	2.496	
122.0	2.828	2.945	2.925	3.007	3.222	3.093	2.496	
145.0	2.554	2.687	2.710	3.007	2.906	3.093	2.496	
166.0	2.554	2.687	2.710	2.710	2.906	3.093	2.265	
188.0	2.222	2.378	2.441	2.710	2.906	2.851	2.265	
209.0	2.222	2.378	2.441	2.710	2.652	2.851	2.265	
220.0	2.222	2.378	2.441	2.710	2.652	2.851	2.265	

КНИ	Приложение Д							
	32	218	219	220	221	222	223	224
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	5.312	5.445	5.367	5.273	5.300	5.226	4.011	
16.0	4.628	4.757	4.707	4.632	4.675	4.593	3.527	
36.0	4.085	4.226	4.199	4.156	4.187	4.125	3.160	
58.0	3.734	3.871	3.851	3.792	3.824	3.761	2.902	
80.0	3.449	3.566	3.542	3.492	3.519	3.492	2.902	
100.0	3.175	3.289	3.257	3.214	3.289	3.492	2.566	

Приложение Д

122.0	2.886	2.996	2.988	3.003	3.289	3.160	2.566
145.0	2.605	2.714	2.757	3.003	2.972	3.160	2.363
166.0	2.402	2.714	2.757	2.691	2.972	3.160	2.363
188.0	2.402	2.394	2.496	2.691	2.972	2.902	2.363
209.0	2.125	2.394	2.496	2.691	2.699	2.902	2.082
220.0	2.125	2.394	2.496	2.691	2.699	2.902	2.082

КНИ 33	225	226	227	228	229	230	231
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.992	4.980	4.804	4.843	4.964	5.035	3.742
16.0	4.992	4.980	4.804	4.843	4.203	4.195	3.128
36.0	4.207	4.210	4.078	4.117	3.640	3.601	2.722
58.0	3.750	3.765	3.644	3.652	3.144	3.140	2.417
80.0	3.414	3.421	3.281	3.195	2.750	2.785	2.195
100.0	3.140	3.113	2.910	2.777	2.449	2.535	2.195
122.0	2.851	2.757	2.535	2.437	2.226	2.535	1.917
145.0	2.492	2.386	2.199	2.167	2.226	2.218	1.917
166.0	2.175	2.082	1.957	1.960	1.945	2.218	1.917
188.0	1.941	1.871	1.957	1.960	1.945	2.218	1.707
209.0	1.941	1.871	1.632	1.707	1.945	2.218	1.707
220.0	1.941	1.871	1.632	1.707	1.945	2.218	1.707

КНИ 34	232	233	234	235	236	237	238
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.937	4.921	4.734	4.839	4.894	4.964	3.937
16.0	4.214	4.214	4.074	4.156	4.179	4.218	3.335
36.0	3.808	3.820	3.679	3.718	3.691	3.695	2.937
58.0	3.808	3.820	3.679	3.718	3.691	3.695	2.937
80.0	3.519	3.519	3.351	3.320	3.250	3.277	2.636
100.0	3.253	3.218	3.007	2.933	2.878	2.949	2.402
122.0	2.960	2.878	2.652	2.597	2.597	2.714	2.402
145.0	2.605	2.515	2.332	2.328	2.382	2.714	2.125
166.0	2.292	2.226	2.093	2.125	2.382	2.406	2.125
188.0	2.066	2.003	2.093	2.125	2.101	2.406	2.125
209.0	2.066	2.003	1.769	1.863	2.101	2.406	1.906
220.0	2.066	2.003	1.769	1.863	2.101	2.406	1.906

КНИ 35	239	240	241	242	243	244	245
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.167	6.378	6.140	6.050	6.269	6.261	5.132
16.0	5.222	5.402	6.140	6.050	6.269	6.261	5.074
36.0	4.714	4.886	5.226	5.171	5.304	5.246	4.296
58.0	4.343	4.492	4.718	4.628	4.652	4.539	3.777
80.0	4.007	4.113	4.292	4.105	4.050	3.976	3.375
100.0	3.656	3.671	3.828	3.582	3.554	3.542	3.066
122.0	3.199	3.167	3.347	3.136	3.175	3.234	2.867
145.0	2.800	2.773	2.910	2.792	2.886	3.003	2.867
166.0	2.511	2.480	2.582	2.523	2.675	3.003	2.597
188.0	2.257	2.238	2.343	2.523	2.675	2.710	2.597
209.0	2.257	2.238	2.343	2.175	2.390	2.710	2.597
220.0	2.257	2.238	2.343	2.175	2.390	2.710	2.597

КНИ 36	246	247	248	249	250	251	252
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Приложение Д

сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.285	6.351	6.085	6.285	6.187	6.296	5.234
16.0	6.285	5.363	5.148	5.312	5.226	5.253	4.351
36.0	5.285	4.843	4.652	4.761	4.578	4.539	3.816
58.0	4.773	4.457	4.234	4.230	3.980	3.968	3.406
80.0	4.394	4.078	3.781	3.687	3.492	3.546	3.089
100.0	4.050	3.640	3.296	3.230	3.117	3.226	2.882
122.0	3.683	3.136	2.867	2.863	2.816	3.000	2.882
145.0	3.222	2.750	2.546	2.601	2.816	3.000	2.613
166.0	2.828	2.460	2.316	2.601	2.468	2.710	2.613
188.0	2.539	2.222	2.117	2.246	2.468	2.710	2.613
209.0	2.281	2.222	2.117	2.246	2.468	2.710	2.613
220.0	2.281	2.222	2.117	2.246	2.468	2.710	2.613

КНИ	37	253	254	255	256	257	258	259
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	6.351	6.484	6.199	6.195	6.300	6.335	5.089	
16.0	6.265	6.484	6.199	6.195	6.300	6.074	4.871	
36.0	5.267	5.371	5.164	5.156	5.242	5.203	4.187	
58.0	4.687	4.816	4.628	4.613	4.609	4.539	3.699	
80.0	4.285	4.390	4.191	4.097	4.050	4.023	3.332	
100.0	3.937	4.011	3.753	3.625	3.613	3.636	3.062	
122.0	3.589	3.597	3.332	3.242	3.273	3.359	3.062	
145.0	3.167	3.152	2.953	2.933	3.019	3.152	2.734	
166.0	2.824	2.820	2.671	2.707	3.019	3.152	2.734	
188.0	2.554	2.558	2.468	2.707	2.699	2.898	2.734	
209.0	2.347	2.355	2.468	2.390	2.699	2.898	2.464	
220.0	2.347	2.355	2.468	2.390	2.699	2.898	2.464	

КНИ	38	260	261	262	263	264	265	266
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	6.628	6.433	0.000	6.273	6.429	6.566	5.140	
16.0	6.402	6.199	0.000	5.988	6.125	6.210	5.140	
36.0	5.402	5.292	0.000	5.195	5.316	5.343	4.214	
58.0	4.855	4.761	0.000	4.652	4.679	4.667	3.734	
80.0	4.445	4.347	0.000	4.136	4.121	4.152	3.371	
100.0	4.089	3.972	0.000	3.664	3.683	3.769	3.101	
122.0	3.710	3.554	0.000	3.273	3.355	3.488	3.101	
145.0	3.277	3.117	0.000	2.968	3.097	3.281	2.777	
166.0	2.921	2.785	0.000	2.746	3.097	3.281	2.777	
188.0	2.664	2.539	0.000	2.746	2.789	3.019	2.777	
209.0	2.425	2.335	0.000	2.437	2.789	3.019	2.500	
220.0	2.425	2.335	0.000	2.437	2.789	3.019	2.500	

КНИ	39	267	268	269	270	271	272	273
сек	1	2	3	4	5	6	7	
0.0	4.851	4.964	4.890	4.898	4.996	4.972	4.132	
16.0	4.671	4.773	4.691	4.898	4.761	4.738	3.937	
36.0	4.003	4.117	4.070	4.082	4.156	4.125	3.421	
58.0	3.593	3.714	3.675	3.687	3.734	3.699	3.085	
80.0	3.304	3.406	3.359	3.347	3.382	3.367	2.828	
100.0	3.046	3.128	3.066	3.042	3.089	3.117	2.828	
122.0	2.789	2.847	2.789	2.792	2.875	3.117	2.511	

145.0	2.500	2.562	2.535	2.578	2.875	2.800	2.511
166.0	2.281	2.347	2.535	2.578	2.585	2.800	2.511
188.0	2.281	2.347	2.210	2.320	2.585	2.800	2.277
209.0	1.945	2.035	2.210	2.320	2.585	2.542	2.277
220.0	1.945	2.035	2.210	2.320	2.585	2.542	2.277

КНИ 40	274	275	276	277	278	279	280
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.792	4.878	4.917	4.929	4.984	4.945	4.175
16.0	4.597	4.675	4.683	4.679	4.984	4.945	4.175
36.0	3.921	4.019	4.058	4.074	4.125	4.082	3.441
58.0	3.523	3.621	3.667	3.675	3.703	3.656	3.089
80.0	3.523	3.320	3.351	3.339	3.347	3.320	2.824
100.0	2.976	3.050	3.050	3.027	3.062	3.066	2.824
122.0	2.726	2.773	2.777	2.777	2.843	3.066	2.500
145.0	2.449	2.496	2.527	2.570	2.843	2.750	2.500
166.0	2.222	2.281	2.527	2.570	2.550	2.750	2.500
188.0	2.222	2.281	2.199	2.304	2.550	2.750	2.265
209.0	1.910	1.976	2.199	2.304	2.550	2.496	2.265
220.0	1.910	1.976	2.199	2.304	2.550	2.496	2.265

КНИ 41	281	282	283	284	285	286	287
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.867	4.949	4.929	4.917	5.011	5.035	4.187
16.0	4.632	4.707	4.683	4.664	5.011	5.035	4.187
36.0	3.968	4.054	4.058	4.062	4.140	4.140	3.441
58.0	3.578	3.671	3.683	3.675	3.726	3.718	3.105
80.0	3.289	3.371	3.371	3.339	3.371	3.386	2.843
100.0	3.039	3.101	3.078	3.039	3.085	3.132	2.843
122.0	2.777	2.824	2.800	2.785	2.871	3.132	2.531
145.0	2.492	2.542	2.542	2.574	2.871	2.820	2.531
166.0	2.269	2.328	2.542	2.574	2.578	2.820	2.531
188.0	2.269	2.328	2.218	2.312	2.578	2.820	2.292
209.0	1.949	2.023	2.218	2.312	2.578	2.558	2.292
220.0	1.949	2.023	2.218	2.312	2.578	2.558	2.292

КНИ 42	288	289	290	291	292	293	294
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	5.824	5.886	5.640	5.644	5.886	5.625	4.261
16.0	5.503	5.566	5.339	5.347	5.542	5.324	4.261
36.0	4.738	4.820	4.652	4.675	4.855	4.656	3.523
58.0	4.308	4.398	4.253	4.269	4.437	4.250	3.218
80.0	3.968	4.050	3.906	3.921	4.074	3.921	2.984
100.0	3.691	3.757	3.613	3.617	3.785	3.679	2.984
122.0	3.394	3.449	3.312	3.363	3.566	3.679	2.707
145.0	3.066	3.128	3.046	3.140	3.566	3.371	2.707
166.0	2.828	2.910	3.046	3.140	3.273	3.371	2.707
188.0	2.828	2.910	2.714	2.878	3.273	3.371	2.503
209.0	2.464	2.574	2.714	2.878	3.273	3.121	2.503
220.0	2.464	2.574	2.714	2.878	3.273	3.121	2.503

КНИ 43	295	296	297	298	299	300	301
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

сек	Приложение Д						
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	5.656	5.812	5.671	5.699	5.636	5.468	4.234
16.0	5.328	5.472	5.339	5.347	5.300	5.140	4.234
36.0	4.582	4.742	4.660	4.691	4.656	4.519	3.500
58.0	4.164	4.324	4.250	4.285	4.238	4.117	3.195
80.0	3.851	3.984	3.917	3.933	3.898	3.792	2.960
100.0	3.570	3.703	3.609	3.632	3.621	3.570	2.960
122.0	3.269	3.390	3.324	3.378	3.410	3.570	2.691
145.0	2.960	3.082	3.062	3.164	3.410	3.273	2.691
166.0	2.726	2.863	3.062	3.164	3.140	3.273	2.691
188.0	2.726	2.863	2.734	2.898	3.140	3.273	2.488
209.0	2.390	2.531	2.734	2.898	3.140	3.031	2.488
220.0	2.390	2.531	2.734	2.898	3.140	3.031	2.488

КНИ 44							
сек	302	303	304	305	306	307	308
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	5.703	5.929	5.820	5.671	5.722	5.562	4.222
16.0	5.339	5.546	5.437	5.324	5.371	5.210	3.960
36.0	4.609	4.824	4.765	4.679	4.718	4.582	3.488
58.0	4.214	4.425	4.375	4.289	4.324	4.207	3.191
80.0	3.902	4.101	4.046	3.949	3.988	3.898	2.972
100.0	3.621	3.800	3.738	3.640	3.714	3.660	2.972
122.0	3.335	3.484	3.429	3.398	3.500	3.660	2.710
145.0	3.011	3.179	3.175	3.187	3.500	3.375	2.710
166.0	2.769	2.945	3.175	3.187	3.218	3.375	2.710
188.0	2.769	2.945	2.835	2.921	3.218	3.375	2.710
209.0	2.421	2.613	2.835	2.921	3.218	3.113	2.425
220.0	2.421	2.613	2.835	2.921	3.218	3.113	2.425

КНИ 45							
сек	309	310	311	312	313	314	315
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.921	5.000	4.882	4.910	4.964	5.070	4.007
16.0	4.593	4.656	4.550	4.582	4.628	4.710	3.718
36.0	3.964	4.046	3.964	3.992	3.996	3.996	3.171
58.0	3.589	3.667	3.585	3.562	3.484	3.464	2.789
80.0	3.296	3.351	3.238	3.121	3.027	3.046	2.496
100.0	3.023	3.042	2.851	2.714	2.656	2.722	2.273
122.0	2.722	2.671	2.480	2.394	2.378	2.492	2.273
145.0	2.371	2.316	2.175	2.140	2.175	2.492	2.011
166.0	2.093	2.042	1.953	2.140	2.175	2.195	2.011
188.0	1.886	1.839	1.953	1.816	1.921	2.195	2.001
209.0	1.687	1.839	1.640	1.816	1.921	2.195	1.789
220.0	1.687	1.839	1.640	1.816	1.921	2.195	1.789

КНИ 46							
сек	316	317	318	319	320	321	322
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.921	4.906	4.855	4.878	5.007	4.992	3.804
16.0	4.578	4.562	4.515	4.515	4.632	4.597	3.500
36.0	3.964	3.964	3.933	3.941	4.003	3.906	2.996
58.0	3.585	3.585	3.550	3.511	3.484	3.394	2.648
80.0	3.296	3.285	3.199	3.078	3.027	2.988	2.375
100.0	3.011	2.960	2.804	2.675	2.667	2.679	2.375
122.0	2.714	2.609	2.453	2.367	2.402	2.468	2.039

Приложение Д

145.0	2.343	2.238	2.140	2.117	2.203	2.468	2.039
166.0	2.070	1.984	1.929	2.117	2.203	2.187	2.039
188.0	1.863	1.785	1.929	1.804	1.953	2.187	1.792
209.0	1.863	1.785	1.621	1.804	1.953	2.187	1.792
220.0	1.863	1.785	1.621	1.804	1.953	2.187	1.792

КНИ 47	323	324	325	326	327	328	329
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.996	4.980	4.992	4.882	5.035	5.117	4.089
16.0	4.996	4.980	4.238	4.156	4.273	4.289	3.429
36.0	4.210	4.222	3.800	3.707	3.730	3.691	2.992
58.0	3.765	3.785	3.441	3.277	3.234	3.222	2.667
80.0	3.445	3.457	3.058	2.851	2.832	2.863	2.417
100.0	3.167	3.152	2.671	2.503	2.527	2.613	2.417
122.0	2.886	2.808	2.332	2.226	2.304	2.613	2.125
145.0	2.527	2.433	2.078	2.015	2.304	2.285	2.125
166.0	2.214	2.125	2.078	2.015	2.003	2.285	2.125
188.0	1.976	1.902	1.734	1.746	2.003	2.285	1.894
209.0	1.976	1.902	1.734	1.746	2.003	2.285	1.894
220.0	1.976	1.902	1.734	1.746	2.003	2.285	1.894

КНИ 48	330	331	332	333	334	335	336
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.847	4.937	4.773	4.859	5.019	5.027	3.972
16.0	4.847	4.937	4.773	4.859	5.019	5.027	3.972
36.0	4.082	4.164	4.046	4.113	4.230	4.183	3.296
58.0	3.632	3.722	3.609	3.652	3.683	3.593	2.875
80.0	3.320	3.394	3.265	3.226	3.183	3.128	2.546
100.0	3.050	3.089	2.906	2.800	2.781	2.773	2.304
122.0	2.769	2.753	2.535	2.464	2.480	2.523	2.304
145.0	2.425	2.375	2.203	2.175	2.250	2.523	2.015
166.0	2.117	2.078	1.953	1.976	2.250	2.199	2.015
188.0	1.898	1.859	1.953	1.976	1.957	2.199	2.015
209.0	1.898	1.859	1.632	1.710	1.957	2.199	1.789
220.0	1.898	1.859	1.632	1.710	1.957	2.199	1.789

КНИ 49	337	338	339	340	341	342	343
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.371	6.351	6.218	6.277	6.523	6.285	4.769
16.0	6.371	6.351	6.218	6.277	6.523	6.285	4.769
36.0	5.324	5.316	5.226	5.285	5.457	5.214	4.683
58.0	4.750	4.757	4.671	4.703	4.761	4.527	3.964
80.0	4.332	4.343	4.230	4.156	4.171	4.000	3.484
100.0	3.976	3.953	3.765	3.667	3.703	3.613	3.132
122.0	3.621	3.531	3.320	3.261	3.359	3.332	2.878
145.0	3.187	3.089	2.937	2.941	3.093	3.121	2.878
166.0	2.824	2.742	2.652	2.707	3.093	3.121	2.562
188.0	2.546	2.488	2.445	2.707	2.765	2.859	2.562
209.0	2.316	2.285	2.445	2.402	2.765	2.859	2.562
220.0	2.316	2.285	2.445	2.402	2.765	2.859	2.292

КНИ 50	344	345	346	347	348	349	350
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

сек	Приложение Д						
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.410	6.363	6.191	6.222	6.347	6.363	4.945
16.0	6.410	6.363	6.191	6.222	6.347	6.363	4.945
36.0	5.324	5.300	5.175	5.210	5.296	5.250	4.085
58.0	4.742	4.742	4.632	4.636	4.628	4.550	3.582
80.0	4.324	4.320	4.183	4.097	4.039	4.015	3.222
100.0	3.968	3.929	3.734	3.605	3.574	3.609	2.945
122.0	3.605	3.507	3.292	3.199	3.230	3.320	2.945
145.0	3.171	3.058	2.898	2.882	2.964	3.113	2.621
166.0	2.804	2.710	2.609	2.648	2.964	3.113	2.621
188.0	2.542	2.453	2.402	2.648	2.648	2.843	2.621
209.0	2.308	2.242	2.402	2.343	2.648	2.843	2.351
220.0	2.308	2.242	2.402	2.343	2.648	2.843	2.351

КНИ 51							
сек	351	352	353	354	355	356	357
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.457	6.437	6.316	6.261	6.531	6.433	4.945
16.0	6.457	6.296	6.316	6.261	6.531	6.433	4.945
36.0	5.351	5.351	5.265	5.210	5.421	5.261	4.058
58.0	4.781	4.800	4.726	4.656	4.753	4.593	3.582
80.0	4.375	4.382	4.281	4.117	4.167	4.062	3.226
100.0	4.019	3.988	3.808	3.628	3.703	3.671	2.964
122.0	3.652	3.566	3.371	3.238	3.367	3.390	2.964
145.0	3.207	3.109	2.976	2.921	3.101	3.183	2.648
166.0	2.847	2.769	2.695	2.687	3.101	3.183	2.648
188.0	2.570	2.515	2.484	2.687	2.769	2.914	2.648
209.0	2.347	2.515	2.484	2.378	2.769	2.914	2.367
220.0	2.347	2.515	2.484	2.378	2.769	2.914	2.367

КНИ 52							
сек	358	359	360	361	362	363	364
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.382	6.503	6.218	6.250	6.339	6.539	4.902
16.0	6.187	6.230	5.953	5.957	6.023	6.167	4.648
36.0	5.183	5.281	5.074	5.109	5.160	5.226	3.945
58.0	4.566	4.671	4.496	4.496	4.460	4.492	3.439
80.0	4.125	4.218	4.019	3.937	3.863	3.925	3.046
100.0	3.761	3.816	3.562	3.433	3.402	3.503	2.765
122.0	3.382	3.378	3.109	3.031	3.062	3.218	2.765
145.0	2.972	2.933	2.730	2.722	2.792	2.996	2.425
166.0	2.613	2.593	2.449	2.488	2.792	2.996	2.425
188.0	2.363	2.355	2.449	2.488	2.472	2.714	2.425
209.0	2.132	2.144	2.078	2.187	2.472	2.714	2.144
220.0	2.132	2.114	2.078	2.187	2.472	2.714	2.144

КНИ 53							
сек	365	366	367	368	369	370	371
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.402	6.425	6.242	6.273	6.425	6.359	4.984
16.0	6.117	6.105	5.941	5.945	6.070	6.000	4.984
36.0	5.175	5.207	5.089	5.093	5.195	5.074	3.980
58.0	4.589	4.628	4.515	4.503	4.500	4.375	3.476
80.0	4.144	4.175	4.042	3.945	3.902	3.828	3.109
100.0	3.781	3.789	3.570	3.449	3.445	3.429	2.824

122.0	3.402	3.339	3.121	3.046	3.097	3.144	2.824
145.0	2.976	2.910	2.750	2.726	2.835	2.933	2.488
166.0	2.628	2.574	2.472	2.507	2.835	2.933	2.488
188.0	2.371	2.328	2.265	2.507	2.519	2.667	2.488
209.0	2.140	2.128	2.265	2.207	2.519	2.667	2.199
220.0	2.140	2.128	2.265	2.207	2.519	2.667	2.199

КНИ 54	372	373	374	375	376	377	378
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.433	6.363	6.261	6.230	6.476	6.292	4.816
16.0	6.117	6.031	5.929	5.886	6.097	5.933	4.531
36.0	5.160	5.128	5.070	5.046	5.203	4.996	3.835
58.0	4.582	4.562	4.507	4.460	4.511	4.320	3.363
80.0	4.156	4.125	4.042	3.906	3.925	3.796	3.000
100.0	3.773	3.718	3.558	3.402	3.464	3.394	2.738
122.0	3.398	3.289	3.121	3.011	3.125	3.113	2.738
145.0	2.968	2.859	2.750	2.710	2.863	2.902	2.410
166.0	2.625	2.531	2.472	2.480	2.863	2.902	2.410
188.0	2.367	2.285	2.265	2.480	2.539	2.640	2.410
209.0	2.140	2.082	2.265	2.183	2.539	2.640	2.132
220.0	2.140	2.082	2.265	2.183	2.539	2.640	2.132

КНИ 55	379	380	381	382	383	384	385
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.164	4.230	4.257	4.203	4.222	4.160	3.042
16.0	3.964	4.050	4.042	4.203	4.222	4.160	3.042
36.0	3.417	3.515	3.539	3.511	3.527	3.476	2.539
58.0	3.109	3.199	3.234	3.207	3.222	3.183	2.332
80.0	2.886	2.972	3.003	2.964	2.980	2.957	2.332
100.0	2.683	2.746	2.769	2.742	2.773	2.957	2.050
122.0	2.480	2.539	2.562	2.742	2.773	2.656	2.050
145.0	2.250	2.320	2.562	2.394	2.500	2.656	2.050
166.0	2.250	2.320	2.230	2.394	2.500	2.656	1.851
188.0	1.929	2.015	2.230	2.394	2.500	2.445	1.851
209.0	1.929	2.015	2.023	2.132	2.277	2.445	1.851
220.0	1.929	2.015	2.023	2.132	2.277	2.445	1.851

КНИ 56	386	387	388	389	390	391	392
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	4.105	4.273	4.144	4.089	4.082	3.945	2.917
16.0	3.867	4.023	3.906	3.851	4.082	3.945	2.917
36.0	3.328	3.464	3.390	3.355	3.367	3.246	2.394
58.0	3.007	3.148	3.078	3.050	3.054	2.953	2.179
80.0	2.765	2.898	2.828	2.804	2.800	2.718	2.015
100.0	2.562	2.683	2.613	2.578	2.597	2.718	2.015
122.0	2.359	2.468	2.406	2.578	2.597	2.433	2.015
145.0	2.140	2.242	2.406	2.246	2.332	2.433	1.757
166.0	2.140	2.242	2.070	2.246	2.332	2.433	1.757
188.0	1.843	1.957	2.070	2.246	2.332	2.222	1.757
209.0	1.843	1.957	2.070	1.976	2.113	2.222	1.757
220.0	1.843	1.957	2.070	1.976	2.113	2.222	1.757

КНИ 57	393	394	395	396	397	398	399
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

сек	Приложение Д						
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	7.179	7.218	7.257	7.207	7.250	7.152	5.312
16.0	6.753	6.808	6.785	6.757	6.781	6.671	4.972
36.0	5.781	5.871	5.898	5.898	5.941	5.843	4.359
58.0	5.250	5.335	5.390	5.378	5.398	5.316	3.968
80.0	4.832	4.914	4.941	4.910	4.941	4.898	3.671
100.0	4.460	4.523	4.527	4.507	4.570	4.593	3.460
122.0	4.074	4.132	4.156	4.175	4.304	4.375	3.460
145.0	3.679	3.746	3.820	3.898	4.085	4.375	3.195
166.0	3.378	3.453	3.562	3.898	4.085	4.085	3.195
188.0	3.136	3.230	3.562	3.566	3.839	4.085	3.195
209.0	2.937	3.230	3.222	3.566	3.839	3.855	2.863
220.0	2.937	3.230	3.222	3.566	3.839	3.855	2.863

сек	КНИ 58 400 401						
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	7.117	7.250	7.109	6.996	6.984	6.828	5.199
16.0	6.648	6.753	6.625	6.535	6.527	6.378	4.851
36.0	5.710	5.855	5.765	5.714	5.714	5.582	4.238
58.0	5.164	5.304	5.250	5.187	5.171	5.066	3.859
80.0	4.742	4.882	4.812	4.738	4.730	4.660	3.558
100.0	4.390	4.496	4.421	4.347	4.371	4.351	3.351
122.0	4.011	4.105	4.042	4.023	4.109	4.148	3.351
145.0	3.632	3.734	3.718	3.753	3.906	4.148	3.078
166.0	3.328	3.457	3.488	3.753	3.906	3.875	3.078
188.0	3.085	3.222	3.488	3.429	3.664	3.875	3.078
209.0	2.878	3.222	3.140	3.429	3.664	3.660	2.773
220.0	2.878	3.222	3.140	3.429	3.664	3.660	2.773

сек	КНИ 59 407 408 409						
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	7.347	7.390	7.273	7.152	7.175	7.093	5.707
16.0	6.808	6.878	6.757	6.648	6.675	6.601	5.304
36.0	5.867	5.941	5.886	5.824	5.851	5.777	4.652
58.0	5.316	5.414	5.363	5.300	5.320	5.250	4.250
80.0	4.906	4.988	4.929	4.859	4.875	4.851	3.941
100.0	4.527	4.601	4.519	4.449	4.519	4.523	3.703
122.0	4.148	4.203	4.140	4.125	4.242	4.316	3.703
145.0	3.750	3.828	3.816	3.863	4.242	4.316	3.425
166.0	3.449	3.527	3.566	3.863	3.890	4.027	3.425
188.0	3.207	3.308	3.566	3.527	3.890	4.027	3.425
209.0	2.980	3.105	3.207	3.527	3.648	3.804	3.085
220.0	2.980	3.105	3.207	3.527	3.648	3.804	3.085

сек	КНИ 60 414 415 416 417 418 419 420						
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	7.125	7.347	7.031	6.945	6.976	6.859	5.574
16.0	6.554	6.746	6.445	6.375	6.398	6.292	5.101
36.0	5.550	5.750	5.542	5.500	5.527	5.433	4.410
58.0	4.937	5.136	4.964	4.921	4.941	4.867	3.949
80.0	4.500	4.679	4.511	4.449	4.476	4.421	3.617
100.0	4.097	4.261	4.093	4.042	4.097	4.101	3.382

Приложение Д

122.0	3.734	3.878	3.726	3.718	3.816	3.863	3.382
145.0	3.343	3.488	3.398	3.449	3.609	3.863	3.070
166.0	3.062	3.226	3.171	3.449	3.609	3.574	3.070
188.0	2.843	3.000	3.171	3.117	3.343	3.574	3.070
209.0	2.636	3.000	2.832	3.117	3.343	3.351	2.734
220.0	2.636	3.000	2.832	3.117	3.343	3.351	2.734

КНИ 61	421	422	423	424	425	426	427
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	6.925	7.140	6.972	6.914	6.953	6.824	5.347
16.0	6.390	6.550	6.390	6.343	6.355	6.234	4.847
36.0	5.636	5.781	5.660	5.613	5.613	5.476	4.242
58.0	4.960	5.132	5.031	4.988	4.984	4.882	3.804
80.0	4.507	4.675	4.574	4.519	4.531	4.468	3.500
100.0	3.902	4.070	3.992	3.988	4.066	4.085	3.246
122.0	3.902	4.070	3.992	3.988	4.066	4.085	3.246
145.0	3.191	3.359	3.351	3.433	3.613	3.718	2.960
166.0	3.191	3.359	3.351	3.433	3.613	3.718	2.960
188.0	2.613	2.816	2.902	3.078	3.335	3.496	2.960
209.0	2.613	2.816	2.902	3.078	3.335	3.496	2.628
220.0	2.613	2.816	2.902	3.078	3.335	3.496	2.628

КНИ 62	428	429	430	431	432	433	434
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	7.167	7.390	7.171	7.046	7.210	7.246	5.226
16.0	6.503	6.683	6.500	6.378	6.515	6.503	4.718
36.0	5.554	5.753	5.628	5.539	5.667	5.660	4.101
58.0	4.960	5.164	5.050	4.980	5.085	5.105	3.703
80.0	4.535	4.726	4.605	4.523	4.621	4.687	3.414
100.0	4.140	4.296	4.183	4.105	4.250	4.363	3.199
122.0	3.769	3.906	3.828	3.800	3.996	4.160	3.199
145.0	3.386	3.542	3.519	3.550	3.792	4.160	2.921
166.0	3.109	3.273	3.281	3.550	3.792	3.859	2.921
188.0	2.890	3.062	3.281	3.226	3.531	3.859	2.921
209.0	2.675	3.062	2.949	3.226	3.531	3.613	2.582
220.0	2.675	3.062	2.949	3.226	3.531	3.613	2.582

КНИ 63	435	436	437	438	439	440	441
сек	1	2	3	4	5	6	7
0.0	5.769	5.277	5.195	5.347	5.187	5.019	3.875
16.0	5.035	4.773	4.699	4.785	4.695	4.554	3.500
36.0	4.390	4.144	4.117	4.226	4.140	4.007	3.085
58.0	3.996	3.769	3.746	3.835	3.753	3.640	2.804
80.0	3.683	3.460	3.429	3.515	3.449	3.359	2.597
100.0	3.390	3.179	3.144	3.230	3.199	3.148	2.597
122.0	3.082	2.902	2.894	3.003	3.199	3.148	2.355
145.0	2.792	2.644	2.675	3.003	2.871	2.898	2.355
166.0	2.578	2.644	2.675	2.695	2.871	2.898	2.355
188.0	2.578	2.312	2.382	2.695	2.871	2.898	2.152
209.0	2.253	2.312	2.382	2.496	2.605	2.652	2.152
220.0	2.253	2.312	2.382	2.496	2.605	2.652	2.152

КНИ 64	442	443	444	445	446	447	448
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

сек	Приложение Д						
	1	2	3	4	5	6	7
0.0	5.433	5.531	5.437	5.375	5.429	5.429	4.074
16.0	4.878	4.968	4.894	4.832	4.882	4.898	3.656
36.0	4.218	4.324	4.285	4.261	4.308	4.339	3.226
58.0	3.820	3.925	3.898	3.867	3.898	3.941	2.937
80.0	3.519	3.621	3.582	3.542	3.574	3.656	2.726
100.0	3.242	3.320	3.277	3.261	3.328	3.425	2.726
122.0	2.945	3.031	3.011	3.023	3.328	3.425	2.476
145.0	2.667	2.757	2.781	3.023	2.988	3.152	2.476
166.0	2.464	2.757	2.781	2.710	2.988	3.152	2.476
188.0	2.464	2.421	2.500	2.710	2.988	3.152	2.226
209.0	2.148	2.421	2.500	2.511	2.707	2.878	2.226
220.0	2.148	2.421	2.500	2.511	2.707	2.878	2.226

Таблица распределения КНИ по ТВС в активной зоне в 360 градусов.

Номер КНИ 0 - отсутствие КНИ

ТВС	КНИ	ТВС	КНИ	ТВС	КНИ	ТВС	КНИ
1	55	41	0	81	2	121	0
2	0	42	0	82	0	122	45
3	32	43	15	83	1	123	0
4	64	44	0	84	35	124	20
5	0	45	19	85	0	125	0
6	24	46	0	86	0	126	0
7	0	47	0	87	39	127	0
8	12	48	0	88	10	128	0
9	0	49	0	89	0	129	58
10	59	50	26	90	0	130	0
11	0	51	0	91	0	131	5
12	30	52	0	92	21	132	52
13	0	53	0	93	14	133	0
14	44	54	4	94	0	134	17
15	0	55	0	95	0	135	37
16	0	56	0	96	33	136	0
17	0	57	47	97	0	137	28
18	41	58	0	98	13	138	0
19	0	59	0	99	49	139	0
20	0	60	62	100	0	140	0
21	0	61	0	101	0	141	40
22	0	62	0	102	0	142	0
23	9	63	0	103	0	143	0
24	0	64	0	104	29	144	0
25	0	65	18	105	0	145	0
26	0	66	46	106	0	146	7
27	61	67	0	107	0	147	0
28	0	68	0	108	36	148	0

29	38	69	34	109	0	149	0
30	51	70	0	110	0	150	11
31	0	71	16	111	48	151	0
32	22	72	54	112	0	152	60
33	6	73	0	113	0	153	0
34	0	74	0	114	57	154	25
35	27	75	0	115	0	155	0
36	0	76	43	116	0	156	42
37	0	77	8	117	0	157	0
38	0	78	0	118	0	158	56
39	0	79	0	119	50	159	63
40	53	80	3	120	0	160	0
						161	0
						162	31
						163	23

ПОДОГРЕВЫ НА ТВС по термопарам СКР

номер ТВС 2	5	9	11	13	16	17	19	20
сек								
0.0	26.50	28.00	26.6	26.00	23.70	27.50	25.50	22.30
16.0	18.00	20.10	18.00	17.00	15.20	20.60	17.10	15.30
36.0	15.80	16.70	16.30	14.70	14.20	16.70	15.10	13.10
58.0	15.10	15.70	15.50	13.70	13.50	15.60	14.30	12.00
80.0	15.10	14.60	13.70	12.10	13.50	15.60	13.60	12.00
100.0	15.10	14.60	13.70	12.10	13.50	14.30	13.60	10.20
122.0	13.70	14.00	13.70	12.10	11.80	13.70	12.60	10.20
145.0	12.80	13.20	12.80	11.30	11.20	13.00	11.70	9.50
166.0	11.80	12.10	11.70	10.60	10.20	12.10	11.00	8.60
209.0	11.80	12.10	11.70	10.60	10.20	12.10	11.00	8.60
220.0	11.80	12.10	11.70	10.60	10.20	12.10	11.00	8.60
	21	22	24	25	28	29	31	34
0.0	21.70	21.80	24.50	27.60	20.30	26.50	25.80	20.10
16.0	14.00	14.20	16.50	27.60	20.30	26.50	17.50	11.80
36.0	8.70	12.60	15.60	18.00	13.10	18.10	14.20	11.80
58.0	7.00	11.00	14.60	16.60	11.60	15.30	12.60	10.50
80.0	7.00	11.00	14.60	16.00	10.30	13.80	11.80	10.50
100.0	7.00	9.50	13.10	16.00	10.30	13.20	10.80	10.50
122.0	7.00	9.50	13.10	15.20	9.10	13.20	9.70	9.00
145.0	7.00	8.80	12.20	14.30	9.10	11.30	9.00	9.00
166.0	7.00	8.80	12.20	13.70	7.80	10.30	8.00	9.00
209.0	7.00	8.80	12.20	12.70	7.80	9.20	8.00	9.00
220.0	7.00	8.80	12.20	12.70	7.80	9.20	8.00	9.00
	38	39	41	42	44	47	48	51
0.0	28.30	20.70	21.10	20.50	20.70	27.70	28.10	21.10
16.0	20.50	16.10	16.00	14.80	12.80	16.70	18.10	15.30
36.0	16.50	9.60	13.30	13.00	12.00	15.00	16.00	12.50
58.0	15.70	7.20	10.80	11.00	10.10	14.00	15.30	11.00
80.0	15.10	7.20	9.60	9.80	9.10	14.00	15.30	10.30
100.0	14.30	6.10	8.20	9.00	7.80	14.00	15.30	9.30
								52
								24.60
								18.30
								14.20
								12.50
								11.70
								10.60

Приложение Д

122.0	13.30	6.10	7.00	8.20	6.60	12.60	13.70	9.30	9.80
145.0	13.30	6.10	5.70	7.10	5.50	12.00	13.00	8.00	8.80
166.0	11.60	6.10	5.70	7.10	4.50	11.00	11.80	8.00	8.80
209.0	11.60	6.10	5.70	7.10	4.50	11.00	11.80	8.00	8.80
220.0	11.60	6.10	5.70	7.10	4.50	11.00	11.80	8.00	8.80
	53	55	56	58	59	60	62	63	64
0.0	22.20	25.70	24.30	25.10	22.30	34.00	23.20	23.00	22.30
16.0	17.00	18.80	16.10	15.60	12.70	22.20	18.50	17.10	16.10
36.0	13.70	16.60	14.30	13.10	8.20	18.80	15.30	14.60	13.80
58.0	11.70	14.50	12.60	11.60	6.50	18.10	14.50	14.00	13.10
80.0	10.70	13.20	11.70	11.60	6.50	18.10	13.80	14.00	12.20
100.0	9.60	12.10	10.60	10.20	6.50	16.70	13.00	12.60	11.30
122.0	8.60	11.00	9.30	9.30	6.50	15.80	13.00	12.60	10.50
145.0	7.60	9.70	8.20	8.30	6.50	14.80	11.80	11.20	10.50
166.0	7.60	8.60	7.30	8.30	6.50	13.50	11.80	11.20	9.00
209.0	7.60	8.60	7.30	8.30	6.50	13.50	11.80	11.20	9.00
220.0	7.60	8.60	7.30	8.30	6.50	13.50	11.80	11.20	9.00
	67	68	70	71	73	74	75	78	79
0.0	26.10	19.60	23.70	22.20	21.80	23.20	23.60	25.60	20.50
16.0	21.10	14.10	15.80	13.60	13.60	14.00	14.60	20.10	16.00
36.0	17.50	12.60	14.60	12.50	12.20	12.80	13.30	15.30	13.30
58.0	15.20	10.80	12.80	10.80	10.80	12.80	13.30	14.00	11.30
80.0	14.00	10.00	12.00	10.20	10.80	12.80	13.30	13.10	9.80
100.0	12.30	9.10	11.00	9.30	10.80	12.80	13.30	12.00	8.30
122.0	11.30	8.10	9.60	8.50	10.80	11.20	13.30	11.10	6.80
145.0	10.10	7.20	8.60	7.60	8.70	11.20	11.30	10.10	5.60
166.0	9.50	7.20	9.30	7.60	7.80	9.80	10.50	9.10	5.60
209.0	9.50	7.20	8.50	7.60	7.80	9.80	10.50	9.10	5.60
220.0	9.50	6.30	7.70	7.60	7.80	9.80	10.50	9.10	5.60
	80	82	85	86	87	89	90	91	94
0.0	26.10	23.70	22.10	27.20	21.70	24.00	25.00	22.80	27.60
16.0	20.80	19.50	14.00	17.00	13.00	19.20	20.00	18.50	22.80
36.0	16.60	16.50	12.60	14.70	12.10	15.10	16.00	14.20	17.60
58.0	15.10	14.30	10.30	14.00	11.20	14.50	15.20	12.80	16.00
80.0	13.80	13.20	9.50	13.30	11.20	13.80	14.50	12.00	14.70
100.0	12.30	11.80	8.10	12.60	10.60	13.00	13.50	11.10	13.10
122.0	11.10	10.70	6.70	11.60	10.60	13.00	13.50	10.50	12.00
145.0	9.80	9.60	5.60	10.70	9.50	13.20	12.10	9.70	10.50
166.0	9.20	9.60	5.60	10.70	9.50	11.60	12.10	8.70	9.30
209.0	9.20	9.60	5.60	9.60	8.50	11.60	11.10	8.70	9.30
220.0	9.20	9.60	5.60	10.70	9.50	11.60	12.10	8.70	9.30
	95	97	98	100	101	102	105	106	107
0.0	19.30	26.00	22.10	21.70	23.60	23.20	23.00	24.50	22.10
16.0	14.00	17.30	13.10	13.60	15.00	14.50	18.10	20.10	18.30
36.0	12.70	15.70	12.10	12.70	14.30	13.70	9.10	14.10	14.20
58.0	11.10	14.00	10.80	12.00	13.60	13.70	7.50	12.60	12.20
80.0	10.20	13.20	10.20	12.00	13.60	13.70	6.80	11.50	11.00
100.0	9.20	12.10	9.30	12.00	12.80	13.70	6.20	10.60	9.80
122.0	8.50	10.70	8.20	10.30	12.80	12.20	6.20	9.70	8.80
145.0	7.50	9.60	7.50	10.30	11.60	11.50	6.20	9.00	8.00
166.0	6.50	8.60	6.70	9.00	10.60	10.10	6.20	9.00	7.30
209.0	6.50	8.60	6.70	9.00	10.60	10.10	6.20	7.70	7.30
220.0	6.50	8.60	6.70	9.00	10.60	10.10	6.20	7.70	7.30

Приложение Д									
	109	110	112	113	114	116	117	118	120
0.0	25.00	25.30	27.10	20.00	35.20	27.80	27.80	20.00	21.20
16.0	21.70	16.70	17.00	11.30	24.60	24.00	23.70	16.50	17.50
36.0	18.10	14.60	14.00	10.60	21.00	17.80	17.10	13.10	14.00
58.0	15.60	13.60	13.00	9.80	21.00	16.70	15.80	11.10	11.50
80.0	14.00	12.50	12.20	9.80	21.00	16.00	15.00	10.20	10.10
100.0	12.80	11.50	11.30	9.80	19.00	15.00	14.00	9.30	8.70
122.0	11.30	10.20	10.30	8.50	18.00	15.00	13.30	8.70	7.50
145.0	10.20	8.80	9.50	8.50	16.80	13.60	12.70	8.10	6.20
166.0	9.50	8.80	9.50	8.50	16.80	12.80	12.10	7.50	5.50
209.0	9.50	8.80	8.50	8.50	15.30	12.30	11.50	7.50	5.50
220.0	9.50	8.80	8.50	8.50	15.30	12.30	11.50	7.50	5.50
	121	123	124	125	126	127	130	133	136
0.0	19.80	21.20	27.50	22.00	24.70	27.10	20.80	27.00	22.70
16.0	16.00	12.60	15.80	10.80	14.30	17.10	17.20	23.30	13.80
36.0	12.80	11.10	13.60	7.30	13.00	15.60	14.00	16.60	12.20
58.0	10.50	10.00	13.00	6.70	13.00	15.60	12.30	14.00	11.30
80.0	9.50	8.80	12.20	6.70	13.00	15.60	11.50	12.80	11.30
100.0	8.70	7.60	11.20	6.70	13.00	14.20	10.70	12.00	10.30
122.0	7.70	6.10	10.10	6.70	11.00	14.20	10.70	11.00	9.70
145.0	7.00	5.10	9.20	6.70	11.00	12.70	9.30	10.00	9.00
166.0	5.80	5.10	9.20	6.70	9.60	11.70	8.50	10.00	9.00
209.0	5.80	5.10	9.20	6.70	9.60	11.70	8.50	10.00	9.00
220.0	5.80	5.10	9.20	6.70	9.60	11.70	8.50	10.00	9.00
	139	140	142	143	144	145	147	148	151
0.0	25.30	24.00	22.20	22.50	21.60	20.00	22.60	26.30	24.00
16.0	21.60	20.70	19.10	18.80	13.00	12.20	14.00	16.00	20.80
36.0	16.70	16.70	14.70	10.20	11.60	11.20	12.10	14.20	16.30
58.0	15.70	15.10	12.50	7.60	10.80	11.20	12.10	14.20	14.70
80.0	15.70	14.30	11.50	6.70	10.80	11.20	11.60	13.30	13.70
100.0	14.20	13.50	10.60	6.70	10.10	9.50	11.00	12.70	12.70
122.0	14.20	12.80	10.00	6.70	9.30	8.60	10.20	12.00	12.70
145.0	13.00	12.10	9.30	6.70	8.60	8.60	9.60	11.30	11.60
166.0	13.00	12.10	9.30	5.10	8.60	8.60	9.60	11.30	11.00
209.0	13.00	12.10	9.30	5.10	8.60	8.60	9.60	11.30	11.00
220.0	13.00	12.10	9.30	5.10	8.60	8.60	9.60	11.30	11.00
	153	155	160	161					
0.0	29.20	24.10	25.80	27.60					
16.0	17.50	15.50	22.50	17.50					
36.0	15.20	13.80	17.70	15.30					
58.0	15.20	13.80	16.10	15.30					
80.0	15.20	13.80	15.10	15.30					
100.0	14.20	13.00	14.20	15.30					
122.0	13.60	12.30	13.60	13.80					
145.0	12.70	11.30	13.00	13.00					
166.0	12.70	11.30	12.20	13.00					
209.0	11.30	10.70	12.20	12.00					
220.0	11.30	10.70	12.20	12.00					

Anhang 3

**Abbildungen
zur Validierung des Programmkomplexes ATHLET-DYN3D**

Abschaltung einer von vier Hauptkühlmittelpumpen

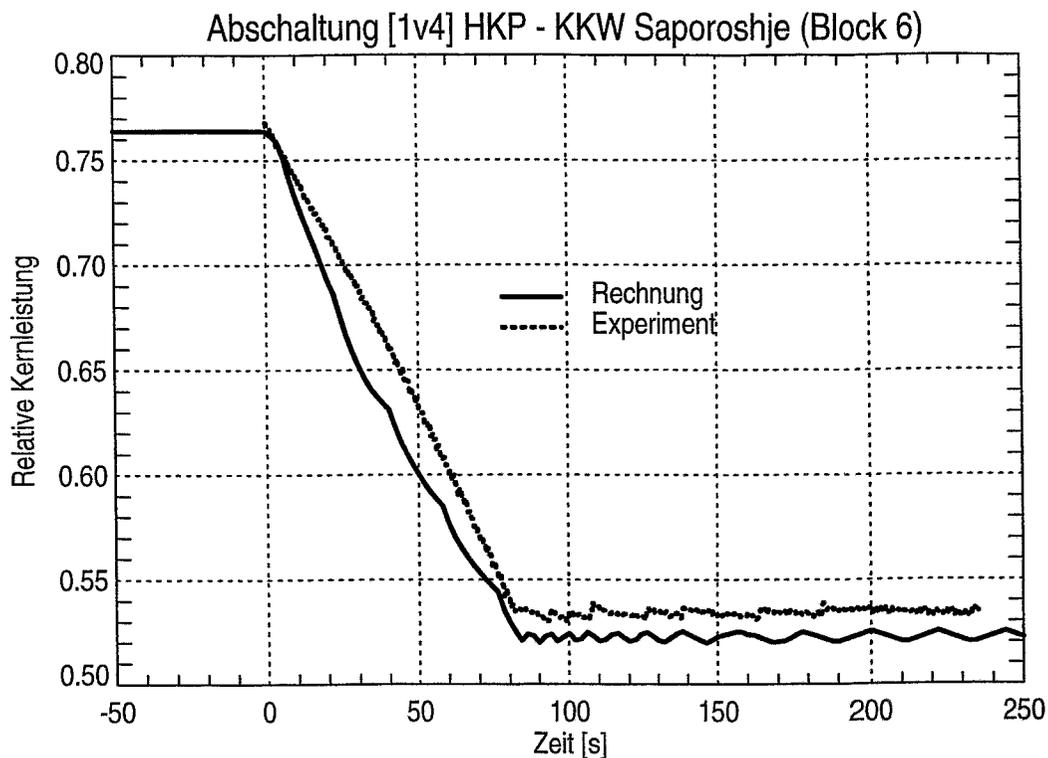


Abb. A3.1: Leistungsänderung infolge der Abschaltung [1v4] HKP

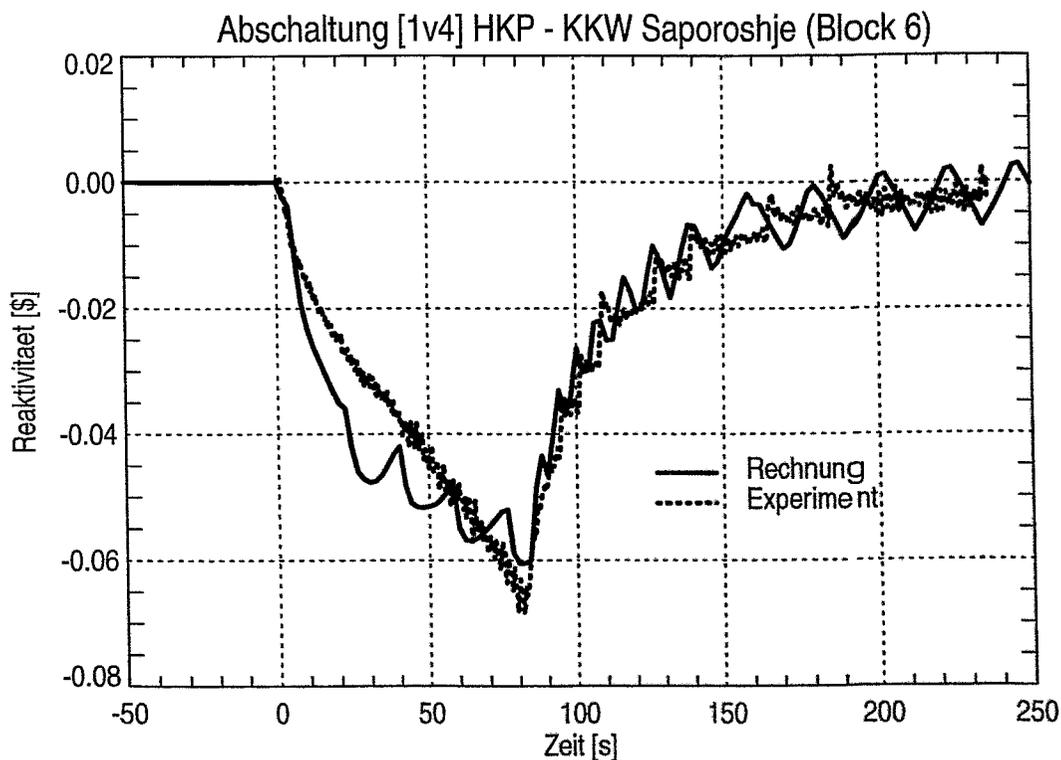


Abb. A3.2: Reaktivitätsänderung während der Abschalttransiente

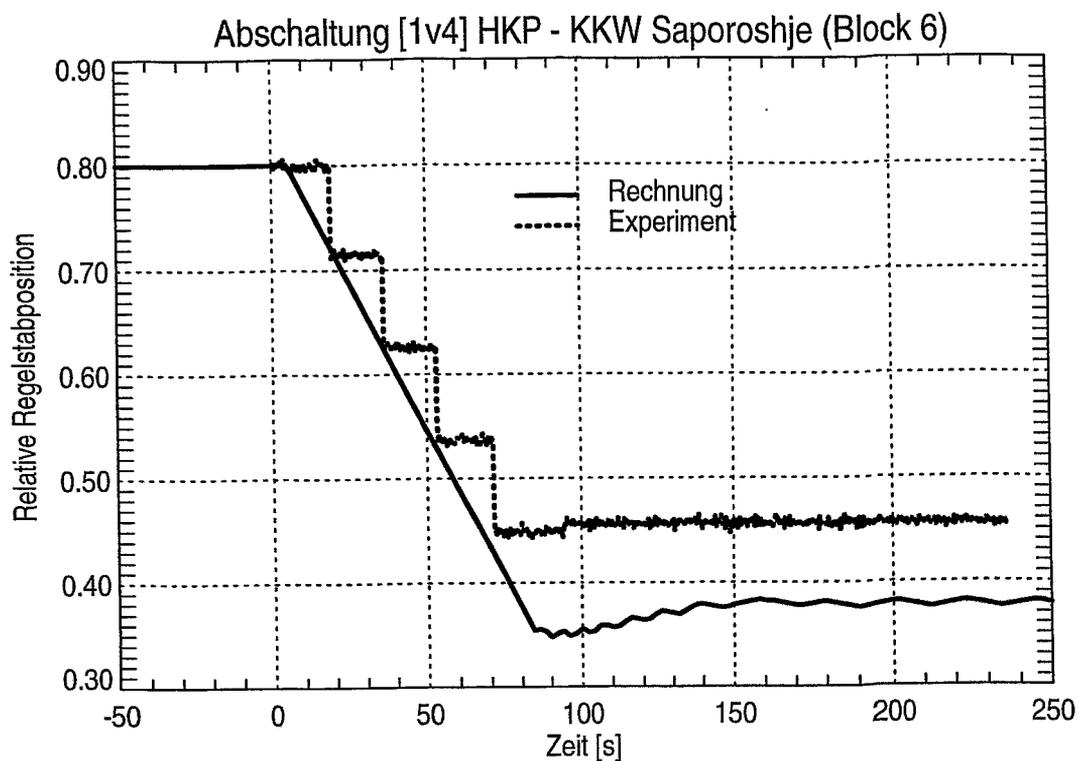


Abb. A3.3: Regelstabposition während der Abschalttransiente

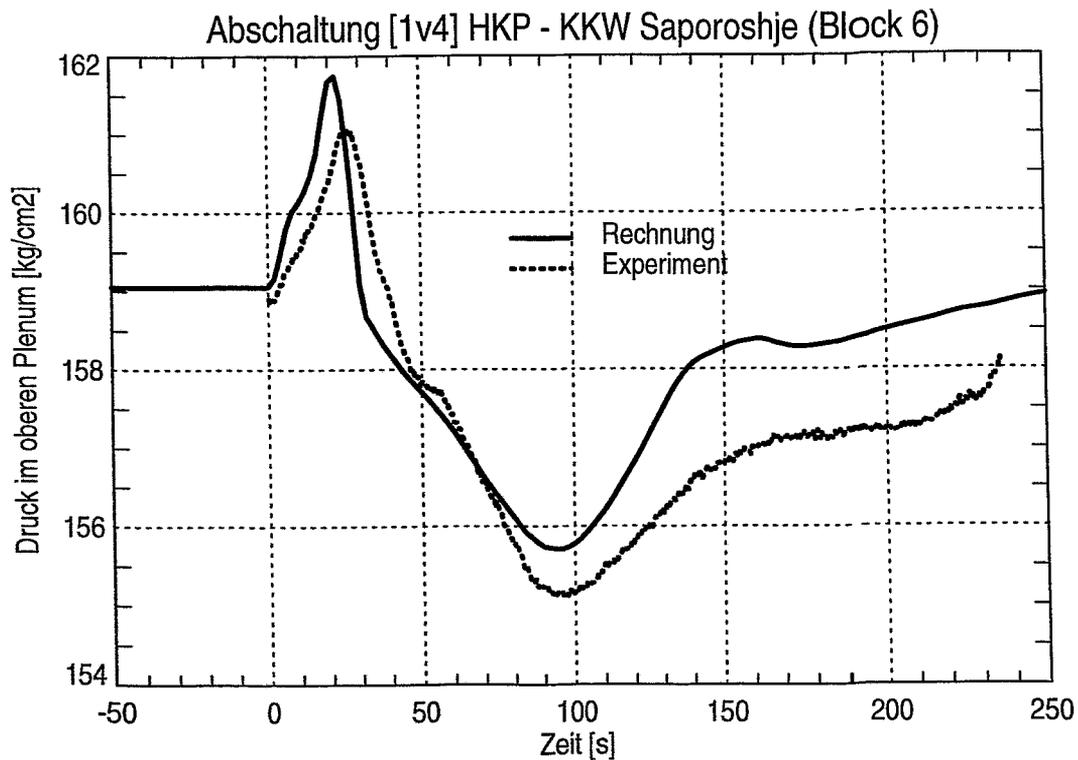


Abb. A3.4: Druckänderung im oberen Plenum während der Abschalttransiente

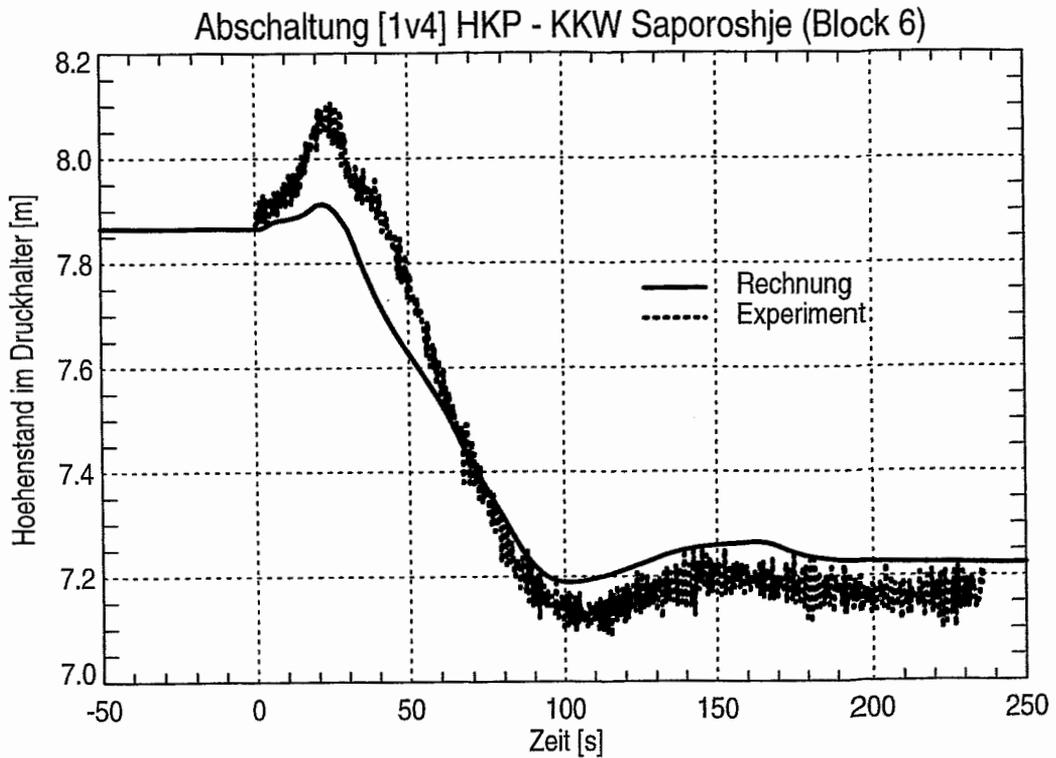


Abb. A3.5: Änderung des Höhenstandes im Druckhalter während der Abschalttransiente

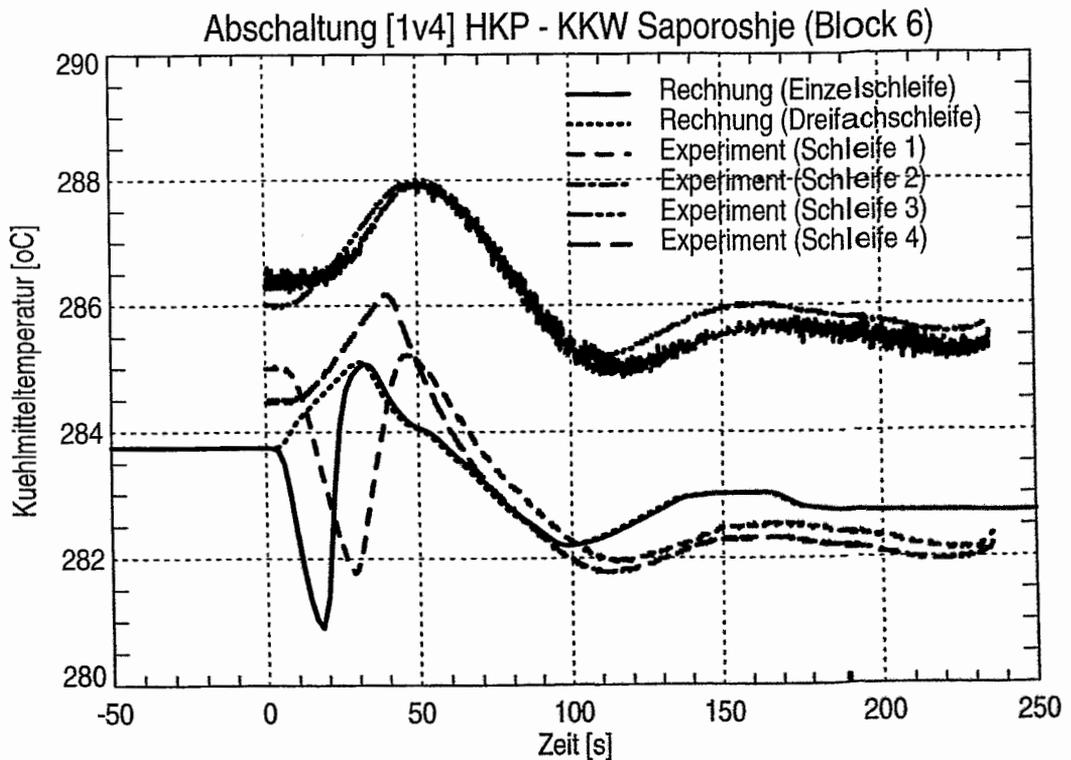


Abb. A3.6: Änderung der Kühlmitteltemperatur im kalten Strang während der Abschalttransiente

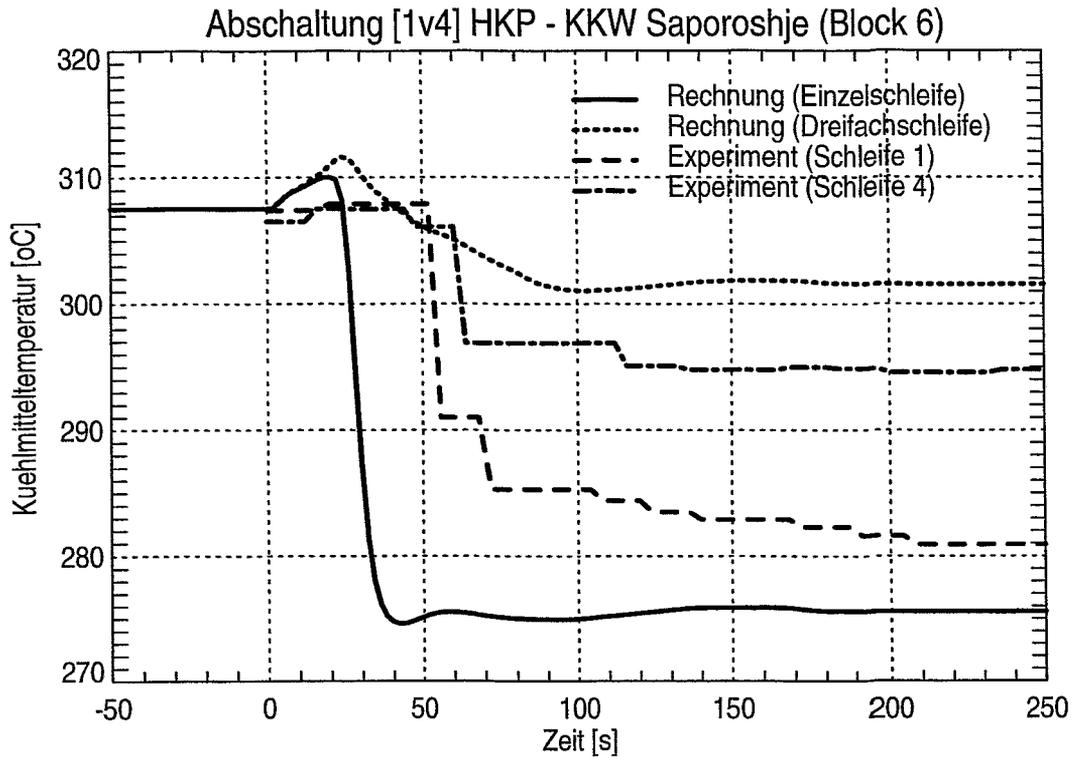


Abb. A3.7: Änderung der Kühlmitteltemperatur im heißen Strang während der Abschalttransiente

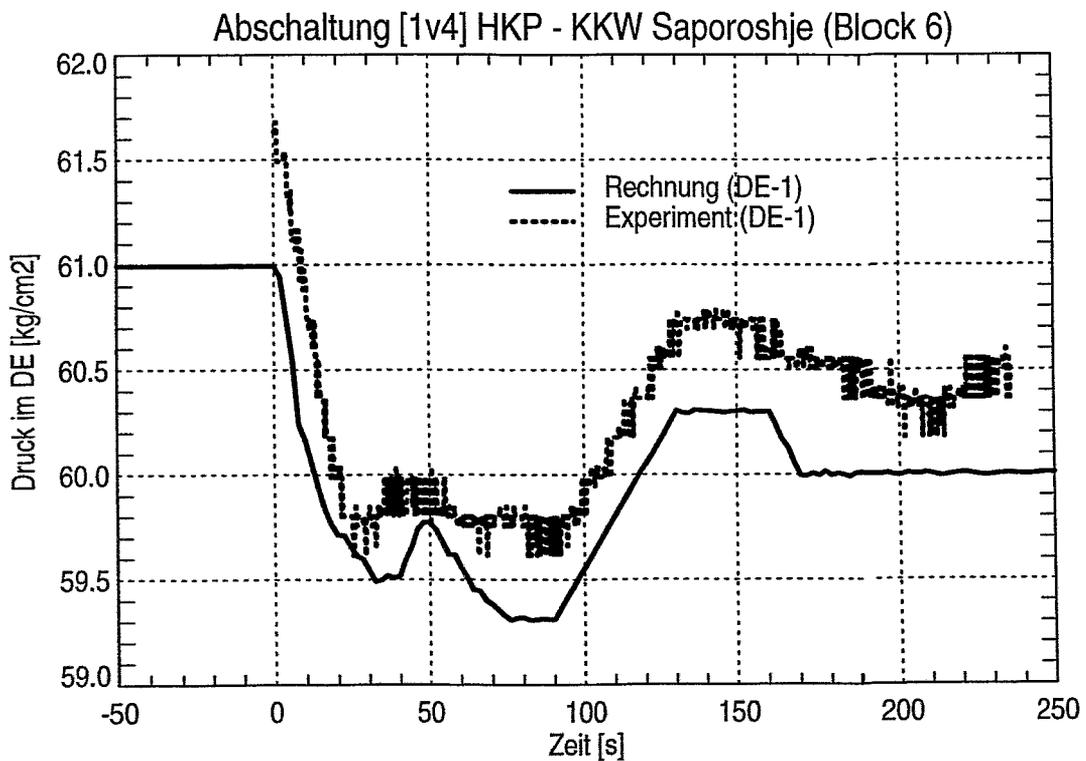


Abb. A3.8: Druckänderung im Dampferzeuger der abgeschalteten Schleife während der Transiente

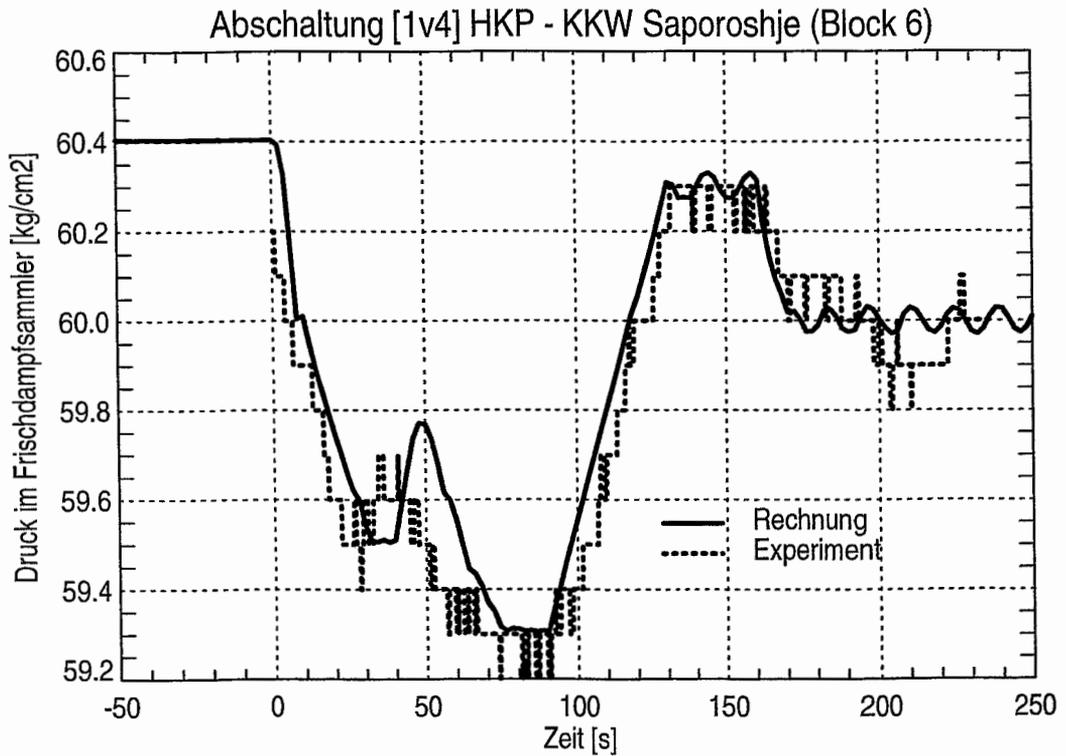


Abb. A3.9: Druckänderung im Frischdampfsammler während der Abschalttransiente

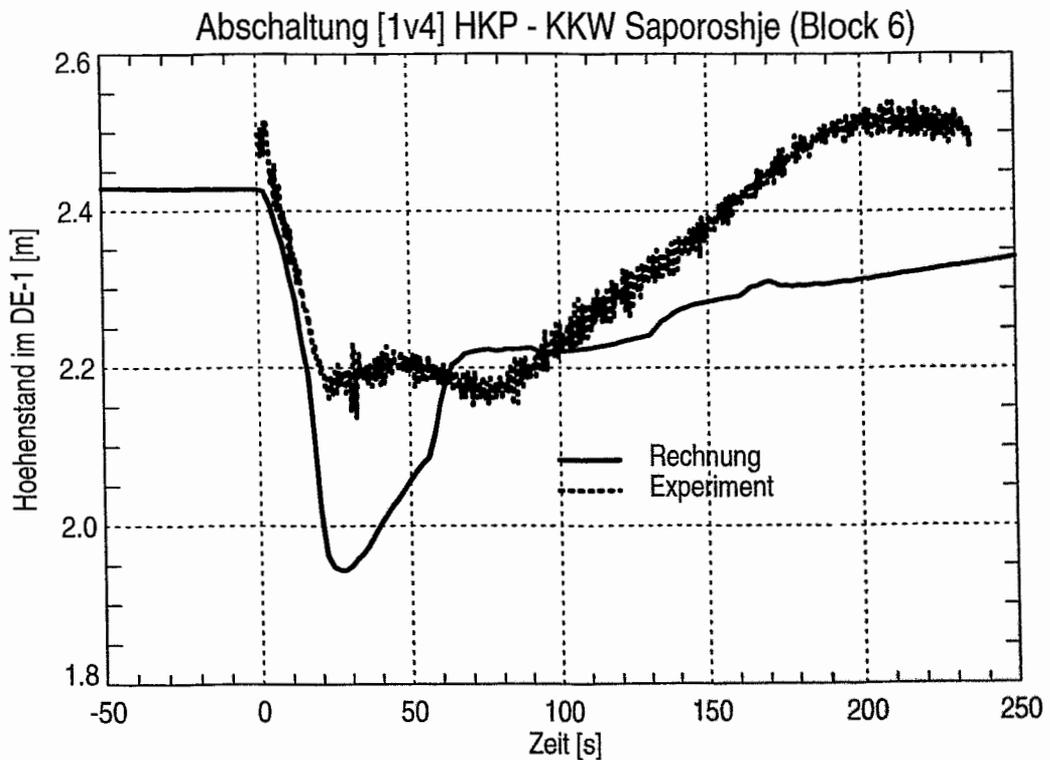


Abb. A3.10: Änderung des Höhenstandes im Dampferzeuger der abgeschalteten Schleife während der Transiente

Lastabwurf infolge des Schließens der Turbinenschnellschlußventile

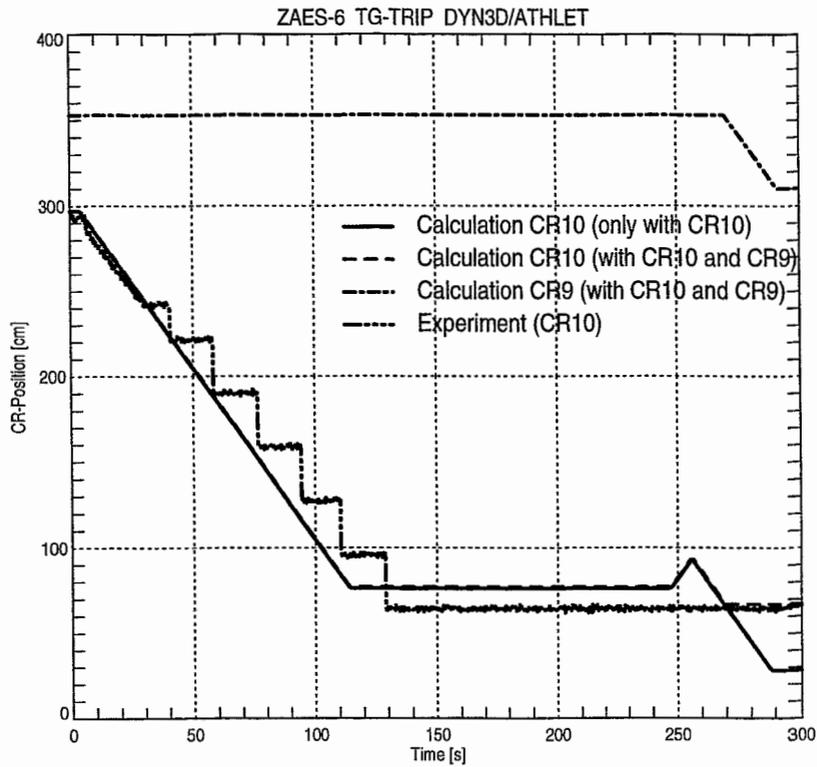


Abb. A3.11: Änderung der Regelstabposition während des Lastabwurfes

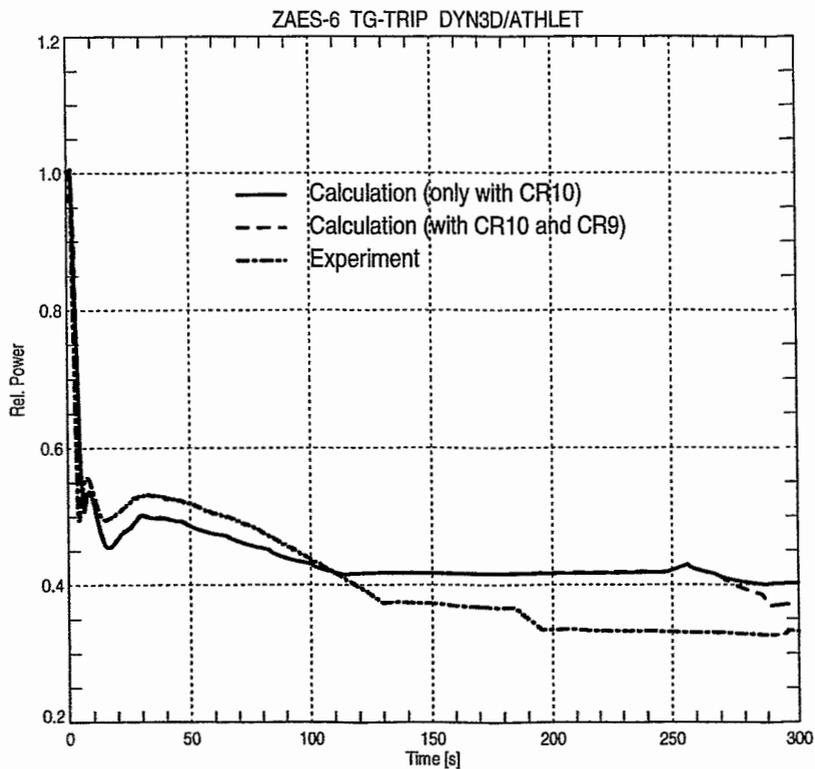


Abb. A3.12: Leistungsänderung während des Lastabwurfes

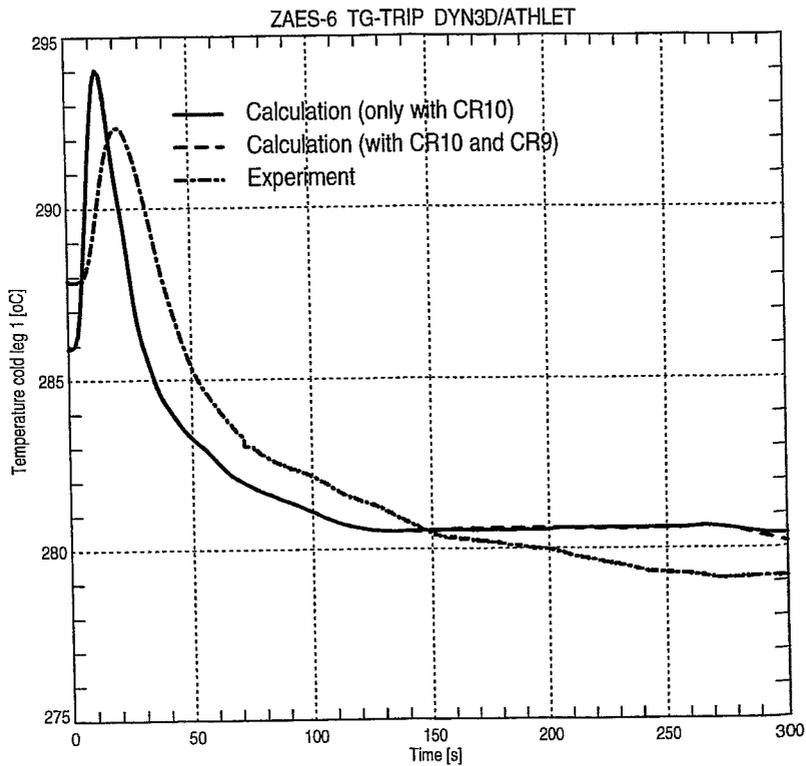


Abb. A3.13: Änderung der Kühlmitteltemperatur im kalten Strang während des Lastabwurfes

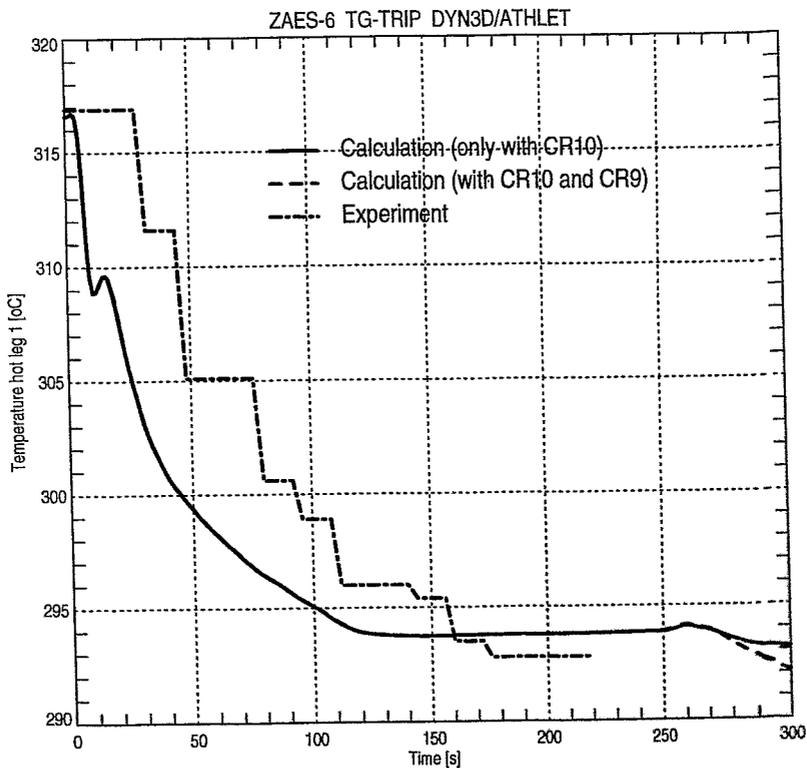


Abb. A3.14: Änderung der Kühlmitteltemperatur im heißen Strang während des Lastabwurfes

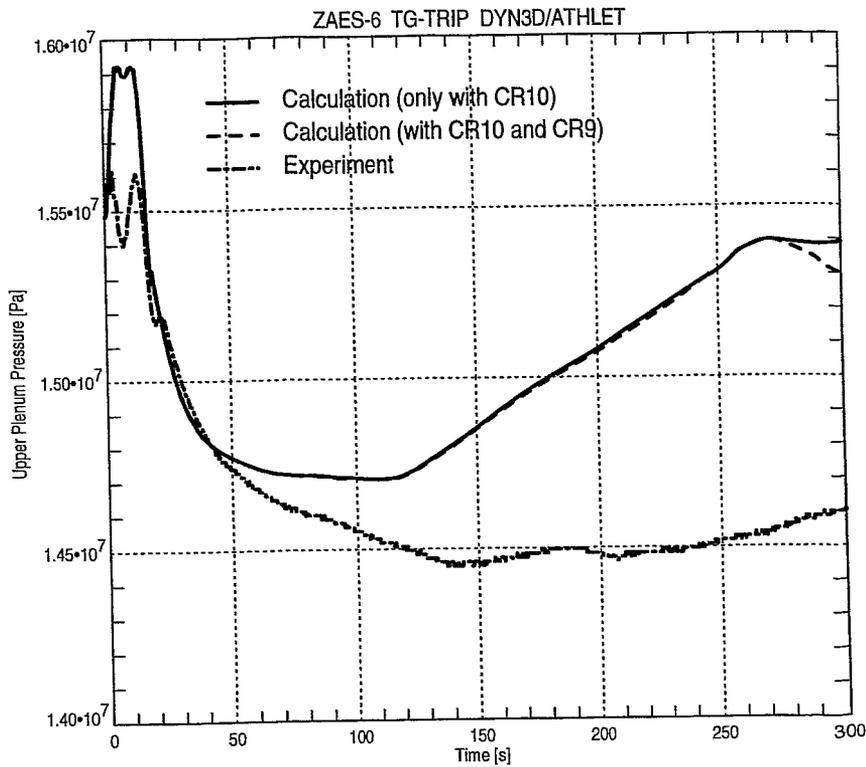


Abb. A3.15: Druckänderung im oberen Plenum während des Lastabwurfes

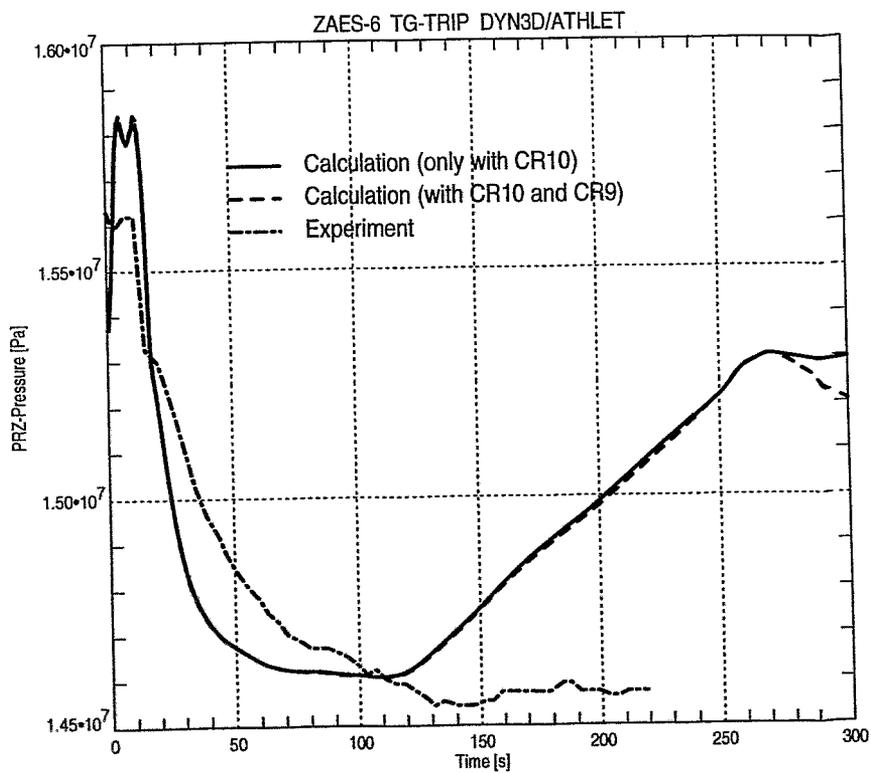


Abb. A3.16: Druckänderung im Druckhalter während des Lastabwurfes

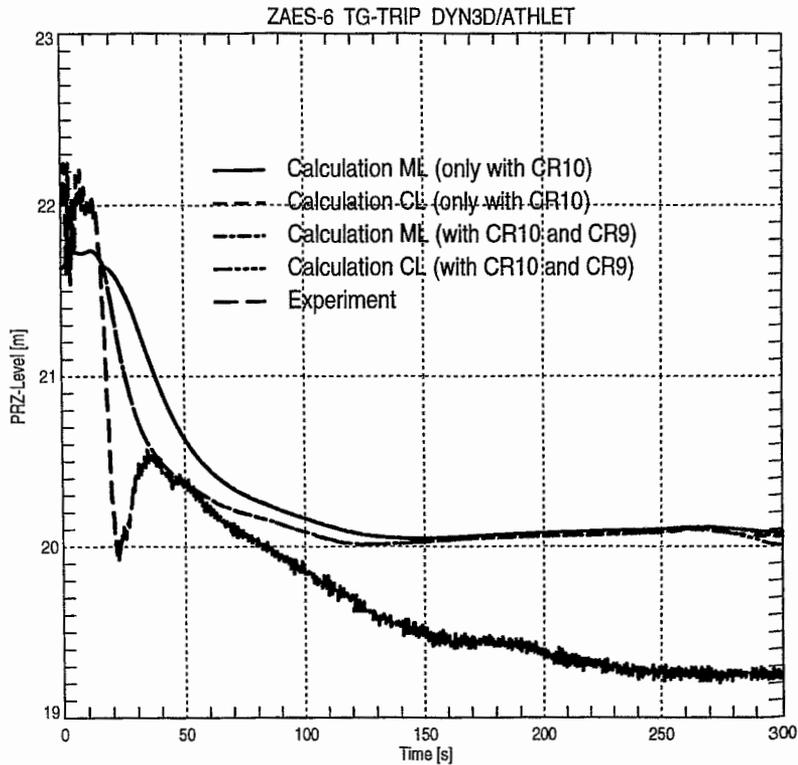


Abb. A3.17: Änderung des Höhenstandes im Druckhalter während des Lastabwurfes

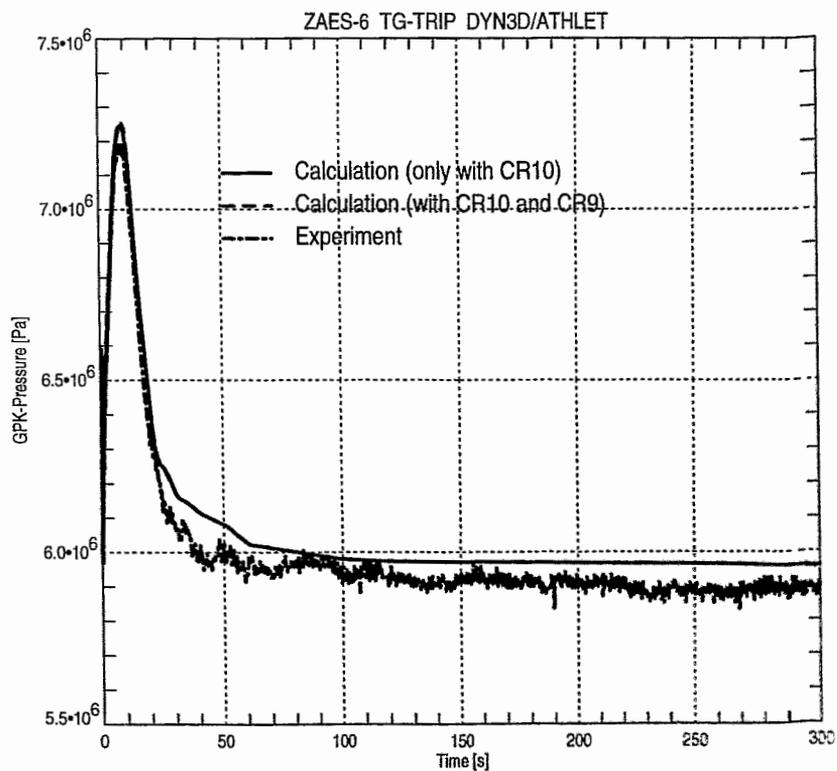


Abb. A3.18: Änderung des Frischdampfdruckes während des Lastabwurfes

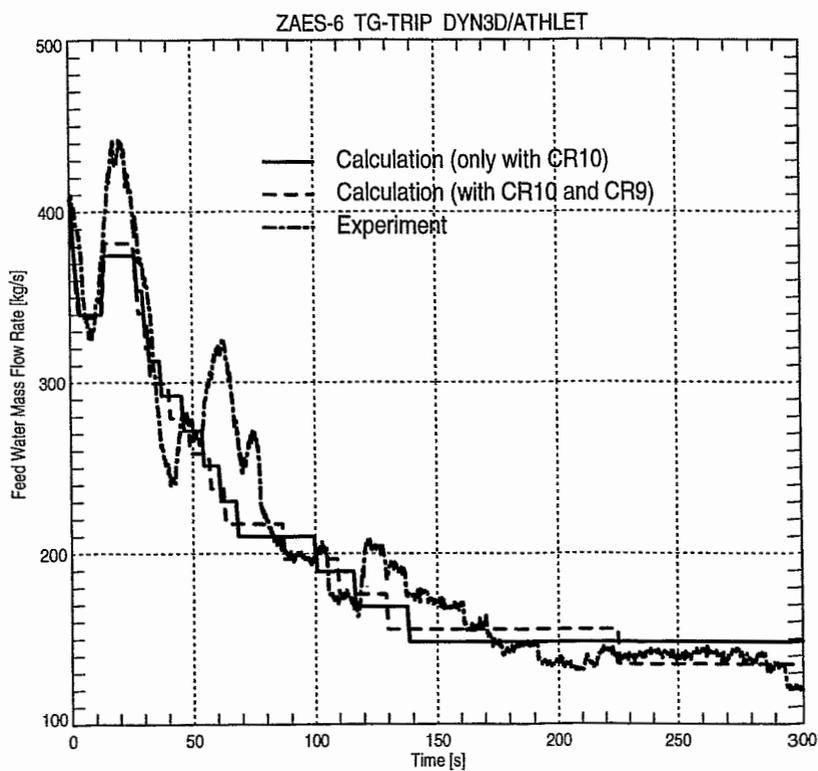


Abb. A3.19: Änderung des Speisewassermassenstromes während des Lastabwurfes

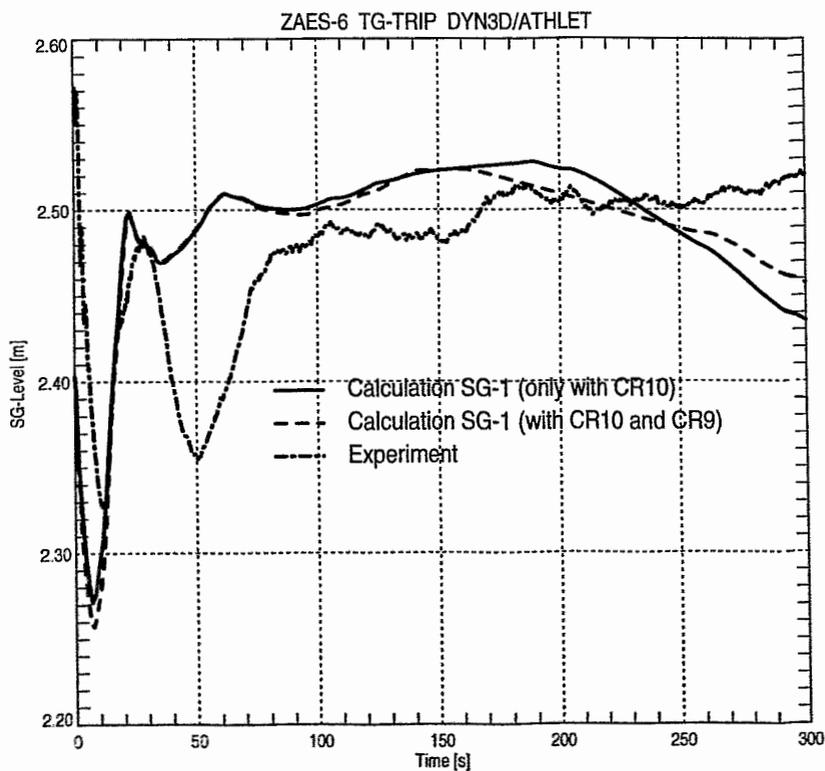


Abb. A3.20: Änderung des Höhenstandes im Dampferzeuger während des Lastabwurfes

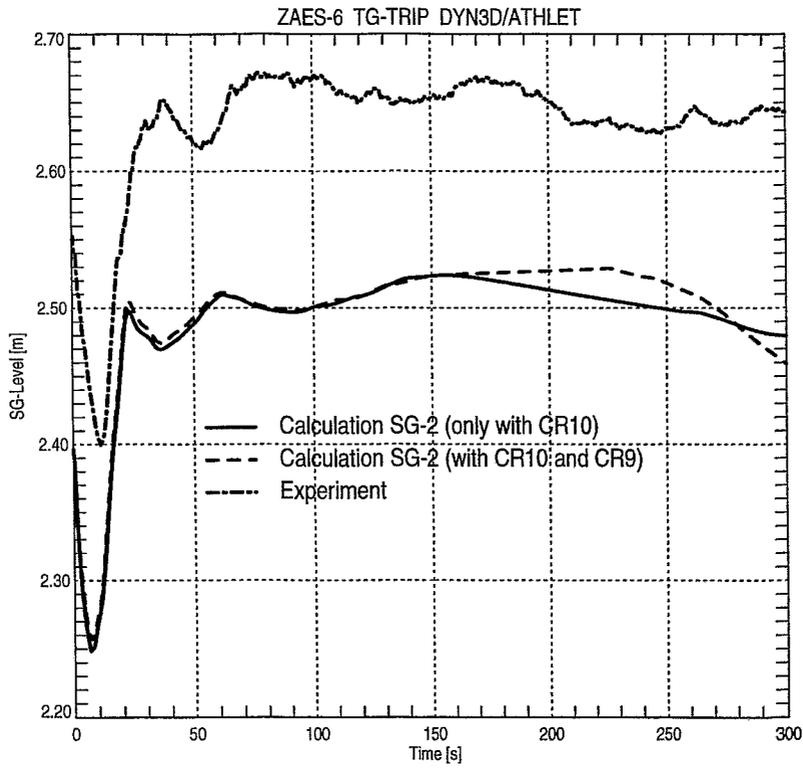


Abb. A3.21: Änderung des Höhenstandes im Dampferzeuger während des Lastabwurfes

Anhang 4

**Subroutine REACTI for reactivity coefficients calculation
with help of DYN3D**

**Scientific & Technical Centre on Nuclear and Radiation Safety Kiev
(Ukraine)**

Yu. Ovdienko

**Subroutine REACTI for reactivity coefficients calculation
with help of DYN3D**

- Internal report -

Kiev
December 1998

CONTENTS

1. Description of subroutine REACTI for reactivity coefficients calculation
with the help of DYN3D results by perturbation theoryA4-3

2. Manual.....A4-4

3. Calculations of reactivity coefficients by using subroutine REACTI.....A4-5

Conclusions.....A4-8

FiguresA4-9

1. DESCRIPTION OF SUBROUTINE REACTI FOR REACTIVITY COEFFICIENTS CALCULATION WITH THE HELP OF DYN3D RESULTS BY PERTURBATION THEORY

Based on nodal averaged fluxes and surface averaged fluxes for initial critical state assuming small changes of cross sections from the steady state values, reactivity calculating by expression

$$\rho = \left\{ \sum_n V_n \Phi_1^{*n} \frac{1}{k_{eff}} \sum_{g=1}^2 \nu \Sigma_{f,g}^n(t) \Psi_g^n \right\}^{-1} \times \left\{ L + \sum_n V_n \times \left[- \sum_{g=1}^2 \Phi_g^{*n} \delta \Sigma_g^n(t) \Psi_g^n + \Phi_1^{*n} \sum_{g=1}^2 \frac{\delta \nu \Sigma_{f,g}^n}{k_{eff}} \Psi_g^n + \Phi_2^{*n} \delta \Sigma_s^n(t) \Psi_1^n \right] \right\} \quad (1)$$

with leakage term calculating by

$$L = \sum_{g=1}^2 \sum_n \left[\int_V dV \Phi_g^{*n}(r) \nabla D_g^n(t) \nabla \Psi_g^n(t) - \int_V dV \Phi_g^{*n}(r) \nabla D_g^n(t) \nabla \Psi_g^n(t) \right] \approx$$

$$- \sum_{g=1}^2 \sum_n \frac{1}{V_n} \delta D_g^n(t) \left[(\Psi_g^n(z_1, t) - \Psi_g^n(z_0, t)) (\Phi_g^{*n}(z_1, t) - \Phi_g^{*n}(z_0, t)) \right] F_{hex}^2$$

$$+ \left[\Psi_g^n(1, t) \left(\Phi_g^{*n}(1) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(2) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(3) - \Phi_g^{*n}(4) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(5) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(6) \right) \right.$$

$$+ \Psi_g^n(2, t) \left(\Phi_g^{*n}(2) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(3) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(4) - \Phi_g^{*n}(5) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(6) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(1) \right)$$

$$+ \Psi_g^n(3, t) \left(\Phi_g^{*n}(3) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(4) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(5) - \Phi_g^{*n}(6) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(1) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(2) \right)$$

$$+ \Psi_g^n(4, t) \left(\Phi_g^{*n}(4) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(5) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(6) - \Phi_g^{*n}(1) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(2) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(3) \right)$$

$$+ \Psi_g^n(5, t) \left(\Phi_g^{*n}(5) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(6) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(1) - \Phi_g^{*n}(2) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(3) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(4) \right)$$

$$+ \left. \Psi_g^n(6, t) \left(\Phi_g^{*n}(6) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(1) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(2) - \Phi_g^{*n}(3) - \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(4) + \frac{1}{2} \Phi_g^{*n}(5) \right) \right] \frac{\Delta z^2 d^2}{3}$$

Normal and adjoint fluxes and currents are reading from file LUNADJ, rest of data (geometry data, thermohydraulic data, cross sections) are getting from common blocks.

Subroutine calculates the following reactivity coefficients:

- moderator temperature reactivity coefficient without influence of changing moderator density;
- fuel temperature reactivity coefficient;
- moderator density reactivity coefficient;
- boron acid concentration reactivity coefficient;
- moderator temperature reactivity coefficient, depended of changing moderator density.

Scheme of reactivity coefficients calculating is presented at the fig 1 There were choosing following values of perturbation

- fuel and moderator temperature - 1°C;
- moderator density - 0.5 kg/m³;
- boron acid concentration - 0.01 g/(kg H₂O)

Moderator density changing in dependence of changing of temperature $\delta\gamma_m(\delta T_m) = \gamma_m(T_m(t)) - \gamma_m(T_m(0))$ is calculating by helping of subroutine FPOT2. Before calling this subroutine checking of outlet core temperature for approach to saturation is making. The criterion of neighboring to saturation was choose $\delta T = T_s - T_m < 10^\circ\text{C}$.

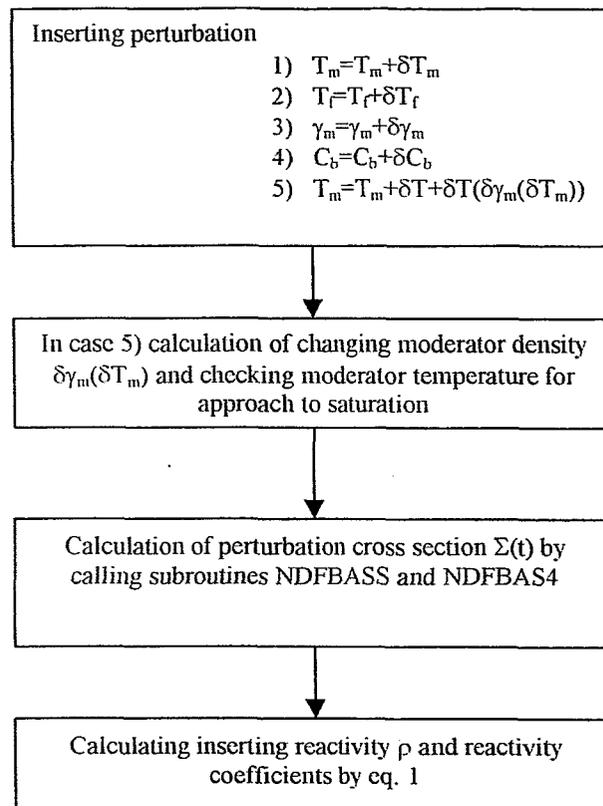


Fig. 1

2. MANUAL

DYN3D calculate adjoined fluxes and currents and reactivity coefficients after steady state calculation in case of item KRIPAR equal -1. In this case at the end of output file lst.dat the follow data is printed:

- after text string "DISTRIBUTION OF ADJOINT FLUXES IN ARBITRARY UNITS" adjoined fluxes in each node are printed;
- after text string "Reactivity coefficients" reactivity coefficients are printed in that order:

- RTm - moderator temperature reactivity coefficient without influence of changing moderator density in 1/K;
- RTf - fuel temperature reactivity coefficient in 1/K;
- RRm - moderator density reactivity coefficient in $1/(\text{g}/\text{cm}^{**3})$;
- RCb - boron acid concentration reactivity coefficient $1/(\text{g}/\text{kg})$;
- RT - moderator temperature reactivity coefficient, depended of changing moderator density 1/K.

3. CALCULATIONS OF REACTIVITY COEFFICIENTS BY USING SUBROUTINE REACTI

There were making some calculations to compare results getting by subroutine REACTI with results of physical experiments, results of calculations by programs BIPR and ALBOM (at nominal level power because experiments are not performed at nonzero power), and by results of program DYN3D with calculations of reactivity coefficients between two steady states.

Tabl. 1 Zap.NPP, unit 4, loading 11, $W=0$, $t_m=279^\circ\text{C}$, $H_{10}=40\%$

	DYN3D (perturbation theory)	DYN3D (between two steady states)	Experiment
Boron acid concentration, g/kg	9.2	9.2	9.3
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-8.53		
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-2.92	-2.93*	
Summing moderator and fuel temperature reactivity coefficient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-11.45	-12.17	-7.34
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	4.25	4.54	
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.336	-1.337	-1.57

Tabl. 2 Khm. NPP, unit 1, loading 10, $W=0$, $t_m=279^\circ\text{C}$, $H_{10}=32\%$

	DYN3D	DYN3D (between two steady states)	Experiment
Boron acid concentration, g/kg	8.04	8.04	8.09
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-8.96		
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-2.95	2.96*	
Summing moderator and fuel temperature reactivity coefficient, $1/^\circ\text{C} * 10^5$	-11.91	-13.07	-8.8
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	4.84	5.35	
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.426	-1.428	

* calculating by changing parameter in subroutine THPREP

Tabl. 3 Zap. NPP, unit 1, loading 11, $W=0$, $t_{in}=279^{\circ}\text{C}$, $H_{10}=80\%$

	DYN3D	DYN3D (between two steady states)	Experiment
Boron acid concentration, g/kg	9.585		9.66
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-4.79		
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-2.92	-2.93*	
Summing moderator and fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-7.71	-8.58	-3.85
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	2.12	1.94	
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.362	-1.362	-1.31

Tabl. 4 S.U. NPP, unit 1, loading 11, $W=0$, $t_{in}=279^{\circ}\text{C}$, $H_{10}=80\%$

	DYN3D	DYN3D (between two steady states)	Experiment
Boron acid concentration, g/kg	8.75		8.2
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-6.67		
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-2.94	-2.95*	
Summing moderator and fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-9.61	-10.06	-7.01
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	3.41	3.22	6.42
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.402	-1.403	

Tabl. 5 Rovno NPP, unit 2, loading 15, $W=0$, $t_{in}=261^{\circ}\text{C}$, $H_{10}=217\text{cm}$

	DYN3D	DYN3D (between two steady states)	Experiment
Boron acid concentration, g/kg	6.55	6.55	6.3
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-14.23		
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-2.97	-2.99	
Summing moderator and fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-17.20	-17.59	-18.38
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	10.47	10.72	
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.424	-1.422	

Tabl. 6 Rovno NPP, unit 2, loading 16, $W=0$, $t_{in}=265^{\circ}\text{C}$, $H_{10}=218\text{cm}$

	DYN3D	DYN3D (between two steady states)	Experiment
Boron acid concentration, g/kg	8.59		7.67
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-10.14		
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-3.11	-3.12*	
Summing moderator and fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-13.25	-13.61	-7.3
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	5.80	5.98	
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.350	-1.351	

Tabl. 7 Rovno NPP, unit 3, loading 12, $W=3000\text{MW}$, $t_{in}=287^{\circ}\text{C}$, $H_{10}=284\text{cm}$

	DYN3D	DYN3D (between two steady states)	BIPR
Boron acid concentration, g/kg	5.29	5.29	5.19
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-29.99		-25.92
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-2.07	-2.07*	-1.58
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	12.99	13.32	14.07
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.316	-1.315	-1.52

Tabl. 7 Zap. NPP, unit 4, loading 12, $W=3000\text{MW}$, $t_{in}=287^{\circ}\text{C}$, $H_{10}=284\text{cm}$

	DYN3D	DYN3D (between two steady states)	ALBOM
Boron acid concentration, g/kg	6.15	6.15	6.19
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-25.87		-24.17
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-2.07	-2.10*	-1.55
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	10.92	11.12	12.83
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.283	-1.284	-1.481

Tabl. 8 Rovno NPP, unit 3, loading 12, W=3000MW, $t_{in}=287^{\circ}\text{C}$, $H_{10}=284\text{cm}$,
End of campaign

	DYN3D	DYN3D (between two steady states)	BIPR
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-58.35		-51.22
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-2.10	-2.15*	-1.59
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	27.32	27.85	26.50
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.524	-1.515	-1.69

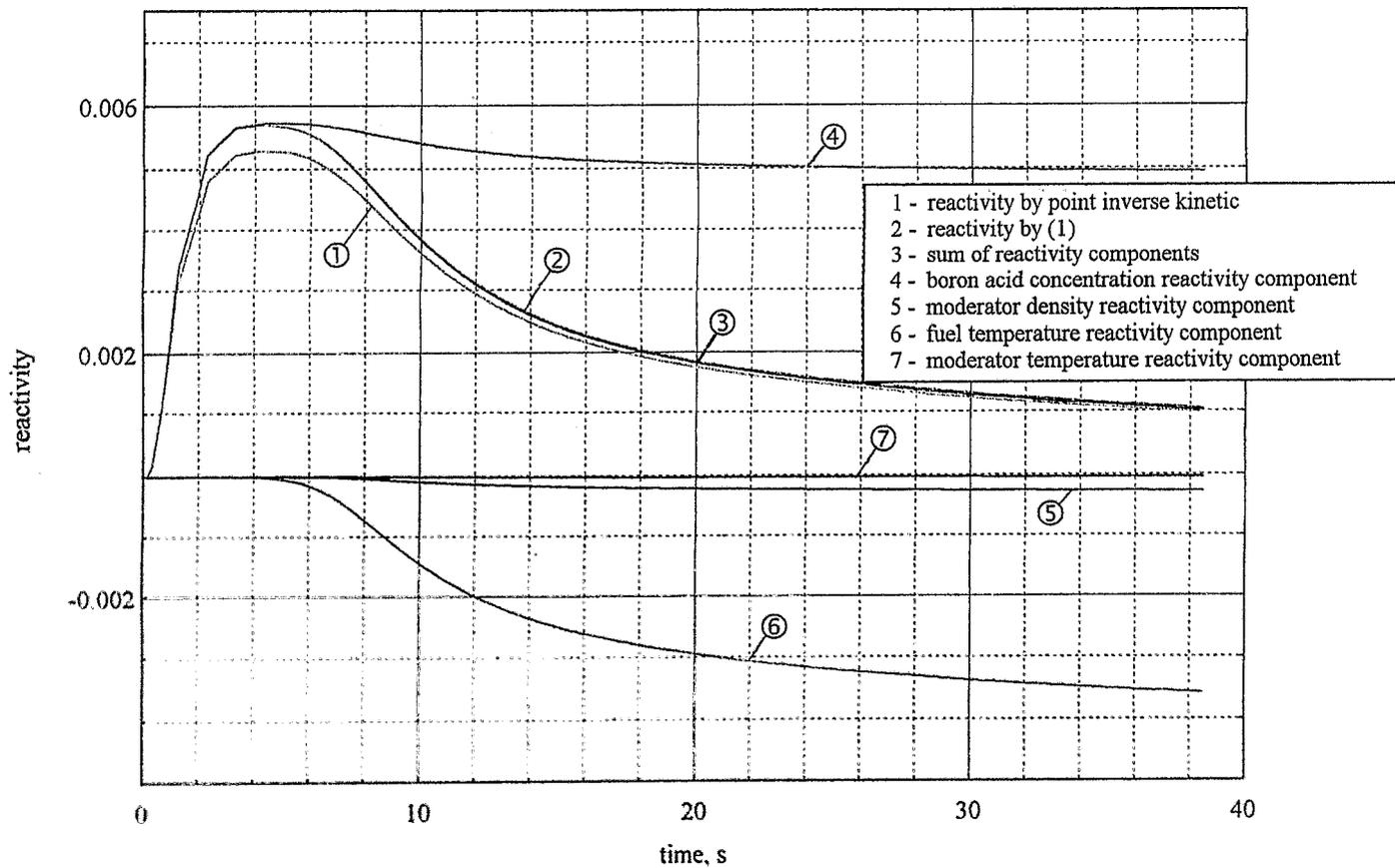
Tabl. 9 Zap. NPP, unit 3, loading 12, W=3000MW, $t_{in}=287^{\circ}\text{C}$, $H_{10}=284\text{cm}$,
End of campaign

	DYN3D	DYN3D (between two steady states)	BIPR
Moderator temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-60.04		-55.39
Fuel temperature reactivity coefficient, $1/^{\circ}\text{C} * 10^5$	-2.15	-2.20*	-1.59
Moderator density reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{cm}^3) * 10^2$	28.24	29.06	27.08
Boron acid concentration reactivity coefficient, $1/(\text{g}/\text{kg H}_2\text{O}) * 10^2$	-1.559	-1.526	-1.74

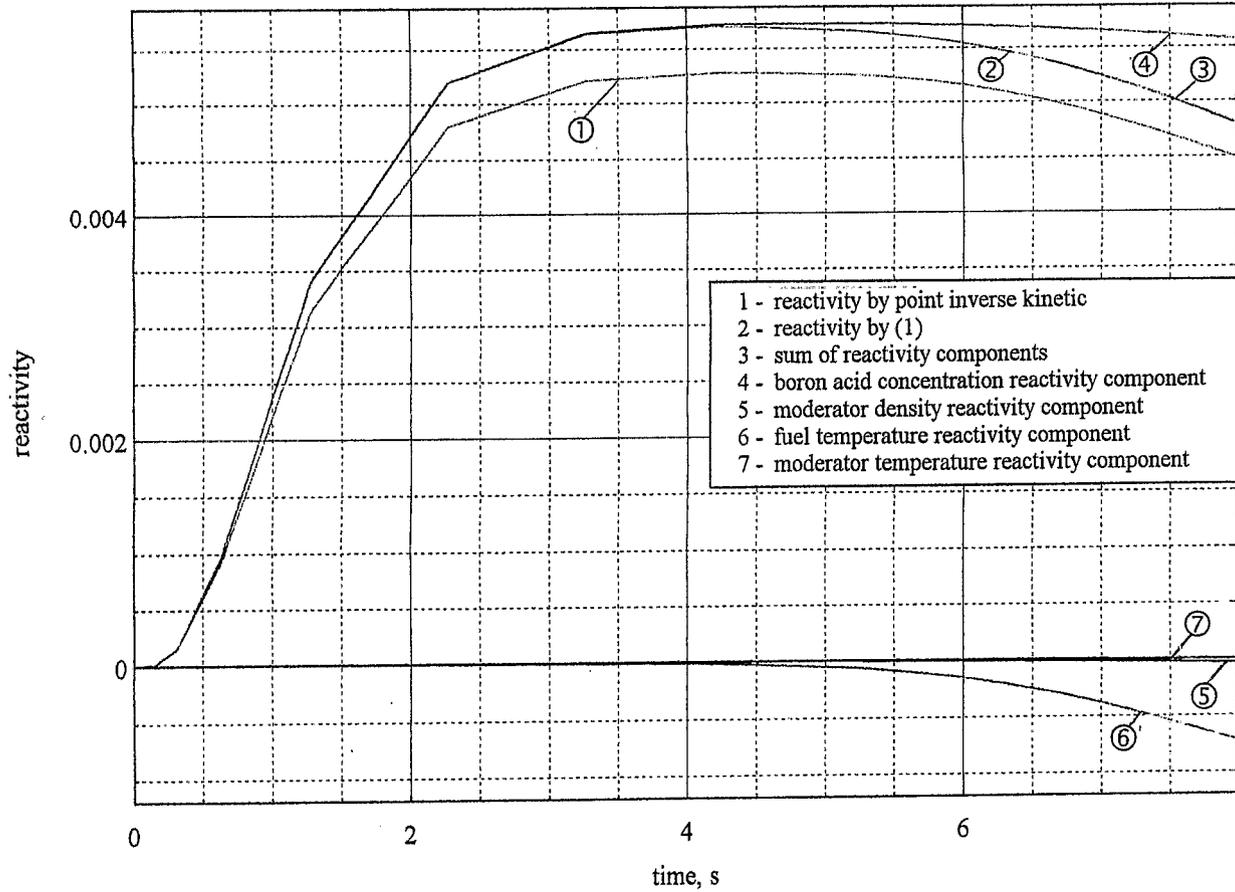
CONCLUSIONS

Maximal deviation reactivity coefficients by subroutine REACTI from values getting by calculations between two steady states are:

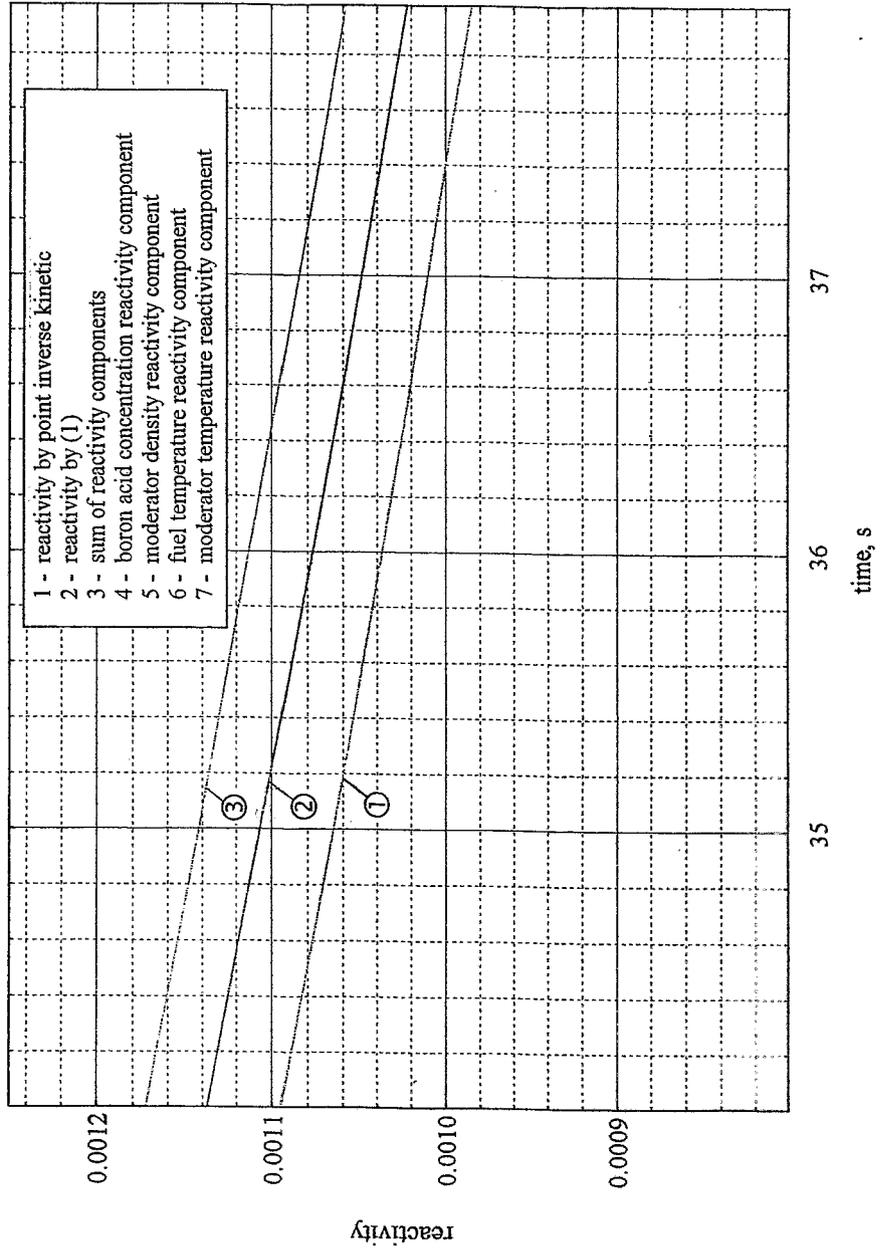
- for fuel temperature reactivity coefficient < 3%;
- for boron acid concentration reactivity coefficient < 3%;
- for moderator density reactivity coefficient < 10% at zero power state and < 6% at the nominal power (big deviation at zero power level can be explained by little absolute value of reactivity coefficient at this state);
- for moderator temperature reactivity coefficient deviation is determining by value of moderator density reactivity coefficient. Moderator temperature coefficient without influence changing density is small.

Boron dilution at zero level power $C_b=8.37 \rightarrow 7.5 \text{ g/kg}$ 

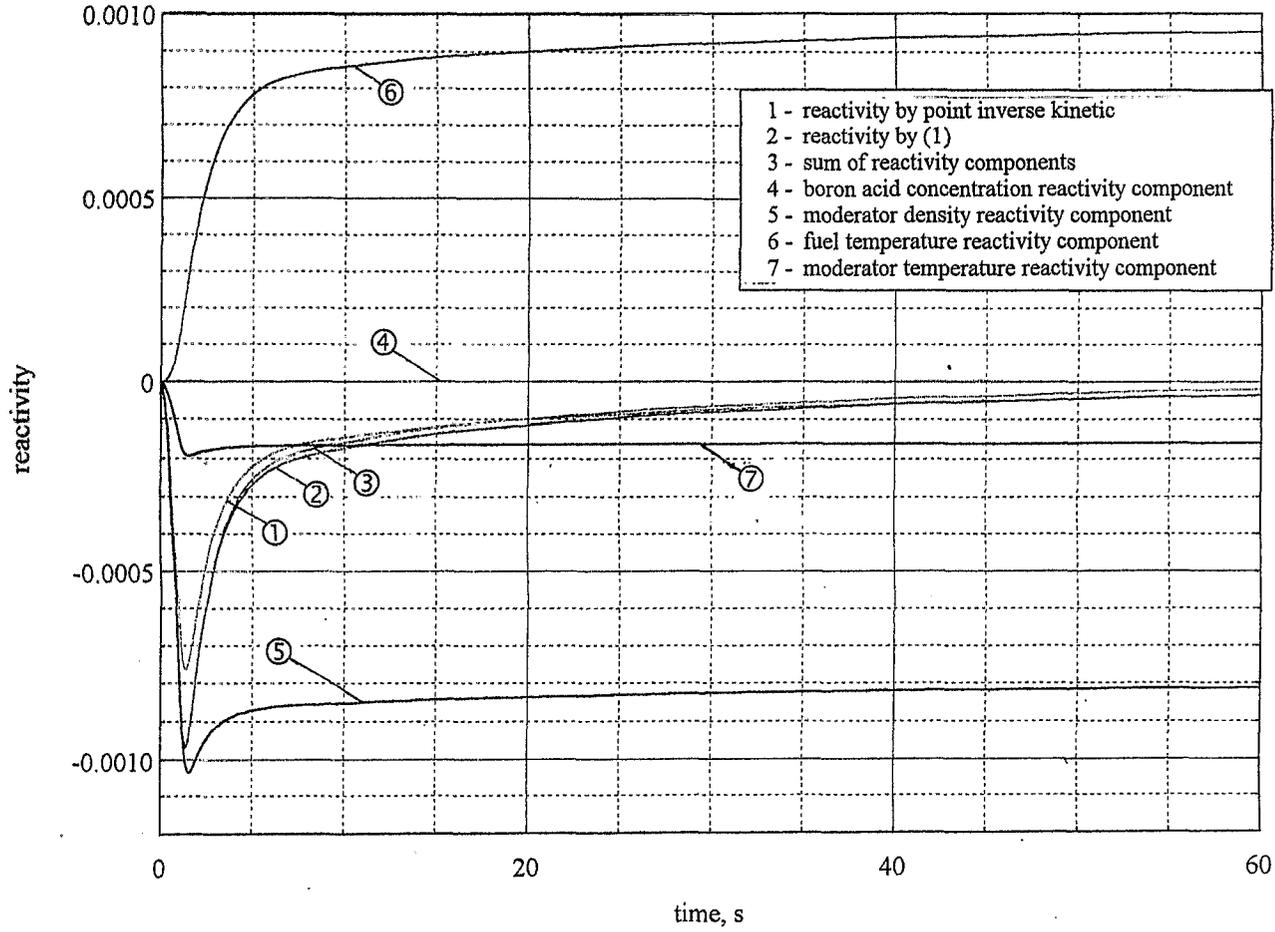
Boron dilution at zero level power $C_b=8.37 \rightarrow 7.5 \text{g/kg}$



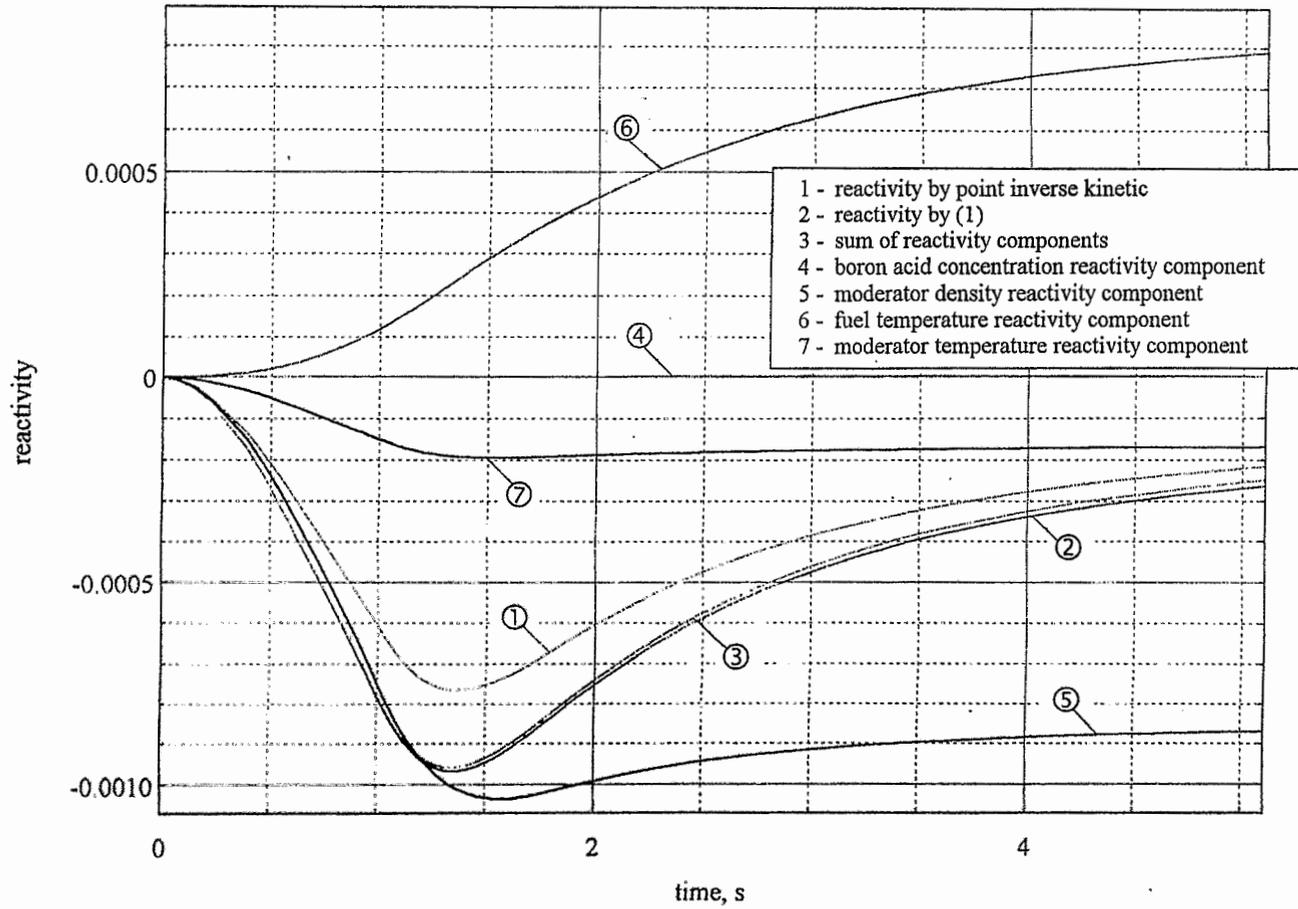
Boron dilution at zero level power $C_b=8.37 \rightarrow 7.5g/kg$



Fast main pump trip (in 1 sec.) at nominal level power



Fast main pump trip (in 1 sec.) at nominal level power



Fast main pump trip (in 1sec.) at nominal level power

