

INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY PROGRAM

EMERGENCY OPERATING INSTRUCTION

ANALYSIS PROJECT

SOVIET-DESIGNED PRESSURIZED WATER

REACTOR SYMPTOMATIC EMERGENCY

OPERATING INSTRUCTION ANALYTICAL

VALIDATION PROCEDURE:

APPROACH, METHODOLOGY DEVELOPMENT AND APPLICATION

ÌÀÆÄÓÍÀÐÎÄÍÄÍÀß ÌÐÎÄÐÀ

Ì

À Ì

ßÄÄÐÏÉ ÁÄÇÏÄÑÏÏÑÒ

È

**ПРОГРАММА РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ СИМПТОМНО-
ОРИЕНТИРОВАННЫХ АВАРИЙНЫХ ИНСТРУКЦИЙ**

**Аналитическая валидация симптомно-
ориентированных аварийных инструкций
для водо-водяных энергетических реакторов,
спроектированных в Советском Союзе**

ОПИСАНИЕ ПОДХОДА, РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Developed by:

RONALD J. BEELMAN

Data Systems and Solutions, LLC

A Rolls-Royce and SAIC Joint Venture

950 Energy Drive

Idaho Falls, Idaho

83401

USA

**Prepared for:
Pacific Northwest National Laboratories
under contract 286698-A-G8**

Disclaimer

This document was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government. Neither the United States Government, nor any agency thereof, nor any of their employees, nor any of their contractors or subcontractors, makes any warranty, expressed or implied, or assumes any legal liability or responsibility, for any third party's use, or the results of such use, of any information, apparatus, product or process disclosed in this document, or represents that its use by such third party would not infringe privately owned rights. The views expressed in this document are not necessarily those of the United States Department of Energy.

Заявление об ограниченной ответственности

Настоящий документ составлен в качестве отчета о работе, финансируемой ведомством Правительства Соединенных Штатов Америки. Ни Правительство Соединенных Штатов Америки, ни какое-либо из их ведомств, ни какой-либо из их служащих, ни какой-либо из их подрядчиков или субподрядчиков не дают никакой гарантии, в прямой или подразумеваемой форме, и не принимают никакой юридической ответственности или обязанности в связи с использованием какой-либо третьей стороной какой-либо информации, аппаратуры, изделия или процесса, представленных в настоящем документе, или в связи с результатом такого использования и не заявляют и не создают представления о том, что такое использование указанной третьей стороной не нарушает прав, находящихся в частной собственности. Точка зрения, выраженная в настоящем документе, не обязательно совпадает с точкой зрения Министерства энергетики Соединенных Штатов Америки.

ABSTRACT / АННОТАЦИЯ

Soviet-designed pressurized water reactor plants (VVERs) have developed symptom-based emergency operating procedures (EOPs) under the auspices of the International Nuclear Safety Program. These procedures must be validated prior to implementation. One of the steps in the procedure validation process is evaluation of the efficacy of prescribed operator actions in maneuvering the plant to a safe, stable state. This evaluation is accomplished by systematically analyzing the procedures using specialized thermal-hydraulic computer codes designed for nuclear reactor plant simulation. Regulatory acceptance of the analytical validation results requires implementation and observance of a formalized, systematic and justifiable approach. Logistical and budgetary considerations require a cost-effective approach. These requirements have necessitated promulgation of a methodology intended for analytical validation of VVER EOPs.

На спроектированных в Советском Союзе атомных электростанциях, где установлены реакторы с водой под давлением (водо-водяные энергетические реакторы), под эгидой Международной программы по ядерной безопасности разработан комплект симптомно-ориентированных аварийных инструкций. До того, как эти инструкции будут введены, они должны пройти обоснование и подтверждение (валидацию). Одним из этапов в процессе валидации инструкций является проведение оценки эффективности предписанных в них действий оперативного персонала с целью вывода энергоблока в безопасное, стабильное состояние. Такая оценка осуществляется за счет проведения систематического анализа инструкций с помощью специализированных теплогидравлических компьютерных кодов, предназначенных для имитации работы ядерной установки. Для того, чтобы результаты расчетной валидации были приняты надзорными органами, требуются внедрение и соблюдение обоснованного, системного и формализованного подхода. А по материально-техническим и бюджетным соображениям подход должен быть экономически эффективным. Эти требования вызвали необходимость распространить методику, предназначенную для расчетного обоснования комплекта СОАИ для энергоблоков с реактором типа ВВЭР.

EXECUTIVE SUMMARY / ОБЩИЙ ОБЗОР

Symptom-based Emergency Operating Procedures (EOPs) provide generic guidance to a reactor plant operator in maneuvering the plant to a safe, stable condition in the event of an unexpected plant transient or emergency. These procedures must be analytically validated prior to implementation in order to provide technical justification that the prescribed operator actions are reasonable, effective and prudent. This evaluation is accomplished by systematically evaluating the procedures using specialized thermal-hydraulic computer codes designed for nuclear reactor plant simulation.

Symptom-based EOPs attempt to maintain Critical Safety Functions (CSFs) within acceptable limits. These CSFs are intended to preserve the integrity of fission product barriers (FPBs). These barriers include the fuel cladding, nuclear steam supply system (NSSS) pressure boundary, and the containment pressure boundary. Symptomatic EOP analysis attempts to validate the efficacy of the operator actions in maintaining the CSFs and preserving the integrity of the FPBs.

Symptomatic EOP analysis is performed using a realistic, best-estimate approach so as not to distort the depiction of the situation confronting the operator. Thermal-hydraulic computer code calculations are performed to simulate the symptoms presented to the operator to diagnose challenges to the CSFs. The appropriate prescribed operator actions are then implemented analogously during the course of the transient simulation. Symptomatic EOP analysis principally addresses the effectiveness and timing of these operator actions in averting loss of the CSF, subsequent FPB damage, and consequential fission product release.

ОБЩИЙ ОБЗОР

Симптомно-ориентированные аварийные инструкции (СОАИ) дают оператору на БЩУ атомного энергоблока типовые указания по действиям, которые он должен предпринять с целью вывода энергоблока в безопасное, стабильное состояние в случае возникновения неожиданного переходного процесса или чрезвычайного происшествия. До того, как эти инструкции будут введены, они должны пройти расчетное подтверждение (валидацию), чтобы предоставить техническое обоснование того, что предписанные действия оперативного персонала, содержащиеся в инструкциях, являются целесообразными, эффективными и разумными. Такая оценка осуществляется за счет проведения систематического анализа инструкций с помощью специализированных теплогидравлических компьютерных кодов, предназначенных для имитации работы ядерной установки.

Симптомно-ориентированные аварийные инструкции предназначены для поддержания в приемлемом диапазоне показаний о критических функциях безопасности (КФБ). А в свою очередь эти КФБ предназначены для сохранения целостности барьеров продуктов деления. Этими барьерами являются оболочка твэлов, контуры герметизации ядерной паропроизводящей установки (ЯППУ) и герметичная оболочка (т.н. контайнмент). Расчетно-аналитическое обоснование СОАИ нацелено на подтверждение эффективности действий оператора при попытке поддержать КФБ и сохранить целостность барьеров продуктов деления.

Для того, чтобы избежать искажения той информации, которая предоставляется оператору, расчетно-аналитическое обоснование СОАИ основывается на реалистичном подходе. С помощью расчетов, осуществляемых теплогидравлическим компьютерным кодом, имитируются те симптомы, которые представились бы оператору при проведении диагностики угроз КФБ. При этом в течение моделирования переходного процесса выполняются соответствующие действия, предписанные оператору в его инструкциях. В основном расчетно-аналитическое обоснование СОАИ дает оценку эффективности и своевременности выполнения этих действий для предотвращения нарушения КФБ, дальнейшего ущерба барьеров продуктов деления и, следовательно, результирующего при этом выброса продуктов деления в окружающую среду.

Symptomatic EOP analysis is greatly simplified by observing that operator actions in responding to any particular symptom are independent of the initiating event. Since the prescribed operator actions are generic to the respective symptom(s), it will therefore suffice to analyze only those transient scenarios that most prominently exhibit the respective symptoms. By analyzing those scenarios that depict the most limiting, realistically plausible challenges to the CSFs, we ensure that the prescribed operator actions are valid for lesser challenges under similar circumstances.

A symptom is nothing more than the manifestation of a disturbance in a plant process supporting maintenance of the CSF(s). Transient scenarios which most prominently exhibit particular symptoms consequently most disrupt those processes associated with the CSF(s). We refer to these scenarios as bounding scenarios because they provide an upper bound with regard to challenging the CSF(s) under these circumstances.

There are two considerations in deriving the bounding scenarios: 1) identification of the particular initiating events and initial plant conditions that give rise to the circumstances that most disrupt the processes; and, 2) identification of the most limiting combinations of plant equipment availabilities in responding to the challenge. A suitable methodology must address both considerations. The intent is to derive and analyze the scenarios that bound the plant's response itself in challenging the CSFs over all postulated design basis initiating events.

Можно существенно упростить работы по расчетно-аналитическому обоснованию СОАИ осознанием того факта, что ответные действия, предпринимаемые оператором в случае возникновения конкретного симптома, не зависят от характера исходного события, вызвавшего этот симптом. Так как предписанные действия оператора являются типовыми для конкретных симптомов, достаточно проанализировать протекание только тех переходных процессов, которые выявляют соответствующие симптомы в большей степени. Анализом тех аварийных процессов, которые предоставляют самую существенную, реально возможную угрозу нарушения КФБ, мы обеспечиваем достаточность предписанных действий оператора при возникновении менее существенной угрозы в аналогичной ситуации.

Симптом—это ни что иное, как проявление нарушения конкретного технологического процесса, необходимого для успешного поддержания одной или более КФБ. Следовательно, те аварийные переходные процессы (сценарии), которые выявляют соответствующие симптомы в большей степени, больше нарушают технологические процессы, связанные с этой/этими КФБ. Такие сценарии мы называем «огибающими», так как они создают верхний предел угрозы по отношению к КФБ при данных условиях.

При определении огибающих сценариев внимание аналитика нужно обратить на два момента: (1) определение конкретных исходных событий и исходных условий работы энергоблока, из-за которых возникают ситуации, в большей степени нарушающие указанные техпроцессы; и (2) определение самых ограничивающих с точки зрения возможности устранения угрозы сочетаний работоспособного оборудования и устройств энергоблока. Любая приемлемая методика должна учесть оба этих требования. Общей целью ставится необходимость вывести и проанализировать сценарии, которыми огибается реакция энергоблока (т.е., обосновать его предельную реакцию) при возникновении всех постулируемых проектных исходных событий.

The development of the methodology to derive the bounding scenarios begins with identification of the symptoms that necessitate the Functional Recovery Guides (FRGs). Since the FRGs already exist in this instance, and are by definition symptomatic, the derivation of a suitable methodology is greatly simplified.

The objective is to devise a method of demonstrating the efficacy of the FRGs in maintaining the CSFs. We begin by cross-referencing the symptoms (S1, S2, etc.) to their associated Critical Safety Functions (CSF1, CSF2, etc.) and corresponding Functional Recovery Guides (FRG1, FRG2, etc.).

EOPs	Critical Safety Functions			
	CSF1	CSF2	CSF3	etc.
FRG1	S1		S1	...
FRG2		S2		...
FRG3	S3		S3	...
etc.	...	...	...	etc.

We can also associate symptoms with the postulated initiating events classes (IEC1, IEC2, etc.) most likely to manifest those symptoms.

Initiating Event Classes	Symptoms			
	S1	S2	S3	etc...
IEC1	X		X	...
IEC2		X		...
IEC3	X		X	...
etc...	...	...	...	etc...

Разработка необходимой методики, способной вывести огибающие сценарии, начинается с определения симптомов, по которым нужно установить инструкции по восстановлению КФБ. А с учетом того, что в этот раз инструкции по восстановлению КФБ уже существуют—а они по своей сути должны быть симптомно-ориентированными—процесс создания подходящей методики существенно упрощается.

Наша цель—придумать способ доказательства эффективности инструкций по восстановлению КФБ при попытках поддержать КФБ. Начнем с сопоставления симптомов (которые условно обозначаем S1, S2, и т. п.) с соответствующими им критическими функциями безопасности (CSF1 [КФБ1], CSF2, и т. п.), а затем с соответствующими инструкциями по восстановлению КФБ (FRG1, FRG2, и т. п.).

СОАИ	Критические функции безопасности			
	CSF1	CSF2	CSF3	и т. п.
FRG1	S1		S1	...
FRG2		S2		...
FRG3	S3		S3	...
и т. п.	...	...	...	и т. п.

Аналогично, симптомы можно соотнести с классами постулируемых исходных событий (которые условно обозначаем IEC1, IEC2, и т. п.), которые будут с наивысшей вероятностью выявлять эти симптомы.

Классы ИС	Симптомы			
	S1	S2	S3	и т. п.
IEC1	X		X	...
IEC2		X		...
IEC3	X		X	...
и т. п.	...	...	...	и т. п.

By replacing symptoms with their associated initiating event classes we can then correlate CSF challenges with corresponding FRGs by event class.

EOPs	Critical Safety Functions			
	CSF1	CSF2	CSF3	<i>etc.</i>
	<i>S1, S3, etc.</i>	<i>S2, etc.</i>	<i>S1, S3, etc.</i>	...
FRG1	IE1,3		IE1,3	...
FRG2		IE2		...
FRG3	IE1,3		IE1,3	...
<i>etc.</i>	...	...	...	<i>etc.</i>

Using engineering judgment, we can then identify which transient initiators would most prominently exhibit the symptom associated with the corresponding CSF challenge. This must be accomplished separately for each grouping of initiating event classes under the CSF headings since the underlying processes supporting the respective CSFs may differ.

By elucidating the processes upon which the CSFs depend, we can identify the Functional Recovery Guides' reliance on plant equipment in implementing strategies to combat the challenge. By disadvantaging that strategic capability to the most limiting, realistic extent within a bounding, best-estimate approach, we bound the overall plant response to the CSF challenge presented by the initiating event. In the process of identifying limiting plant equipment availabilities, we fulfill the second consideration in specifying the bounding circumstances in challenging the CSFs. We refer to these combinations of limiting equipment availabilities as bounding assumptions. The application of the bounding assumptions to the bounding initiating events constitutes specification of the bounding scenarios.

Заменяя симптомы соответствующими им классами исходных событий, мы сможем соотнести конкретные угрозы КФБ с соответствующими инструкциями по восстановлению КФБ через классы событий.

СОАИ	Критические функции безопасности			
	CSF1	CSF2	CSF3	<i>и т. п.</i>
	<i>S1, S3, и т.п.</i>	<i>S2, и т.п.</i>	<i>S1, S3, и т.п.</i>	<i>...</i>
FRG1	ИС 1,3		ИС 1,3	<i>...</i>
FRG2		ИС 2		<i>...</i>
FRG3	ИС 1,3		ИС 1,3	<i>...</i>
<i>и т. п.</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>и т. п.</i>

Затем на основании инженерного суждения мы сможем определить, какие исходные переходные процессы будут выявлять в наибольшей степени тот симптом, который соотносится с соответствующей угрозой конкретной КФБ. Этот процесс необходимо проследить отдельно для каждой группы классов исходных событий, которая отмечается в графе под заголовком CSF (КФБ), так как процессы, лежащие в основе поддержания каждой КФБ, могут отличаться друг от друга.

Разъяснением процессов, от которых зависят КФБ, мы сможем определить набор оборудования и устройств энергоблока, используемый при осуществлении стратегий по предотвращению угрозы восстановлению КФБ. Снижением стратегических технических возможностей энергоблока до крайнего минимума в рамках самых ограничивающих, реально возможных условий и применением реалистичного огибающего подхода, мы обосновываем предельную реакцию энергоблока на поставленную исходным событием угрозу поддержанию КФБ. Определением самого ограничивающего сочетания работоспособного оборудования и устройств энергоблока мы выполняем второе требование по определению тех огибающих условий, которые ставит критические функции под угрозу. Такие самые ограничивающие сочетания работоспособного оборудования и устройств энергоблока называются «огибающими допущениями». Применение огибающих допущений при анализе исходных событий—это и есть определение огибающих сценариев.

Using thermal-hydraulic analysis techniques, we evaluate the efficacy of the FRGs in maintaining the CSFs under the most limiting, plausible, thermal-hydraulic circumstances attainable in the bounding scenarios. This methodology affords an efficient and comprehensive approach in meeting regulatory, logistical and budgetary requirements in validating symptom-based EOPs.

Таким образом, с помощью приемов теплогидравлического анализа мы оцениваем эффективность инструкций по восстановлению КФБ при попытках поддержать эти КФБ в случае возникновения самых ограничивающих, правоподобных теплогидравлических ситуаций, которые можно достичь в рамках установленных огибающих аварийных сценариев. А сама методика представляет собой эффективный и всеобъемлющий подход к удовлетворению технических и бюджетных ограничения, а также и требований надзорного органа при валидации симптомно-ориентированных аварийных инструкций.

PREFACE / ПРЕДИСЛОВИЕ

In the summer of 1997, delegates from Bulgaria, the Ukraine, and the United States met at the Czech Nuclear Research Institute, Rez, under the auspices of the International Nuclear Safety Program (INSP). The meeting was sponsored by Pacific Northwest National Laboratories (PNNL) to discuss means of obtaining the necessary analyses to validate Emergency Operating Instructions (EOPs) for Soviet-designed Pressurized Water Reactor (VVER) Nuclear Power Plants (NPPs).

These EOPs had previously been developed under another INSP initiative, but their implementation was being delayed by lack of proper technical justification for the proposed operator actions. It was proposed at the meeting to utilize in-country technical resources to accomplish the necessary analyses in order to accomplish the analytical validation. A seminar on EOP development¹ was conducted at the meeting resulting in a consensus being reached that sufficient in-country technical resources existed to accomplish the analyses if supplemented with US technical support.

In October, 1997, delegates from Russia, Bulgaria, the Ukraine, the Czech Republic and the United States met at Ledenika in Bulgaria under the charter of the VVER EOP Technical Working Group 2. Representatives from Hidropress, Atomenergoproekt, Rosenergoatom, Kozloduy NPP, VNIIAES, the Kurchatov Institute, Temelin NPP, Balakova NPP, Zaporizhzhye NPP, PNNL, the World Association of Nuclear Operators (WANO) and Science Applications International Corporation (SAIC) were in attendance. A decision was taken to pursue EOP analyses with in-country technical resources. A formal request for training and US technical support was also issued in the meeting protocol.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Летом 1997 года делегаты Болгарии, Украины и Соединенных Штатов собрались на встречу в чешском Институте ядерных исследований (г. Реж) под эгидой Международной Программы по ядерной безопасности (МПЯБ). Эту встречу спонсировала Тихоокеанская Северо-западная национальная лаборатория (ТСЗНЛ), чтобы обсудить пути проведения необходимых исследований для оценки симптомно-ориентированных аварийных инструкций (СОАИ) для водородных энергетических реакторов, спроектированных в Советском Союзе.

Эти СОАИ были ранее разработаны в рамках другой инициативы МПЯБ. Однако из-за недостаточности надлежащего технического обоснования предложенных действий оператора, их внедрение **задерживается**. На встрече было предложено использовать имеющиеся в стране технические ресурсы для проведения необходимого расчетного анализа и завершения аналитической валидации. Участники в состоявшемся во время этой встречи семинаре по разработке² аварийных инструкций пришли к общему мнению, что имеющихся в стране технических ресурсов достаточно для завершения расчетного анализа, при условии, что США окажут техническую поддержку.

В октябре 1997 года делегаты России, Болгарии, Украины, Чехии и Соединенных Штатов встретились в г. Леденика (Болгария) в рамках Технической рабочей группы № 2 по разработке СОАИ для в-в-э-ровских реакторов. Присутствовали представители Гидропресса, Атомэнергопроекта, Росэнергоатома, АЭС «Козлодуй», ВНИИАЭС, Института им. Курчатова, АЭС «Темелин», Балаковской АЭС, Запорожской АЭС, ТСЗНЛ, Всемирной ассоциации операторов АЭС (ВАО АЭС) и Международной корпорации прикладных наук («САИК»). Было принято решение вести анализ СОАИ с использованием технических ресурсов страны. В протокол встречи был внесен официальный запрос об обучении персонала необходимой методике и оказании технической поддержки со стороны США.

A series of three day seminars³ was subsequently conducted in Russia, Bulgaria and the Ukraine in December, 1997, and January, 1998. In March, 1998, a formal EOP analysis methodology development guideline⁴ was issued. In May, 1998, a four week practicum on EOP analysis⁵ was conducted in Idaho Falls for representatives of Rivne NPP, Kozloduy NPP and Zaporizhzhye NPP. In September, 1998, a presentation on EOP Analytical Validation⁶ was completed during a week long seminar in Moscow, Russia, on EOP Verification and Validation sponsored by WANO.

Since the start of the actual analysis effort in October 1998, a series of EOP Bulletins^{7,8,9,10,11,12,13} have been issued dealing with specific aspects of implementing the EOP analysis methodology guideline. This document attempts to consolidate the aforementioned guidance in presenting an integrated methodology for VVER EOP analytical validation.

За встречей последовала серия трехдневных семинаров¹⁴, которые проводились в России, Болгарии и Украине в декабре 1997 и в январе 1998 года. В марте вышло официальное руководство по разработке методики анализа аварийных инструкций¹⁵. В мае 1998 года в городе Айдахо Фалс был проведен четырехнедельный практикум по анализу аварийных инструкций¹⁶ для представителей Ровенской и Запорожской АЭС, АЭС «Козлодуи». В сентябре 1998 года на недельной встрече в Москве по верификации и валидации аварийных инструкций¹⁷, спонсированной ВАО АЭС, была проведена презентация по аналитической валидации аварийных инструкций.

С момента, когда в октябре 1998 года начались реальные попытки анализа, была выпущена серия Бюллетеней по СОАИ^{18,19,20,21,22,23,24}, которые посвящались специфическим аспектам, связанным с внедрением руководства по методике анализа СОАИ. В этом документе сделана попытка объединить усилия по представлению разьединенных методик для аналитической валидации СОАИ для водо-водяных энергетических реакторов.

ACKNOWLEDGEMENTS / RUSSIAN EQUIVALENT

This document is an account of work, sponsored by the United States Department of Energy, completed under contract to Pacific Northwest National Laboratories. The author gratefully acknowledges the support of Messrs. Larry Sherfey, Kent Faris and Bob Moffitt of Pacific Northwest National Laboratories. The expertise of Dr. Michael Launer of RussTech, Inc. in translating the technical content of the document into Russian is also acknowledged*. The author also wishes to thank Messrs. Paul Amico and Jerry Judd of DS&S, and Mr. Steve Mirsky and Ms. Kathy Pasco of SAIC for their technical reviews and administrative support.

This document is an account of work, sponsored by the United States Department of Energy, completed under contract to Pacific Northwest National Laboratories. The author gratefully acknowledges the support of Messrs. Larry Sherfey, Kent Faris and Bob Moffitt of Pacific Northwest National Laboratories. The expertise of Dr. Michael Launer of RussTech, Inc. in translating the technical content of the document into Russian is also acknowledged†. The author also wishes to thank Messrs. Paul Amico and Jerry Judd of DS&S, and Mr. Steve Mirsky and Ms. Kathy Pasco of SAIC for their technical reviews and administrative support.

* This document was translated by RussTech Language Services, Inc. Tallahassee, FL under contract with the Department of Energy's International Nuclear Safety Program. Should questions arise regarding this translation, please contact Mr. Robert Klepper at the following numbers or email address:

Tel: 850-562-9811
Fax: 850-562-9815
Email: translation@russtechinc.com

Should questions arise specifically regarding the quality of this translation, please contact our translation-quality assurance point of contact, Ms. Galina Glukov on (509) 943-6001 or email: gglukhova@hotmail.com.

† Настоящий документ был переведен фирмой «RussTech Language Services, Inc.» (Таллахассии, Флорида) на основании контракта с международной программой по ядерной безопасности Министерства энергетики США. Если у Вас появятся какие-либо вопросы относительно данного перевода, пожалуйста свяжитесь с господином Роберт Клеппер по следующим номерам телефона и факса или по электронной почте:

Тел: 850-562-9811
Факс: 850-562-9815
Эл. почта: translation@russtechinc.com

Если у Вас появятся вопросы относительно качества перевода, пожалуйста свяжитесь с координатором по качеству переводов, госпожой Галиной Глуховой по следующему телефону: (509) 943-6001. Адрес электронной почты: gglukhova@hotmail.com.

CONTENTS

ABSTRACT / АННОТАЦИЯ	IV
EXECUTIVE SUMMARY / ОБЩИЙ ОБЗОР	V
PREFACE / ПРЕДИСЛОВИЕ	XV
ACKNOWLEDGEMENTS / RUSSIAN EQUIVALENT	XIX
ILLUSTRATIONS / RUSSIAN EQUIVALENT	XXII
ACRONYMS & ABBREVIATIONS / АББРЕВИАТУРА И СОКРАЩЕНИЯ	XXIII
GLOSSARY / СЛОВАРЬ	XXVI
FOREWORD / ПРЕДИСЛОВИЕ	XXXIII
I. INTRODUCTION / ВВЕДЕНИЕ	1
I.1 EOP FORMATS / ТИПЫ АВАРИЙНЫХ ИНСТРУКЦИЙ	1
I.1.A <i>Event-Based Format / Событийно-ориентированные инструкции</i>	1
I.1.B <i>Symptom-Based Format / Симптомно-ориентированные инструкции</i>	3
I.2 ANALYTICAL VALIDATION / АНАЛИТИЧЕСКАЯ ВАЛИДАЦИЯ	3
I.3 PURPOSE AND ORGANIZATION / НАЗНАЧЕНИЕ И СТРУКТУРА ДОКУМЕНТА	5
II. APPROACH / ПОДХОД	7
II.1 BASIS / ОСНОВЫ МЕТОДИКИ	7
II.2 DEVELOPMENT / ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА	7
II.3 ANALYTICAL APPROACH / АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД	9
II.4 PROCEDURE / ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ	11
II.4.A <i>Assumptions / Допущения (предположения)</i>	13
II.4.B <i>Validation Criteria / Критерии валидации</i>	15
II.4.C <i>Acceptance Criteria / Приемочные критерии</i>	15
II.4.D <i>Transient Termination Criteria / Критерий окончания расчетов</i>	15
II.5 PROCESS / ЭТАПЫ ПРОЦЕССА ВАЛИДАЦИИ СОАИ	18
III. METHODOLOGY DEVELOPMENT / РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ	20
III.1 BASIS / ОСНОВЫ МЕТОДИКИ	20
III.2 DEVELOPMENT / РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ	22
III.3 IMPLEMENTATION / ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ	24
IV. APPLICATION / ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ	30
IV.1 SCENARIO DEVELOPMENT / РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ	30
IV.2 RATIONALE / ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ	32
IV.3 INDUCED FAILURES / СПРОВОЦИРОВАННЫЕ ОТКАЗЫ	34
IV.4 CALCULATIONAL PROCEDURE / ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ	36
IV.4.A <i>Perform Base Case Calculation / Подготовка базовых расчетов</i>	36
IV.4.B <i>Perform Failed System Calculation / Расчет с отказом системы</i>	36
IV.4.C <i>Analyze Loss Of Critical Safety Function / Анализ нарушения КФБ</i>	36
IV.4.D <i>Perform Operator Action Sensitivity Calculation / Оценка значения времени начала вмешательства оператором</i>	39
IV.4.E <i>Perform Alternative Action Sensitivity Calculation / Произвести расчет реакции системы на альтернативный случай</i>	39
IV.5 INTERPRETATION OF RESULTS / ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ	39
IV.5.A <i>Verification / Верификация</i>	39
IV.5.B <i>Validation / Валидация</i>	39
IV.5.C <i>Consistency / Последовательность</i>	42
IV.5.D <i>Coherence / Целесообразность результатов анализа</i>	45
IV.5.E <i>Interpretation / Интерпретация результатов анализа</i>	45

IV.6	APPLICATION OF RESULTS / ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	49
IV.7	RESPONSIBILITY / ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	53
V.	DOCUMENTATION / ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ	55
V.1	TECHNICAL BASIS DOCUMENT / ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	55
V.2	TOPICAL ANALYSIS REPORTS / ТЕМАТИЧЕСКИЕ ОТЧЕТЫ ПО БЕЗОПАСНОСТИ (ТОБ).....	55
VI.	REFERENCES / ССЫЛКИ.....	57
VII.	APPENDICES / ПРИЛОЖЕНИЯ	59
APPENDIX A -BOUNDING SEQUENCE ANALYSIS MATRIX CONSTRUCTION / СОЗДАНИЕ МАТРИЦЫ ПО АНАЛИЗУ ОГИБАЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТЕКАНИЯ АВАРИИ.....		61
APPENDIX B -BOUNDING ASSUMPTION SPECIFICATION / ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДОПУЩЕНИЙ		69
APPENDIX C -EXAMPLE EOP THERMAL HYDRAULIC CALCULATION / ПРИМЕР Т-Г РАСЧЕТА ДЛЯ СОАИ		79
APPENDIX D -CONTENTS OF TOPICAL REPORT WORKBOOK / СОДЕРЖАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО ОТЧЕТА ПО БЕЗОПАСНОСТИ.....		91

ILLUSTRATIONS / RUSSIAN EQUIVALENT**Tables / Russian Equivalent**

TABLE II-1. FISSION PRODUCT BARRIERS	7
ТАБЛИЦА II-1. БАРЬЕРЫ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ	8
TABLE II-2. CRITICAL SAFETY FUNCTIONS.....	9
ТАБЛИЦА II-2. КРИТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ	10
TABLE II-3. GENERAL CONSIDERATIONS.....	9
ТАБЛИЦА II-3. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ	10
TABLE II-4. TYPICAL SYMPTOMS	11
ТАБЛИЦА II-4. ТИПИЧНЫЕ СИМПТОМЫ.....	12
TABLE II-5. SAMPLE INITIAL CONDITIONS.....	13
ТАБЛИЦА II-5. ОБРАЗЦЫ ВОЗМОЖНЫХ ИСХОДНЫХ УСЛОВИЙ	14
TABLE II-6. SAMPLE BOUNDARY CONDITIONS.....	13
ТАБЛИЦА II-6. ОБРАЗЦЫ ВОЗМОЖНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ.....	14
TABLE III-1. SYMPTOM DEVELOPMENT.....	20
ТАБЛИЦА III-1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИМПТОМОВ.....	21
TABLE III-2. SYMPTOM MATRIX DEVELOPMENT.....	22
ТАБЛИЦА III-2. МАТРИЦА СИМПТОМОВ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ.....	23
TABLE III-3. INTERMEDIATE MATRIX.....	24
ТАБЛИЦА III-3. ПРОМЕЖУТОЧНАЯ МАТРИЦА.....	25
TABLE VII-A-1. SYMPTOM MATRIX	61
ТАБЛИЦА VII-A-1. МАТРИЦА СИМПТОМОВ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ	62
TABLE VII-A-2. POPULATED SYMPTOM MATRIX.....	61
ТАБЛИЦА VII-A-2. ЗАПОЛНЕННАЯ МАТРИЦА СИМПТОМОВ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ	62
TABLE VII-A-3. TRANSFORMATION MATRIX.....	63
ТАБЛИЦА VII-A-3. МАТРИЦА СООТВЕТСТВИЙ.....	64
TABLE VII-A-4. INTERMEDIATE MATRIX	63
ТАБЛИЦА VII-A-4. ПРОМЕЖУТОЧНАЯ МАТРИЦА.....	64
TABLE VII-A-5. ANALYSIS SIMPLIFICATION MATRIX	65
ТАБЛИЦА VII-A-5. МАТРИЦА УПРОЩЕНИЯ РАСЧЕТОВ.....	66
TABLE VII-A-6. ANALYSIS MATRIX	67
ТАБЛИЦА VII-A-6. МАТРИЦА РАСЧЕТОВ.....	68
TABLE VII-B-1. SYMPTOM DEVELOPMENT	69
ТАБЛИЦА VII-B-1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИМПТОМОВ	70
TABLE VII-B-2. BOUNDING ASSUMPTION DEVELOPMENT	71
ТАБЛИЦА VII-B-2. РАЗРАБОТКА ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДОПУЩЕНИЙ	72

ACRONYMS & ABBREVIATIONS / АББРЕВИАТУРА И СОКРАЩЕНИЯ

AFW	- Auxiliary Feed Water	ВПЭН, АП(Э)Н	- вспомогательный питательный насос; аварийный (электро-) питательный насос
ATWS	- Anticipated Transient Without Scram	«А-Т-В-С»	- несрабатывание аварийной защиты реактора
AS	- Accident Sequence		- аварийная последовательность
AZ-1,2,3,4	- Scram-1, -2, -3, -4	A3-1,2,3,4	- аварийная защита-1, -2, -3, -4
BDBA	- Beyond Design Basis Accident		- запроектная авария, тяжелая авария
BRU-A	- Steam Dump Valve to Atmosphere	БРУ-А	- быстродействующее редуцирующее устройство сброса пара в атмосферу
BRU-K	- Steam Dump Valve to Turbine Condenser	БРУ-К	- быстродействующее редуцирующее устройство сброса пара в конденсатор
C	- Celsius or Centigrade	С, Ц	- со шкалой Цельсия
CET	- Core Exit Thermocouple		- термopара на выходе из кассеты
CSF	- Critical Safety Function	КФБ	- критическая функция безопасности
CVCS	- Chemical & Volume Control System		- система подпитки и борного регулирования
DBA	- Design Basis Accident	ПА	- проектная авария
DBE	- Design Basis Event		- исходное событие, приведшее к возникновению проектной аварии
DG	- Diesel Generator	ДГ	- дизель-генератор
ECC	- Emergency Core Coolant		- аварийный запас теплоносителя первого контура
ECCS	- Emergency Core Cooling System	CAO3	- система аварийного охлаждения активной зоны
ECFS	- Emergency Core Flooding System		- система залива активной зоны
EFW	- Emergency Feed Water	АПЭН, ДАПЭН	- аварийный (электро-) питательный насос, дополнительный аварийный (электро-)питательный насос
EOP	- Emergency Operating Procedure	СОАИ	- аварийная инструкция, аварийные действия—в частности, симптомно-ориентированные аварийные инструкции
ESF	- Engineered Safety Feature		- инженерно-технические средства безопасности
ET	- Event Tree		- дерево событий
F	- Fahrenheit	F	- со шкалой Фаренгейта
FASIV	- Fast Acting Steam Isolation Valve	БЗОК	- быстродействующий запорно-отсечной клапан
FPB	- Fission Product Barrier		- барьер продуктов деления
FRP	- Functional Recovery Procedure		- инструкции по восстановлению КФБ
HIS	- Human - System Interaction		- взаимодействие человек-система
HPI	- High Pressure Injection	НАП	- насос аварийной подпитки, аварийная подпитка
HPIS	- High Pressure Injection System	CAO3 ВД	- система CAO3 высокого давления
IAEA	- International Atomic Energy Agency	МАГАТЭ	- Международное агенство по вопросам атомной энергетики
IE	- Initiating Event	ИС	- исходное событие

INSP	- International Nuclear Safety Program	МПЯБ	- Международная программа по ядерной безопасности
KNPP	- Kozloduy Nuclear Power Plant (Bulgaria)		- АЭС “Козлодуй” (Болгария)
L	- Level	L	- уровень
LLOCA	- Large LOCA		- большая течь
LBLOCA	- Large Break LOCA		- большая течь
LOAC	- Loss of Alternating Current (Station Blackout)		- отказ электропитания переменного тока (обесточивание энергоблока)
LOCA	- Loss of Coolant Accident		- течь; разрыв трубопровода; авария с разрывом контура циркуляции; авария с разрывом трубопровода; авария с течью 1-го контура; авария с течью по 1-ому контуру
LOFW	- Loss of Feedwater		- потеря питводы; авария с потерей ПВ
LOOP	- Loss of Off-site Power		- потеря внешнего питания
LPI	- Low Pressure Injection	НОР	- насос охлаждения реактора; насосы низкого давления
LPIS	- Low Pressure Injection System	САОЗ НД	- система САОЗ низкого давления
M	- Mass Flowrate	M	- массоперенос
MCP	- Main Coolant Pump	ГЦН	- главный циркуляционный насос
MCR	- Main Control Room	БЩУ	- блочный щит управления
MFW	- Main Feedwater	ПВ, ПН	- основная питательная вода; питательный насос; насосы основной питводы
MGV	- Main Gate Valve	ГЗЗ	- главная запорная задвижка
MLOCA	- Medium LOCA		- средняя течь
MSLB	- Main Steam Line Break		- разрыв острого пара
NC	- Natural Circulation	ЕЦ	- естественная циркуляция
NPP	- Nuclear Power Plant	АЭС	- атомная электростанция
P	- Pressure	P	- давление
PCT	- Peak Cladding Temperature		- максимальная температура оболочки твэла
PORV	- Pilot Operated Relief Valve	“ПОРВ”	- сбросной клапан, блокировочный клапан, регулирующий клапан сброса давления
PNNL	- Pacific Northwest National Laboratories	ТСЗНЛ	- Тихоокеанская северо-западная национальная лаборатория США
PRV	- Pressure Relief Valve	ПК	- предохранительный клапан
PRZ	- Pressurizer	КД	- компенсатор давления
PTS	- Pressurized Thermal Shock	ТУ	- тепловой удар, “термошок”, температурный удар
PSA	- Probabilistic Safety Analysis or Assessment	ВАБ	- вероятностный анализ безопасности; вероятностная оценка безопасности АЭС
PWR	- Pressurized Water Reactor	РВД (ВВЭР)	- реактор с водой под давлением (водо-водяной энергетический реактор)
Q	- Power or Heat Generation Rate	Q	- мощность или уровень тепловыделений
RCS	- Reactor Coolant System	1к	- первый контур; система теплоносителя
RELAP	- Reactor Excursion and Leak Analysis Program (computer code)	RELAP	- программа анализа течей и всплеска мощности реактора (компьютерный код)

RHR	- Residual Heat Removal		- отвод остаточного тепловыделения
RNPP	- Rivne Nuclear Power Plant (Ukraine)	РАЭС	- Ровенская АЭС (Украина)
Rx	- Reactor	РУ	- реакторная установка; реактор
RxVsl	- Reactor Vessel		- корпус реактора
SAIC	- Science Applications International Corporation	“САИК”	- Международная корпорация прикладной науки
SF	- Safety Function	ФБ	- функция безопасности
SG	- Steam Generator	ПГ	- парогенератор
SRV	- Safety Relief Valve		- разгрузочно-предохранительный клапан, обеспечивающий целостность корпуса реактора; предохранительный клапан высшей надежности
SI	- Safety Injection	САП	- система аварийной подпитки
SLOCA	- Small LOCA		- малая течь
SBLOCA	- Small Break LOCA		- малая течь
T_{ave}	- Average Reactor Coolant Temperature	T_{ср}	- средняя температура теплоносителя
TBD	- Technical Basis Document		- расчетное обоснование, техническое обоснование
T-H	- Thermal-Hydraulic		- теплогидравлика, теплогидравлический
VNIIAES	- Russian Institute for Nuclear Power Plant Operations	ВНИИАЭС	- ВНИИ атомных электростанций
VVER	- Soviet-designed Pressurized Water Reactor	ВВЭР	- водо-водяной энергетический реактор;
WANO	- World Association of Nuclear Operators	ВАО АЭС	- Всемирная ассоциация операторов АЭС
YR	- Emergency Off-gas System	YR	- аварийное газоудаление YR на ББ
ZNPP	- Zaporizhzhе Nuclear Power Plant (Ukraine)	ЗАЭС	- Запорожская АЭС (Украина)

GLOSSARY / СЛОВАРЬ

NOTICE: In order to afford a coherent nomenclature the terminology provided below is purposefully defined within the specific context of the subject matter of this document. The connotations may not be generically applicable outside of this context.

ВНИМАНИЕ! В целях предоставления последовательной системы номенклатуры, нижеследующая терминология нарочно определяется лишь в рамках тематики настоящего документа. Возможно, отраженные в этих определениях нюансы не применимы в любом другом контексте.

<p>Acceptance Criterion - An established parameter magnitude or threshold value that if not violated ensures the integrity of a fission product barrier.</p>	<p>Приемочный критерий Установленное значение параметра или пороговой величины, при непревышении которых обеспечивается сохранность барьера продуктов распада.</p>
<p>Alternative Action Case - A reference calculation implementing alternative success criteria subsequent to the time after which the principal success criteria would no longer be effective in averting loss of the CSF.</p>	<p>Расчет эффективности альтернативных действий Базовый расчет, посредством которого устанавливаются альтернативные критерии устранения опасности, вступающие в силу после того, как основные критерии устранения опасности перестали действовать во избежание нарушения КФБ.</p>
<p>Analysis - The process and/or product of verifying, validating, evaluating and interpreting the results of a computer simulation with regard to a specific objective; the written report that documents same.</p>	<p>Расчетное обоснование Процесс и(или) результат проверки, подтверждения, оценки и интерпретации примера компьютерного моделирования по отношению к достижению определенной цели, а также отчет, в котором описывается последнее.</p>
<p>Anticipated Event - A transient initiating event whose event frequency is high enough that it is expected to occur during the life of the plant</p>	<p>Ожидаемое событие Исходный переходный процесс, частотность которого достаточно велика, чтобы такое событие ожидалось в течение ресурса энергоблока.</p>
<p>Anticipated Transient Without SCRAM (ATWS) - A hypothetical initiating event or scenario that postulates failure of the SCRAM mechanism during an anticipated event.</p>	<p>Ожидаемый переходный процесс с отказом АЗ реактора Гипотетическое исходное событие или аварийный процесс, в котором постулируется отказ АЗ реактора во время протекания ожидаемого события.</p>
<p>Availability - The state of readiness of a component or system to perform its design function; the specific number of a particular redundant component in service; the fractional design capacity of a system in service.</p>	<p>Исправность, работоспособность, готовность к эксплуатации Состояние готовности агрегата или системы выполнять проектную задачу; определенное количество работоспособных одинаковых по назначению агрегатов; или процентное значение проектной производительности, достигаемой в данный момент конкретной системой.</p>
<p>Base Case - A reference calculation that imposes success criteria exclusive of operator actions.</p>	<p>Базовый расчет Базовый случай, посредством которого устанавливаются критерии устранения опасности в отсутствии вмешательства оперативного персонала.</p>

<p>Beyond Design Basis Event - Hypothetical accident scenario in which the Engineered Safety Features (ESFs) alone are insufficient to avert core damage due to multiple failures and/or operator errors.</p>	<p>Запроектная (тяжелая) авария Гипотетический аварийный процесс, который из-за наложения отказов или ошибок персонала нельзя устранить без повреждения активной зоны исключительно за счет инженерно-технических средств безопасности.</p>
<p>Bounding - Most limiting with respect to a stated objective; complete and comprehensive from the standpoint of encompassing all lesser related considerations and/or circumstances with respect to the stated objective.</p>	<p>Граничный, огибающий, ограничивающий Самый ограничивающий с точки зрения определенной цели, полный и всеобъемлющий с позиции охвата всех менее жестких факторов и(или) условий, связанных с данной целью.</p>
<p>Bounding Assumptions - The most limiting initial conditions and/or time varying boundary conditions in terms of magnitude, equipment availability, and/or response time which imposes the greatest challenge to critical safety function maintenance.</p>	<p>Ограничивающие допущения Самые ограничивающие исходные условия и(или) зависящие от имеющегося времени граничные условия с точки зрения степени серьезности, работоспособности оборудования и(или) времени принятия ответных действий, которые ставят КФБ под наибольшую угрозу.</p>
<p>Bounding Circumstance - An event or condition inherent to a bounding scenario which determines bounding plant response.</p>	<p>Ограничивающая ситуация Событие или условие, присущее огибающему сценарию, которым определяется ограничивающая реакция реакторной установки.</p>
<p>Bounding Plant Response - The most limiting plant transient behavior in terms of maintaining a particular CSF.</p>	<p>Ограничивающая реакция реакторной установки Самый ограничивающий с точки зрения поддержания определенной КФБ переходный процесс.</p>
<p>Bounding Response Criteria - The parameters which determine the limiting magnitude of a phenomenon governing bounding plant response.</p>	<p>Критерии граничных реакций Параметры, которые определяют огибающую способность феномена, управляющего ограничивающей реакцией реакторной установки.</p>
<p>Bounding Response Surface - The phenomena-dependent topology of a condition or circumstance governing the bounding plant response.</p>	<p>Поверхность граничных реакций Топология условия или ситуации, зависящая от конкретных феноменов и управляющая ограничивающей реакцией реакторной установки.</p>
<p>Bounding Scenario - The most limiting scenario in terms of imposing the most adverse conditions relative to critical safety function maintenance.</p>	<p>Огибающий сценарий Самый ограничивающий сценарий с тем, что устанавливаются самые неблагоприятные условия с точки зрения попытки поддержать КФБ.</p>
<p>Bounding Symptomology - Study of the most adverse exhibition of conditions threatening CSF maintenance.</p>	<p>Ограничивающая симптомология Изучение ситуации, характеризующейся самыми неблагоприятными условиями с точки зрения попытки поддержать КФБ.</p>
<p>Bounding Transient Response Modes (aka "Bounding Modes") - Transients that bound the plant response in terms of challenging the respective CSFs.</p>	<p>Огибающие категории реакции на отдельные переходные процессы (то же самое, как «Огибающие режимы») Переходные процессы, которые огибают реакцию энергоблока с тем, что соответствующие КФБ ставятся под максимальную угрозу.</p>

<p>Calculation - A single uninterrupted computer simulation; the product of a series of connected computer simulations taken together.</p>	<p>Расчет Единичный непрерывный случай компьютерного моделирования или итоговая продукция целого ряда взаимосвязанных случаев компьютерного моделирования, вместо взятых.</p>
<p>Case - A specific complete computer simulation for a given scenario.</p>	<p>Случай Конкретные результаты завершеного компьютерного моделирования определенного сценария.</p>
<p>Conservatism - A bias or gain applied to a physical process or phenomenon which challenges critical safety function maintenance to a greater extent.</p>	<p>Консерватизм Неопределенный коэффициент ужесточения условий физического процесса или феномена с тем, чтобы еще больше ставить под угрозу возможность поддержания КФБ.</p>
<p>Containment - The structural components that house the NSSS; the fission product barrier that functions to limit radioactive release from the NSSS to the environment; the hermetically sealed envelope that collects and cools lost coolant.</p>	<p>ГО: гермооболочка, гермозона, «контайнмент» Конструктивные элементы, которые составляют помещения для размещения ЯППУ; тот барьер продуктов деления, который ограничивает возможность поступления радиоактивных выбросов в окружающую среду; герметичная оболочка, внутри которой накапливается и застывает утекший теплоноситель.</p>
<p>Coolant - The fluid medium which moderates and cools the nuclear reactor core; in the case of PWRs – water.</p>	<p>Теплоноситель-замедлитель Жидкая среда, которая охлаждает активную зону реактора и замедляет находящиеся в ней нейтроны. Что касается реакторов типа ВВЭР (РВД), соответствующей средой является вода.</p>
<p>Critical Safety Function (CSF) - A specific plant process or control mechanism which functions to ensure maintenance of fission product barrier integrity.</p>	<p>КФБ: критическая функция безопасности Определенный техпроцесс энергоблока или управляющий механизм, который обеспечивает поддержание целостности барьера продуктов деления.</p>
<p>Dependent Failure - Non-availability of a component or capability due to the nature of the initiating event (e.g., electrical fire disabling power to a control system for a valve or pump).</p>	<p>Зависимый отказ Неработоспособность агрегата или нарушение технической возможности энергоблока, вызванные природой исходного события (напр., пожар в системе электропитания выводит из строя систему управления арматурой или насосом).</p>
<p>Design Basis Event - Hypothetical accident scenario from which the engineered safety features are designed to automatically prevent core damage using only safety grade components, with an assumed single failure, and no operator action except switchover to containment sump recirculation.</p>	<p>Проектная авария, а также и исходное событие, приведшее к возникновению проектной аварии Гипотетический аварийный процесс, который устраняется без повреждения активной зоны посредством инженерно-технических средств безопасности исключительно с помощью агрегатов наивысшей надежности, предполагая наличие единичного отказа и отсутствие вмешательства оперативного персонала за исключением перехода на рециркуляцию через прямую ГО.</p>

<p>Emergency Core Coolant (ECC) - Coolant supplied by ESF components that functions to replace lost primary coolant inventory during an accident.</p>	<p>Аварийный запас теплоносителя первого контура Запас теплоносителя, поступающего в 1 контур через инженерно-технические средства безопасности, который заменяет утекший в течение аварии объем теплоносителя 1 контура.</p>
<p>Emergency Core Coolant System (ECCS) - The organization of ESF components designed to supply ECC under various conditions.</p>	<p>САОЗ: система аварийного охлаждения зоны Комплект агрегатов инженерно-технических средств безопасности, предназначенный для подачи аварийного запаса теплоносителя при различных условиях.</p>
<p>Emergency Operating Procedure (EOP) - An EOP is a procedure used to instruct the operator on how to effect positive plant control in transitioning from automatic safety system actuation, or lack/malfunction thereof, to a stable plant end state in the event of an unexpected plant transient or emergency.</p>	<p>Аварийные инструкции, аварийные действия, СОАИ Аварийные инструкции— это регламент действий, указывающий оператору, как привести энергоблок в управляемое состояние при переходе от условий срабатывания автоматизированных систем безопасности, или в отсутствие надлежащего срабатывания этих систем, к условиям безопасной эксплуатации реакторной установки в случае возникновения неожиданного переходного процесса или чрезвычайного происшествия.</p>
<p>Engineered Safety Features (ESFs) - Equipment that functions to prevent exceeding design limits.</p>	<p>Инженерно-технические средства безопасности Оборудование, предназначенное для предотвращения случая превышения проектных пределов.</p>
<p>Event Frequency - The statistical probability that a particular event will occur.</p>	<p>Частотность возникновения события Математическая вероятность определенного события.</p>
<p>Failed System Case - A reference calculation withholding key success criteria in order to deliberately effect loss of the CSF to determine the elapsed time to core damage.</p>	<p>Расчет с отказом системы Базовый расчет, при проведении которого нарочно не считаются ключевые агрегаты, необходимые для обеспечения поддержания КФБ, в целях определения промежутка времени до повреждения активной зоны.</p>
<p>Fission Product Barrier (FPB) - A physical barrier to the release of fission products to the environment afforded by the structural design of the plant.</p>	<p>Барьер продуктов деления Физический барьер, предоставляемый конструктивными элементами энергоблока и предотвращающий выброс продуктов деления в окружающую среду.</p>
<p>Fuel Cladding - The Zircalloy tubing which contains the enriched uranium fuel; the structural heat transfer interface between the fuel and the coolant; the structural barrier which prevents the release of fission products to the coolant.</p>	<p>Оболочка твэлов Трубки из циркониевого сплава, в которых содержится обогащенное урановое топливо; конструктивный интерфейс переноса тепла из топлива в теплоноситель; конструктивный барьер, предотвращающий поступление продуктов деления в теплоноситель.</p>
<p>Functional Recovery Procedure (FRP) - An EOP that instructs the operator on how to restore conditions conducive to re-establishment of a CSF.</p>	<p>Инструкции по восстановлению КФБ Аварийные инструкции, указывающие оператору, как создавать условия, которые приведут к восстановлению КФБ.</p>

<p>Induced Failure - A component failure, independent of the initiating event, caused by transient response exceeding the component's design serviceability (e.g., system over-pressurization resulting in repeated cycling and subsequent failure of a relief valve).</p>	<p>Спровоцированный отказ Независимый от исходного события отказ агрегата оборудования, происходящий в результате реакции на отдельные переходные процессы, превышающей проектные возможности агрегата (напр., из-за переопрессовки повторно открывается и закрывается предохранительный клапан, что постепенно приводит к его отказу).</p>
<p>Initiating Events - Plant systems failures, external events or human errors that lead to deviation from normal operation and can lead to violation of critical safety functions. Initiating events encompass all dependent failures.</p>	<p>ИС: исходное событие Отказы систем энергоблока, внешние события или ошибки персонала, которые приводят к отклонениям от нормальной эксплуатации блока и могут привести к нарушению критических функций безопасности. Под термином "исходное событие" подразумеваются также все зависимые от него отказы.</p>
<p>Inventory - Amount of coolant.</p>	<p>Запас теплоносителя (наполненность) Объем теплоносителя.</p>
<p>Large Break Loss-of-Coolant Accident (LBLOCA) - A hypothetical initiating event or scenario which postulates the double-ended rupture of a main coolant pipe.</p>	<p>Большая течь Гипотетическое исходное событие или аварийный процесс, в котором постулируется разрыв основного трубопровода с двусторонним истечением.</p>
<p>Loss-of Alternating Current (LOAC) - A hypothetical initiating event or scenario in which loss-of-offsite-power results in a total loss of all station alternating current due to postulated non-availability of all emergency diesel generators.</p>	<p>Отказ электропитания переменного тока (обесточивание энергоблока) Гипотетическое исходное событие или аварийный процесс, в котором потеря внешнего эл/снабжения приводит к полному отказу электропитания переменного тока в энергоблоке из-за постулированного незапуска всех аварийных дизель-генераторов.</p>
<p>Loss-of-Coolant Accident (LOCA) - A hypothetical initiating event or scenario which postulates coolant leakage due to RCS structural or component failure; also, the consequence of repeatedly cycling safety/relief valves.</p>	<p>Течь; разрыв трубопровода; авария с разрывом контура циркуляции; авария с разрывом трубопровода Гипотетическое исходное событие или аварийный процесс, в котором постулируются протечки теплоносителя из-за отказа оборудования первого контура или разрушения корпуса реактора; такое событие также может произойти в результате неоднократного повторного открытия и закрытия предохранительного клапана.</p>
<p>Lower Tier Scenarios - Supplemental bounding mode scenarios which account for different bounding mode circumstances.</p>	<p>Второстепенные сценарии Дополнительные огибающие сценарии, которые описывают дополнительные огибающие условия.</p>
<p>Margin to Saturation - The magnitude of the difference between the saturation temperature and prevailing temperature of a subcooled fluid.</p>	<p>Запас до температуры насыщения Величина разницы температуры насыщения и температуры окружающей жидкой среды.</p>

<p>Nuclear Steam Supply System (NSSS) - The structural components comprising the conjoined RCS and SCS pressure boundaries up to and including their first isolation valves outside containment; the fission product barrier which functions to confine radioactivity released from the fuel cladding.</p>	<p>ЯППУ: ядерная паропроизводящая установка Конструктивные элементы, составляющие совмещенные первый и второй контуры герметизации вплоть до первых отсечных клапанов вовне гермозоны; тот барьер продуктов деления, который локализует радиоактивное излучение, вышедшее за пределы оболочек ТВЭЛОВ.</p>
<p>Onset of Core Damage - For Zircalloy clad fuel, a peak cladding temperature of 2200F or 1200C.</p>	<p>Начало повреждения а.з. реактора Максимальная температура оболочки ТВЭЛОВ, которая для топлива в оболочке из циркониевого сплава равняется 2200°F (1200 °C).</p>
<p>Operator Action Case - A reference calculation that imposes success criteria based on simulated operator intervention to preserve/restore the CSF.</p>	<p>Расчет эффективности действий оператора Базовый случай, в котором подразумевается наличие критериев устранения опасности на основании вмешательства оперативного персонала в целях поддержания / восстановления КФБ.</p>
<p>Phenomenology - Study of the effects of the phenomena underlying plant transient behavior.</p>	<p>Феноменология Изучение последствий тех феноменов, на которых основывается протекание переходных процессов.</p>
<p>Pressurized Water Reactor (PWR) - A nuclear reactor design utilizing sub-cooled water as primary coolant.</p>	<p>РВД: реактор с водой под давлением (ВВЭР) Проект ядерного реактора, в котором в качестве теплоносителя первого контура используется вода с запасом до кипения.</p>
<p>Primary - A reference to the Reactor Coolant System.</p>	<p>Первый контур То же, что и «система теплоносителя первого контура».</p>
<p>Reactor Coolant System (RCS) - The network of structural components which confines and circulates coolant in direct contact with the reactor core; the primary side of the NSSS pressure boundary; the fission product barrier which confines radioactively contaminated primary coolant.</p>	<p>Система теплоносителя первого контура Цепочка конструктивных элементов, которые ограничивают движения циркулирующего теплоносителя в прямом соприкосновении с активной зоной реактора; первый контур герметизации ЯППУ; тот барьер продуктов деления, который локализует загрязненный радиоактивными веществами теплоноситель первого контура.</p>
<p>Safe End State - A stable, manageable state of the plant systems and components after an accident.</p>	<p>Безопасное конечное состояние установки Устойчивое и управляемое состояние агрегатов и систем энергоблока, достигаемое после локализации аварийной ситуации.</p>
<p>Safety-grade - A reference to the design environmental serviceability of a component meeting the highest safety design standard.</p>	<p>Наивысшей надежности Ссылка на то, что проектная работоспособность в условиях нарушения нормальной эксплуатации отвечает самым жестким требованиям по безопасности.</p>
<p>Saturated - The state of attaining saturation.</p>	<p>Насыщенный Относится к состоянию достигаемого насыщения.</p>
<p>Saturation - The condition appertaining to the boiling point temperature of a specific fluid for the prevailing pressure.</p>	<p>Насыщение Состояние, относящееся к температуре кипения определенной жидкости при существующем в системе давлении.</p>

Scenario - A postulated sequence of events imposing initial and time-varying boundary conditions for a particular initiating event, including normal plant automatic control functions, component malfunctions and operator actions.	Сценарий, аварийный процесс, протекание аварии Постулируемая последовательность событий, которые определяют исходные условия и зависящие от имеющегося времени граничные условия определенного исходного события, включая нормальные функции автоматического управления системами, сбой агрегатов и действия оперативного персонала.
Secondary - A reference to the Secondary Coolant System.	Второй контур То же, что и «система отвода тепла через второй контур».
Secondary Coolant System (SCS) - The network of structural components that confines and circulates coolant used to remove heat from the Reactor Coolant System via a steam generator; the secondary side of the NSSS pressure boundary; the fission product barrier which confines radioactively contaminated secondary coolant.	Система отвода тепла через второй контур Цепочка конструктивных элементов, которые ограничивают движения циркулирующего теплоносителя, используемого для отвода тепловыделений из первого контура через парогенератор; второй контур герметизации ЯППУ; тот барьер продуктов деления, который локализует загрязненный радиоактивными веществами теплоноситель второго контура.
Shut-off Head – The outlet pressure at which a centrifugal pump no longer produces flow.	Напор выключения насоса Давление на выходе центробежного насоса, при котором прекращается поток.
Small Break Loss-of-Coolant Accident (SBLOCA) – A hypothetical initiating event or scenario which postulates a crack in a main coolant pipe or fracture of a small diameter pipe.	Малая течь Гипотетическое исходное событие или аварийный процесс, в котором постулируется появление трещины в основном трубопроводе или излом малогабаритного трубопровода.
Station Blackout – See “Loss-of-Alternating Current”	Обесточивание АЭС, обесточивание энергоблока То же, что и “отказ электропитания переменного тока”.
Steam Generator (SG) - A boiler that uses primary-coolant-filled heat exchanger tubes to produce steam.	ПГ: парогенератор Котел, который производит пар посредством теплообменных трубок, наполненных теплоносителем первого контура.
Steam Generator Collector Rupture (SGCR) – A hypothetical initiating event or scenario which postulates partial or complete seal failure of the hot or cold side steam generator collector closure head.	Разрыв коллектора ПГ Гипотетическое исходное событие или аварийный процесс, в котором постулируется частичное или полное разуплотнение системы закрытия крышки коллектора ПГ с горячей или холодной стороны.
Steam Generator Tube Rupture (SGTR) – A hypothetical initiating event or scenario which postulates partial or complete rupture of a steam generator tube.	Течь из первого контура во второй Гипотетическое исходное событие или аварийный процесс, в котором постулируется частичный или полный разрыв трубки ПГ.
Sub-cooled – A reference to the prevailing fluid temperature being less than the saturation temperature.	С запасом до кипения, до вскипания, до кризиса, до кризиса кипения Относится к тому, что температура жидкости ниже температуры насыщения.
Sub-cooling – The thermodynamic state or condition of being subcooled; an expression of the margin to saturation.	Наличие запаса до кипения, до вскипания,, до кризиса, до кризиса кипения Термодинамическое состояние ненасыщенности; указание на наличие и величину запаса до кипения.

<p>Success Criteria – Minimum system performance, including operator actions, that will allow for successful critical safety function maintenance under the specific circumstances imposed by the scenario.</p>	<p>Критерии устранения опасности Минимальные показатели функционирования систем, с учетом действий оперативного персонала, устанавливающие условия, необходимые для успешного поддержания критических функций при определенных условиях, заданных в сценарии.</p>
<p>Symptom – A unique set of monitored plant parameter indications which manifests a disturbance in a specific plant process or control mechanism essential to CSF maintenance.</p>	<p>Симптом Уникальный набор показаний контролируемых параметров энергоблока, указывающий на нарушение определенного технологического процесса или механизма управления, необходимого для успешного поддержания критических функций безопасности.</p>
<p>Symptomology – Study of the exhibition of established symptoms.</p>	<p>Симптомология Изучение развития аварийного процесса на энергоблоке при наличии установленных симптомов.</p>
<p>Transient Event Classes – Groupings of initiating events based upon generic cause and effect relationships.</p>	<p>Классы переходных процессов Группировка исходных событий на основании причинно-следственных связей между ними.</p>
<p>Transient Response Classes – Sub-groupings of Transient Event Classes exhibiting similar phenomenology.</p>	<p>Классы реакций на отдельные переходные процессы Подгруппы классов переходных процессов, в которых наблюдается однородная феноменология.</p>

FOREWORD / ПРЕДИСЛОВИЕ

A methodology is similar to a philosophy. It is a way of thinking about how to approach an undertaking from a consistent point of view. A methodology must be understood and interpreted relative to the task at hand. It is not a recipe or formula to be applied directly. Rather, a methodology provides a framework from which to develop a plan to meet the objectives of the undertaking.

Что такое методика? Она похожа на идеологию. Это некая форма размышления о том, как следует подойти к конкретному мероприятию исходя из последовательной концепции. Методику необходимо понять и осмыслить по отношению к определенной задаче. Это не рецепт или формула для непосредственного применения; методика скорее дает общие рамки для разработки программы, предназначенной для достижения цели намеченного мероприятия.

I. INTRODUCTION / ВВЕДЕНИЕ

Emergency Operating Procedures (EOPs) provide guidance to a reactor plant operator in responding to plant transients. This guidance is intended to effect positive plant control through operator intervention should automatic safeguards actuation (i.e., scram or safety injection) not result in a safe, stable end state. EOPs must be analytically validated prior to implementation in order to provide the supporting technical justification that the prescribed operator actions are reasonable, effective and prudent.

I.1 EOP FORMATS / ТИПЫ АВАРИЙНЫХ ИНСТРУКЦИЙ

EOPs can be either event-based or symptom-based.

An event is defined as any deviation from normal plant operation due to a particular cause. Initiating events consist of plant system failures, such as leaks or malfunctions, external occurrences, such as electrical outages, and/or human errors.

A symptom is defined as the manifestation of a disturbance in a normal plant process essential to the preservation of the physical integrity of the plant. These manifestations take the form of observable deviations in normal plant operating parameter indications as evidenced by plant process instrumentation available in the control room.

I.1.A Event-Based Format / Событийно-ориентированные инструкции

Event-based EOPs are specific to the initiating event. There is a procedure pertaining to every initiating event classification (e.g., loss of main feedwater, small break loss-of-coolant, etc.). Proper application of these EOPs requires proper identification of the cause of the plant transient. The operator must first diagnose the cause of the transient before being able to implement the proper guidance.

I. ВВЕДЕНИЕ

Аварийные инструкции предназначены для оперативного персонала энергоблока в качестве руководства по аварийным действиям в случае возникновения переходных процессов на энергоблоке. Эти инструкции должны привести к энергоблок в управляемое состояние через вмешательство оператора в случае, если действия автоматических защитных устройств (т.е., останов реактора или срабатывание аварийной защиты) не приведет к безопасному, стабильному состоянию. До того, как эти аварийные инструкции будут введены, они должны пройти аналитическую валидацию, которая призвана подтвердить, что, с технической точки зрения, предписанные инструкциями действия оператора являются целесообразными, эффективными и разумными.

I.1 Типы Аварийных Инструкций

Аварийные инструкции могут быть событийно-ориентированными или симптомно-ориентированными.

Под событием понимается любое отклонение от нормальной работы энергоблока, вызванное той или иной причиной. Исходные события включают в себя отказы системы энергоблока, такие как течь или повреждения агрегатов, внешние обстоятельства, такие как перебои в подаче электроэнергии, и/или ошибки персонала.

Под симптомом понимается проявление нарушения в нормальном процессе энергоблока, необходимом для поддержания физической целостности энергоблока. Эти проявления принимают форму заметных отклонений показателей параметров нормального функционирования энергоблока, обнаруживаемых контрольно-измерительными приборами и аппаратурой, имеющимися на БЩУ (блочный щит управления).

I.1.A Событийно-ориентированные инструкции

Событийно-ориентированные аварийные инструкции ориентированы на конкретное исходное событие. Существует инструкция для каждого класса исходных событий (например, авария с потерей нормальной питводы, малая течь, и т.д.). Для правильного применения таких инструкций необходимо правильно определить причину, повлекшую за собой переходный процесс на энергоблоке. Оператор должен установить причину переходного процесса, прежде чем он сможет применить нужную инструкцию.

I.1.B Symptom-Based Format / Симптомно-ориентированные инструкции

Symptom-based EOPs are generic to the manifestations of the plant response to an initiating event. There is a generic procedure to mitigate challenges to the physical integrity of each barrier to fission product release. Once the operator has identified the abnormal plant response (i.e., symptoms), he can implement the proper guidance to mitigate the *effects* of the initiating event without having to identify the specific cause.

I.2 ANALYTICAL VALIDATION / АНАЛИТИЧЕСКАЯ ВАЛИДАЦИЯ

The systematic analytical validation of EOP operator guidance proceeds on the basis of the EOP format.

Event-based EOPs are validated by evaluating each procedure individually. Typically, this would require analysis of multiple scenarios for every initiating event to account for procedure-specific contingencies. There will also be as many procedures to validate as there are initiating event classifications. Therefore, a large number of scenarios will need to be analyzed.

Symptom-based EOPs are validated by evaluating procedures that maintain the processes essential to the integrity of barriers to fission product release. We call these processes Critical Safety Functions (CSFs). Typically, there are six CSFs: Subcriticality, Core Cooling, Coolant Inventory, Heat Sink, Reactor Plant Integrity, and Containment Integrity. Each CSF is supported by several symptomatic functional restoration procedures, called Functional Recovery Guides (FRGs), designed to return respective CSFs to within acceptable limits. Since the FRG operator actions are independent of the initiating event (i.e, generic), only the most limiting symptomatic challenges to each of the CSFs need be analyzed.

I.1.B Симптомно-ориентированные инструкции

Симптомно-ориентированные аварийные инструкции являются типовыми для всех видов нарушений условий нормальной эксплуатации энергоблока в результате исходного события. Существует типовая инструкция по ликвидации нарушений, ставящих под угрозу физическую целостность каждого барьера продуктов деления. Как только оператор обнаружил нарушение условий нормальной эксплуатации энергоблока (т.е. симптомы), он может применить соответствующее руководство по ликвидации *последствий* исходного события без определения конкретной причины, повлекшей за собой нарушение.

I.2 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ВАЛИДАЦИЯ

Проведение последовательной аналитической валидации аварийных инструкций зависит от типа аварийных инструкций.

Валидация событийно-ориентированных аварийных инструкций осуществляется путем индивидуальной оценки каждой инструкции. Обычно для этого требуется расчетное обоснование многочисленных сценариев для каждого исходного события, чтобы просчитать все возможные последствия применения инструкций. Кроме того, существует столько же инструкций, подлежащих валидации, сколько и существуют разные классы исходных событий. Соответственно, нужно будет подготовить расчетное обоснование для большого числа сценариев.

Валидация симптомно-ориентированных аварийных инструкций осуществляется путем оценки действий по поддержанию процессов, обеспечивающих целостность барьеров продуктов деления. Эти процессы называются критическими функциями безопасности (КФБ). Обычно выделяют шесть критических функций безопасности: «Подкритичность», «Зона» (охлаждение активной зоны), «Наполненность» (наличие запаса теплоносителя), «Теплоотвод», «Целостность» (контроль давления/температуры на энергоблоке) и «Гермообъем» (контроль отвода тепла от гермозоны/давления в гермозоне). В поддержку каждой КФБ существует несколько так называемых симптомно-ориентированных инструкций по восстановлению КФБ. Эти инструкции призваны возвращать показатели соответствующих КФБ на значения в допустимых границах. Поскольку действия оператора, пользующегося инструкциями по восстановлению КФБ, не зависят от исходного события (т.е. являются типовыми), в расчетах нуждаются только нарушения, наиболее угрожающие критическим функциям безопасности.

This results in a significant reduction in the number of required scenario analyses compared to event-based validation.

I.3 PURPOSE AND ORGANIZATION / НАЗНАЧЕНИЕ И СТРУКТУРА ДОКУМЕНТА

This document addresses a systematic approach to the analytical validation of symptom-based EOPs. Subsequent sections describe a methodology to define and perform the analyses necessary to analytically validate symptom-based EOPs for Soviet-designed Pressurized Water Reactors (VVERs).

Section II describes the basis for the approach.

Section III describes the development of the methodology.

Section IV describes the specification of the analyses.

Благодаря этому, по сравнению с валидацией событийно-ориентированных аварийных действий, значительно уменьшается количество сценариев, для которых необходимо расчетное обоснование.

I.3 НАЗНАЧЕНИЕ И СТРУКТУРА ДОКУМЕНТА

В этом документе предлагается подход к проведению последовательной аналитической валидации симптомно-ориентированных аварийных инструкций. Последующие разделы описывают методологию определения и проведения расчетов, необходимых при аналитической валидации симптомно-ориентированных аварийных инструкций для водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР), спроектированных в Советском Союзе.

В разделе II приведены основные положения подхода.

В разделе III описывается, как разрабатывалась методология.

Раздел IV посвящен определению расчетов.

II. APPROACH / ПОДХОД

The approach described in this document conforms to accepted industry standard practice in the United States.

II.1 BASIS / ОСНОВЫ МЕТОДИКИ

Within an operational safety context, the fundamental purpose of symptom-based EOPs is to prevent the release of radioactivity to the environment. Therefore, symptom-based EOP operator actions are designed to preserve the integrity of barriers to fission product release in maneuvering the plant to a safe, stable end state in the event of an unexpected transient. There are three discernable inherent plant design features which function to prevent the release of fission products to the environment. These design features are commonly referred to as fission product barriers (FPBs). They are listed in Table II-1.

Fuel Cladding
NSSS Pressure Boundary
Containment Pressure Boundary

TABLE II-1. FISSION PRODUCT BARRIERS

Therefore, symptomatic EOP analysis attempts to validate the efficacy of the operator actions in maintaining the integrity of the FPBs.

II.2 DEVELOPMENT / ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА

Symptom-based EOPs attempt to ascertain and maintain the viability of plant processes essential to preserving the integrity of FPBs. By identifying the mechanisms which control these plant processes, symptom-based EOPs establish supervisory functions to monitor the effectiveness of these processes in preserving FPBs. We call these mechanisms Critical Safety Functions (CSFs). Commonly accepted CSFs are presented in Table II-2.

II. ПОДХОД

Подход, описанный в настоящем документе, отвечает установившимся стандартам отраслевой практики США.

II.1 ОСНОВЫ МЕТОДИКИ

В условиях обеспечения безопасности эксплуатации АЭС, основным назначением симптомно-ориентированных аварийных инструкций является предотвращение сброса или выброса радиоактивных веществ в окружающую среду. Поэтому действия оператора, основанные на СОАИ, направлены на сохранение целостности барьеров продуктов деления при переводе энергоблока в стабильное и безопасное конечное состояние в случае возникновения неожиданного переходного процесса. Существует три основных проектных решения, функцией которых является предотвращение сброса или выброса радиоактивных веществ в окружающую среду. Достаточно часто эти проектные решения называются барьерами продуктов деления. Их перечисляют в Таблице II-1.

Оболочка твэлов
ЯПСУ
Гермозона (т.н. контеймент)

ТАБЛИЦА II-1. БАРЬЕРЫ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ

Следовательно, применением расчетно-аналитического обоснования СОАИ мы валидируем реальность (проводим проверку) действий оператора, направленных на поддержание целостности указанных барьеров продуктов деления.

II.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА

Разработка СОАИ направлена на определение и обеспечение жизнеспособность технических процессов на энергоблоке, которые являются критически важными для поддержания целостности барьеров продуктов деления. Определив механизмы, которые управляют этими техпроцессами, в СОАИ мы установим руководящие функции для контроля эффективности результатов, достигнутых благодаря этим техпроцессам при поддержании целостности барьеров продуктов деления. Такие механизмы называются критическими функциями безопасности (КФБ). В Таблице II-2 представлены общепринятые КФБ.

FUEL CLADDING INTEGRITY
Core Reactivity Control
Core Heat Removal
Coolant Inventory Control
NSSS PRESSURE BOUNDARY INTEGRITY
Primary Pressure Control
Primary Temperature Control
CONTAINMENT PRESSURE BOUNDARY INTEGRITY
Containment Pressure Control
Containment Heat Removal

TABLE II-2. CRITICAL SAFETY FUNCTIONS*

Symptom-based EOPs are validated by evaluating the efficacy of procedural guidance in maintaining the processes essential to preservation of the integrity of FPBs.

II.3 ANALYTICAL APPROACH / АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Symptomatic EOP analysis is accomplished by systematically evaluating the procedures using specialized thermal-hydraulic computer codes designed for nuclear reactor plant simulation. General considerations are shown in Table II-3.

PARAMETER	SPECIFICATION
Initiating Events	Loss of Safety Function Scenarios
Equipment Failures	Multiple
Operator Actions	As Necessary
Time Period of Interest	To Safe Shutdown
Key Results	Monitored Plant Parameters that Provide Symptoms of Safety Function Failure
Equipment Considered	Safety & Non-Safety Grade
Computer Codes & Analytical Tools	Nuclear Industry Recognized; Safety & Non-Safety Grade
Plant Conditions & Performance	Realistic
Correlations And Models	Best-Estimate
Automatic Actuation	Realistic Delay
Calculations Per Scenario	As Needed

TABLE II-3. GENERAL CONSIDERATIONS.

* In the Westinghouse EOP paradigm, Reactor Coolant System Integrity and Containment Integrity are commonly referred to as Critical Safety Functions within an operational context. From an analytical perspective this reference is a misnomer. Preservation of fission product barrier integrity *results* from maintenance of the respective Critical Safety Functions. The Critical Safety Functions shown in this table represent commonly accepted mechanisms that function to preserve the integrity of the fission product barriers.

Целостность оболочки твэлов
Контроль реактивности а.з.
Отвод тепла от а.з.
Компенсация объема теплоносителя
Целостность ЯППУ
Контроль давления первого контура
Контроль температуры
Целостность гермозоны
Контроль давления в гермозоне
Отвод тепла от гермозоны

ТАБЛИЦА П-2. КРИТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ *

Симптомно-ориентированные аварийные инструкции валидируются путем оценки эффективности предписанных в них действий при попытках поддержать те процессы на энергоблоке, которые являются критически важными при поддержании целостности барьеров продуктов деления.

П.3 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Расчетно-аналитическое обоснование СОАИ осуществляется путем проведения последовательного анализа инструкций с помощью специализированных теплогидравлических компьютерных программ, которые были разработаны для моделирования ядерного энергоблока. Общие соображения, рассматриваемые в этом процессе, приведены в Таблице П-3.

ПАРАМЕТР	ОПРЕДЕЛЕНИЕ
Рассматриваемые исходные события	Сценарии с нарушением критических функций безопасности
Отказ оборудования	Наложение отказов
Действия оператора	По мере возникновения необходимости
Рассматриваемый срок	До безопасного останова
Ключевые результаты	Контролируемые параметры энергоблока, обнаруживающие симптомы нарушений функций безопасности
Рассматриваемые агрегаты	Агрегаты наивысшей надежности и агрегаты промышленной надежности
Компьютерные программы и инструменты анализа	Принятые в отрасли; относятся к агрегатам наивысшей надежности и агрегатам промышленной надежности
Условия и показатели работы энергоблока	Реальные
Соотношения и модели	Реалистичные
Действия автоматических защитных устройств	С реальной задержкой перед запуском
Количество расчетов для каждого сценария	Сколько потребуется

ТАБЛИЦА П-3. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

* В оперативных обсуждениях СОАИ, используемых на энергоблоках, где установлены реакторы с водой под давлением, спроектированные фирмой «Вестингаус», герметичность первого контура и герметичность контейнента (целостность гермооболочки) типично перечисляются среди критических функций безопасности. А с точки зрения расчетчика-аналитика, такая ссылка ошибочна. Сохранение целостности барьеров продуктов деления является результатом поддержания соответствующих критических функций безопасности. А названные в этой таблице критические функции представляют собой общепринятые механизмы, работоспособность которых как раз и сохраняет целостность барьеров продуктов деления.

In order to verify the efficacy of the operator guidance under the broadest possible range of circumstances, the analytical approach will be implemented using a bounding methodology. This implementation methodology imposes the most adverse (i.e., bounding) circumstances relative to the ability of the operator action strategy to maintain the respective CSF. This ensures the most comprehensive validation and verifies the broadest range of applicability of the operator guidance.

II.4 PROCEDURE / ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ

Thermal-hydraulic computer code calculations are performed to identify the symptoms available to the operator to diagnose challenges to the CSFs. The appropriate prescribed operator actions are then implemented analogously during the course of the transient simulation. Typical symptoms are shown in Table II-4.

FUEL CLADDING	NSSS PRESSURE BOUNDARY	CONTAINMENT PRESSURE BOUNDARY
Core Reactivity	Reactor Coolant System Integrity	Containment Integrity
<i>inadequate shutdown margin</i>	<i>loss of RCS P-T control</i>	<i>containment pressurization</i>
	<i>lack of SG heat transfer</i>	<i>inadequate containment cooling</i>
Core Heat Removal	<i>excessive RCS cooldown</i>	<i>high containment radiation</i>
<i>inadequate core cooling</i>	<i>imminent PTS</i>	<i>lack of RCS subcooling</i>
<i>loss of natural circulation</i>		<i>excessive RCS cooldown</i>
<i>lack of SG heat transfer</i>		
Coolant Inventory Control		
<i>lack of RCS subcooling</i>		
<i>loss of natural circulation</i>		

TABLE II-4. TYPICAL SYMPTOMS

Для того, чтобы свалидировать эффективность предписанных действий оператора в связи с самым широким возможным диапазоном условий, используется аналитический подход, основывающийся на методике огибающих режимов. Применение этой методики устанавливает самые неблагоприятные (т.е., огибающие) условия по отношению к способностям принятой стратегии действий оператора поддержать соответствующую КФБ. Тем самым обеспечивается самая тщательная валидация и проверяется самый широкий диапазон применимости предписанных действий оператора.

II.4 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ

Расчеты проводятся с помощью теплогидравлических компьютерных программ для того, чтобы определить симптомы, информация о которых доступна оператору в целях диагностирования угроз КФБ. Затем в течение процесса моделирования аварии аналогично выполняются соответствующие предписанные действия оператора. В Таблице II-4 приведены типичные симптомы.

Оболочка твэлов	ЯЩУ	Гермозона
Реактивность а.з.	Целостность первого контура	Целостность гермозоны
<i>недостаточный запас до кипения</i>	<i>потеря контроля давления и температуры 1-го контура</i>	<i>повышение давления в гермозоне</i>
	<i>отсутствие переноса тепла через ПГ</i>	<i>недостаточное охлаждение гермозоны</i>
Отвод тепла от активной зоны	<i>превышение скорости расхолаживания 1-го контура</i>	<i>высокий уровень радиации в гермозоне</i>
<i>недостаточное расхолаживание зоны</i>	<i>надвигающийся тепловой удар</i>	<i>нарушение условий по запасу до кипения</i>
<i>срыв естественной циркуляции</i>		<i>превышение скорости расхолаживания 1-го контура</i>
<i>отсутствие переноса тепла через ПГ</i>		
Компенсация объема теплоносителя		
<i>нарушение условий по запасу до кипения</i>		
<i>срыв естественной циркуляции</i>		

ТАБЛИЦА II-4. Типичные Симптомы

II.4.A Assumptions / Допущения (предположения)

Symptomatic EOP analysis is performed using a realistic, best-estimate approach so as not to distort the simulated representation of the situation confronting the operator. A bounding implementation methodology is used.

II.4.A.1 Initial Conditions / Исходные условия

Bounding best-estimate initial conditions are used. Sample initial conditions are provided in Table II-5.

Initial Condition	Specification
Pre-Trip Core Power	100%
Initial RCS Pressure	Nominal
Initial RCS Temperature	Nominal
Initial SG Level	Bounding
Fuel Power Peaking	Design Limits
RCS and Core Flow Rate	Nominal

TABLE II-5. SAMPLE INITIAL CONDITIONS

II.4.A.2 Boundary Conditions / Граничные условия

Bounding best-estimate boundary conditions are used. Sample boundary conditions are provided in Table II-6.

Boundary Condition	Specification
Core Decay Heat	Best-estimate
Control Rod Scram	Bounding Considerations Apply
Scram Reactivity Curve	Bounding Considerations Apply
Core Reactivity Coefficients	Bounding Considerations Apply
Reactor Trip Setpoint	Nominal
Reactor Trip Delay	Realistic; Includes Sensing and Actuation Systems
Reactor Coolant And ECCS Pump Flow Curve	Bounding Considerations Apply
Valve Flow Performance	Bounding Considerations Apply

TABLE II-6. SAMPLE BOUNDARY CONDITIONS

II.4.A Допущения

Расчетно-аналитическое обоснование СОАИ осуществляется на основании реалистичного подхода для того, чтобы не исказить смоделированную ситуацию, представленную оператору. Применяется методика огибающих режимов.

II.4.A.1 Исходные условия

Применяются реалистичные огибающие исходные условия. В Таблице II-5 приводятся образцы возможных исходных условий.

Исходное условие	Определение
Мощность в момент срабатывания АЗ-1	100%
Исходное давление 1 контура	Номинальное
Исходная температура 1 контура	Номинальная
Исходный уровень в ПГ	Огибающий
Пиковая мощность	Проектная
Расход теплоносителя в корпусе реактора и в активной зоне	Номинальный

ТАБЛИЦА II-5. ОБРАЗЦЫ ВОЗМОЖНЫХ ИСХОДНЫХ УСЛОВИЙ

II.4.A.2 Граничные условия

Используются огибающие реалистичные граничные условия. В Таблице II-6 приводятся образцы возможных граничных условий.

Граничное условие	Определение
Остаточное тепло в а.з.	Реалистичная оценка
Система СУЗ	Применяются огибающие условия
Кривая реактивности при аварийном останове реактора	Применяются огибающие условия
Коэффициенты реактивности	Применяются огибающие условия
Уставка срабатывания АЗ	Номинальная
Задержка при срабатывании АЗ	Реалистичная оценка с учетом систем съема информации и формирования сигнала
Кривые расхода через а.з. и насосы САОЗ	Применяются огибающие условия
Показания датчика расхода через арматуру	Применяются огибающие условия

ТАБЛИЦА II-6. ОБРАЗЦЫ ВОЗМОЖНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

II.4.B Validation Criteria / Критерии валидации

Symptomatic EOP analysis principally addresses the effectiveness and timing of the prescribed operator actions in averting loss of the CSF, subsequent FPB damage, and consequential fission product release. The analysis must proceed from the point of view of the information available to the operator in the control room.

II.4.C Acceptance Criteria / Приемочные критерии

The overall acceptance criterion for EOP validation is averting the onset of FPB damage. For fuel cladding integrity, the acceptance criterion is maintenance of the maximum peak cladding temperature below 1200°C for zircalloy clad fuels. For NSSS or containment integrity, the acceptance criteria are maintenance of the respective system peak pressure and temperature below corresponding design stress limits.

II.4.D Transient Termination Criteria / Критерий окончания расчетов

The thermal-hydraulic simulations must be carried out until a safe shutdown state is achieved. The two most common transient simulation termination criteria are simulated hot shutdown or simulated cold shutdown. Hot shutdown is mainly specified for initiators with an intact reactor coolant boundary, while cold shutdown is generally specified for Loss-of-Coolant Accidents (LOCAs).

Safe shutdown for non-LOCA transients includes:

1. subcriticality greater than 2% of reactivity on rods and/or boron;
2. reactor coolant system (RCS) pressure stable;
3. steam generator heat removal being provided;
4. primary pressure exceeds LPIS pump discharge head, and
5. RCS pressure boundary intact with no further challenges expected for the remainder of the transient.

II.4.B КРИТЕРИИ ВАЛИДАЦИИ

В общем расчетно-аналитическое обоснование СОАИ относится к эффективности и срокам исполнения предписанных действий персонала при попытке предотвращения нарушения критических функций безопасности с последующими повреждениями барьеров продуктов деления и, в результате данных повреждений, продуктов деления в окружающую среду. Проведение расчетного обоснования базируется на рассмотрении той информации, которая доступна оператору на БЩУ.

II.4.C Приемочные критерии

Приемочный критерий при валидации СОАИ, в самом общем смысле, основывается на предотвращении возникновения повреждений барьеров продуктов деления. Что касается целостности (герметичности) оболочек твэлов, в случае использования оболочек из циркониевого сплава, приемочным критерием является поддержание максимальной температуры оболочек ниже 1200°C. В отношении целостности ЯППУ и контайнмента, приемочным критерием является поддержание максимального давления и температуры соответствующих систем ниже предельных (максимально допустимых) значений, установленных для этих параметров в проекте.

II.4.D Критерий окончания расчетов

Моделирующие теплогидравлические расчеты должны проводиться до тех пор, пока не будет достигнуто состояние безопасного останова реакторной установки. Существуют два типичных критерия окончания моделирующих расчетов—моделирование горячего или холодного останова. Горячий останов применяется главным образом в случае тех исходных ситуаций, когда уцелели контуры герметизации, а холодный типично применяется в случае различного рода течей.

В случае переходных процессов при уцелевших первом и втором контурах, показателями состояния безопасного останова РУ являются:

1. Подкритичность за счет стержней СУЗ и(или) борной кислоты не менее 2% общей реактивности;
2. Давление первого контура—стабильное;
3. Обеспечен теплоотвод через парогенераторы;
4. Давление первого контура превышает напор на выходе из насосов НД системы САОЗ; и
5. Обеспечивается герметичность первого контура, никаких

дополнительных угроз в течение оставшегося времени до удовлетворения критериев окончания расчетов не ожидается.

If RCS integrity is lost (as a result of the initiating event or subordinate failures) then the endpoint must be cold shutdown. The definition for LOCA safe shutdown includes:

1. subcriticality greater than 2% of reactivity on rods and/or boron;
2. primary pressure less than LPIS pump discharge header;
3. core cooling being provided either by recirculation from the containment sump (for large LOCAs and medium LOCAs) or by the SGs, provided that the coolant inventory control being provided by high pressure emergency core cooling system or make-up system (for small LOCAs);
4. containment pressure stable;
5. containment heat removal being provided;
6. no further NSSS or containment boundary challenges expected.

II.5 PROCESS / ЭТАПЫ ПРОЦЕССА ВАЛИДАЦИИ СОАИ

A systematic approach to the analytical validation of symptom-based EOPs includes:

1. identification of critical safety functions essential to the maintenance of fission product barrier integrity;
2. identification of the symptoms which manifest an impending challenge to critical safety function maintenance;
3. development of a symptomatic methodology to delineate bounding plant transient response modes;
4. specification of bounding scenarios;
5. development of a systematic calculational approach consistent with the objectives of the methodology;
6. performance of thermal-hydraulic computer code calculations implementing the analytical methodology;
7. interpretation of the analytical results on the basis of information available to the operator;
8. application of the results to the validation of the proposed operator actions; and,
9. production of a Technical Basis Document justifying the proposed operator actions.

This process is described in subsequent sections.

В случаях разгерметизации первого контура (в результате исходного события или последующих отказов оборудования), конечная точка расчетов должна быть достижением стояночной реактивности. В случае возникновения течи, показателями состояния безопасного останова РУ являются:

1. Подкритичность за счет стержней СУЗ и(или) борной кислоты не менее 2% общей реактивности;
2. Давление первого контура ниже напор на выходе из насосов НД системы САОЗ;
3. Охлаждение активной зоны обеспечивается за счет рециркуляции через прямок контейнента (в случае больших и средних течей) или за счет ПГ с осуществлением управления системой компенсации объема теплоносителя со стороны насосов ВД САОЗ или систем подпитки и борного регулирования (в случае малых течей);
4. Давление под гермооболочкой—стабильное;
5. Обеспечен отвод тепла от гермозоны;
6. Не ожидается никаких дополнительных угроз герметичности ЯППУ или целостности гермооболочки.

II.5 ЭТАПЫ ПРОЦЕССА ВАЛИДАЦИИ СОАИ

Последовательный подход к аналитической валидации симптомно-ориентированных аварийных инструкции включает в себя следующее:

1. Определить критические функции безопасности, необходимые для поддержания целостности конкретного барьера продуктов деления;
2. Определить симптомы, которые выявляют потенциальную угрозу поддержанию критических функций безопасности;
3. Разработать симптомно-ориентированную методику для определения огибающих переходных режимов энергоблока;
4. Определить огибающие сценарии;
5. Разработать систематический подход к проведению расчетов, который соответствует целям и назначению выбранной методики;
6. Провести расчеты с помощью теплогидравлических компьютерных программ в целях применения расчетной методики;
7. Интерпретировать результаты расчетов на основании доступной оператору информации;
8. Валидировать предложенные действия оператора с помощью результатов расчетов;
9. Создать техническое обоснование, оправдывающее предложенные действия оператора.

Намеченные этапы процесса валидации СОАИ описываются ниже.

III. METHODOLOGY DEVELOPMENT / РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ

There are two inter-related objectives to be achieved during symptomatic EOP validation: an operational objective and an analytical objective. The operational objective is to demonstrate that the proposed operator guidance is reasonable, effective and prudent; that is, demonstrate that the prescribed symptomatic course of action works and does not result in any untoward or unanticipated consequences. The analytical objective is to accomplish the validation in a rigorous, systematic and justifiable manner; that is, accomplish the operational objective in a sound, thorough manner that addresses all reasonably attainable operational situations. A bounding implementation methodology lends itself to reconciling these objectives in an efficient and comprehensive manner.

III.1 BASIS / ОСНОВЫ МЕТОДИКИ

The methodology development begins with identification of the symptoms associated with challenges to the Critical Safety Functions (CSFs).

Fission Product Barrier:	Fuel Cladding					
Critical Safety Function:	Core Heat Removal					
Plant Process:	Primary-to-Secondary Heat Transfer					
Symptoms:	Excessive heat transfer			Inadequate heat transfer		
Causes:	MSLB	Overfeed	etc...	head bubble	LOFW	etc...
Indications:	$\downarrow T_{ave}$	$\downarrow T_{ave}$		$\uparrow T_{CETs}$	$\uparrow T_{CETs}$	
	$\downarrow P_{RCS}$	$\downarrow P_{RCS}$		low L_{RxVsl}	$\uparrow P_{pZr}$ & $\uparrow L_{pZr}$	
	$\uparrow Q_{Rx}$	$\uparrow Q_{Rx}$		$P_{SG} \neq f(T_{pri})$	$P_{SG} \neq f(T_{pri})$	
	high M_{stm}	high L_{SG}		$\uparrow L_{pZr}$ as $\downarrow P_{pZr}$	low L_{SG}	

TABLE III-1. SYMPTOM DEVELOPMENT

We then cross-reference these symptoms to a list of all possible transient event classes (e.g., SBLOCA, LBLOCA, LOFW, etc...) in constructing a **Symptom Matrix**.

III. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ

В процессе валидации СОАИ преследуются две взаимосвязанные цели. Одна относится к эксплуатации энергоблока, вторая к проведению расчетного анализа. Эксплуатационная цель служит доказательством того, что предложенные действия оператора являются целесообразными, эффективными и разумными. Другими словами, предоставляется гарантия того, что предписанный подход к выполнению задачи сработает и не приведет к каким-либо неблагоприятным или неожиданным последствиям. Желаемым результатом расчетного анализа является осуществление валидации СОАИ строгим, систематическим и оправдываемым образом. Эксплуатационную цель следует проводить обоснованным и тщательным образом, учитывая все реально существующие ситуации, которые могут возникнуть на действующем энергоблоке. Методика огибающих режимов служит эффективным и всеобъемлющим средством совмещения вышеуказанных целей.

III.1 ОСНОВЫ МЕТОДИКИ

Разработка методики СОАИ начинается с определения тех симптомов, которые ведут к возможному нарушению критических функций безопасности (КФБ).

Барьер продуктов распада	Оболочка ТВЭЛОВ					
Критическая функция безопасности	Теплоотвод					
Технологический процесс	Перенос тепла из 1к во 2к					
Симптомы	Превышение теплоотвода			Недостаточность теплоотвода		
Причины	Разрыв острого пара	Перепитка	и т.п.	Паровая подушка в верхнем блоке	Потеря питводы	и т.п.
Индикаторы (уникальный набор показателей)	$\downarrow T_{cp}$	$\downarrow T_{cp}$		$\uparrow T_{на\ выходе\ из\ кассеты}$	$\uparrow T_{на\ выходе\ из\ кассеты}$	
	$\downarrow P_{1к}$	$\downarrow P_{1к}$		низкий $L_{корп}$	$\uparrow P_{кд} \& \uparrow L_{кд}$	
	$\uparrow Q_{пу}$	$\uparrow Q_{пу}$		$P_{пг} \neq f(T_{1к})$	$P_{пг} \neq f(T_{1к})$	
	повышенный $M_{пар}$	повышенный $L_{пг}$		$\uparrow L_{кд} \text{ при } \downarrow P_{кд}$	низкий $L_{пг}$	

ТАБЛИЦА III-1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИМПТОМОВ

Затем мы составляем соответствия намеченных симптомов всевозможным категориям переходных процессов (напр. Малая течь, Большая течь, Авария с потерей питводы, и т. п.) в целях создания матрицы симптомов аварийных режимов.

<i>Transient Event Classes</i>	.....<i>S y m p t o m s</i> (<i>hypothetical - for illustration only</i>)			
	loss of subcooling	excessive cooldown	lack of SG heat transfer	<i>etc. . . .</i>
small break	X		X	
large break	X		X	
steam leak		X		
loss of feed	X		X	
overfeed		X		
<i>etc.</i> ⋮ ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮ ⋮

TABLE III-2. SYMPTOM MATRIX DEVELOPMENT
(entries denote symptoms associated with initiating events)

III.2 DEVELOPMENT / РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ

By collecting the symptoms, with their associated event classes, under the appropriate CSF headings, we are then able to correlate the CSFs to the appropriate EOP Functional Recovery Procedures (FRPs) by event class.

By expanding upon the phenomenology underlying the event classes, we are then able to differentiate the event classes into *transient response classes* in constructing the **Intermediate Matrix**. For example, in the case of the SBLOCA, we were able to differentiate three plant response modes based upon the relative magnitudes of the composite heat sinks (Q_1) and heat sources (Q_2) depending on the size of the break:

- S_1 – RCS repressurization ($Q_1 < Q_2$);
- S_2 – RCS pressure equilibration ($Q_1 \approx Q_2$); and,
- S_3 – RCS depressurization ($Q_1 > Q_2$).

Категории переходных процессов	.....С и м п т о м ы (гипотетические—только в качестве примера)			
	нарушение условий по запасу до кипения	превышение скорости расхолаживани я 1-го контура	отсутствие переноса тепла от а.з. реактора через ПГ	и т. п.
малая течь	X		X	
большая течь	X		X	
паровая течь		X		
потеря ПВ	X		X	
перепитка		X		
и т. п. ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Таблица III-2. матрица Симптомов Аварийных Режимов
(пометкой обозначаются симптомы, соотнесенные с определенными исходными событиями)

III.2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ

Расставив все симптомы в соответствии со связанными с ними категориями переходных процессов в графах, соответствующих определенным КФБ, мы имеем возможность преобразовать эту матрицу так, чтобы, с учетом категорий переходных процессов, ассоциировать каждую КФБ с соответствующими аварийными действиями в инструкциях по ее восстановлению.

Разъяснив концепцию «феноменологии», на которой основываются категории событий, при создании **Промежуточной матрицы** мы сумели разделить эти категории событий на *категории реакции* (ответных действий) на *отдельные переходные процессы*. Например, в случае малой течи, мы сумели определить три различных вида протекания аварийного процесса, в зависимости от величины объема общего теплосъема (Q_1) и объема общего тепловыделения (Q_2), что в свою очередь зависит от объема течи:

- S_1 – повторное повышение давления в 1-м контуре ($Q_1 < Q_2$);
- S_2 – выравнивание давления в 1-м контуре ($Q_1 \approx Q_2$);
- S_3 – разгерметизация 1-го контура ($Q_1 > Q_2$).

Emergency Operating Instructions (hypothetical)	Initiating Event Class	<i>.....Critical Safety Functions..... (hypothetical - for illustration only)</i>			
		primary coolant inventory	core reactivity (subcriticality)	core heat removal (core cooling)	<i>etc. ...</i>
		<i>loss of subcool- ing</i>	<i>excessive cooldown</i>	<i>lack of SG heat transfer</i>	<i>etc. ...</i>
		<i>etc. ⋮</i>	<i>etc. ⋮</i>	<i>etc. ⋮</i>	<i>etc. ⋮</i>
response to inadequate subcooling	small LOCAs large LOCAs loss of feed	S ₁ , S ₂ , S ₃ L ₁ F ₁			
response to recriticality	steam leaks overfeed		M ₁ F ₂		
response to inadequate core cooling	small LOCAs large LOCAs loss of feed			S ₁ , S ₂ , S ₃ L ₁ F ₁	
<i>etc. ⋮</i>	<i>etc. ⋮</i>	<i>⋮</i>	<i>⋮</i>	<i>⋮</i>	<i>⋮</i>

TABLE III-3. INTERMEDIATE MATRIX
(entries indicate possible bounding events for EOP analysis)

Legend:

- S₁ might be a small break which depressurizes slowly enough to result in a core uncover.
- S₂ might be a small break which repressurizes resulting in a slow core uncover.
- S₃ might be a small break which remains at saturation long enough to result in a slow core uncover.
- L₁ might be the limiting large break.
- F₁ might be the limiting loss of feed.
- F₂ might be the limiting overfeed.
- M₁ might be the limiting steam line break.

III.3 IMPLEMENTATION / ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ

By identifying which transient response classes most threaten the individual CSFs, we are able to derive the *bounding transient response modes* in producing the **Analysis Matrix**. The process of constructing the Analysis Matrix is illustrated in Appendix A. This matrix now identifies the *bounding modes* with which to evaluate the effectiveness of the FRPs in restoring and/or maintaining the CSFs. More importantly, though, these transients bound the plant response in terms of challenging the respective CSFs. As such, the results are independent of the initiating event for CSF evaluation purposes.

АВАРИЙНЫЕ ДЕЙСТВИЯ (ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ)	КАТЕГОРИИ ИСХОДНОГО СОБЫТИЯ	<i>.... Критические функции безопасности....</i> (гипотетические — только в качестве примера)			
		наполненность	реактивность а.з. (подкритичность)	теплоотвод (расхолаживание а.з.)	и т.п. •••
		нарушение условий по запасу до кипения	превышение скорости расхолаживания 1-го контура	отсутствие переноса тепла от а.з. реактора через ПГ	и т.п. •••
		и т.п. • • •	и т.п. • • •	и т.п. • • •	и т.п. • • •
реакция на недостаточный запас до кипения	малые течи большие течи потеря ПВ	S ₁ , S ₂ , S ₃ L ₁ F ₁			
реакция на наличие условий выхода в повторную критичность	паровые течи перепитка		M ₁ F ₂		
реакция на недостаточное расхолаживание а.з.	малые течи большие течи потеря ПВ			S ₁ , S ₂ , S ₃ L ₁ F ₁	
и т.п. • • •	и т.п. • • •	• • •	• • •	• • •	• • •

ТАБЛИЦА III-3. ПРОМЕЖУТОЧНАЯ МАТРИЦА

Условные обозначения:

- S₁, предположим, относится к малой течи с достаточно длительной разгерметизацией, что приведет к оголению активной зоны.
- S₂, предположим, относится к малой течи с повторным повышением давления в 1-м контуре, что приведет к медленному оголению активной зоны.
- S₃, предположим, относится к малой течи с достаточно длительным периодом насыщения для того, чтобы привести к медленному оголению активной зоны.
- L₁, предположим, относится к огибающей большой течи.
- F₁, предположим, относится к потере питводы.
- F₂, предположим, относится к огибающей перепитке.
- M₁, предположим, относится к разрыву острого пара огибающего Ду.

III.3 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ

Определив, какие из категорий переходных процессов в большей степени ставят под угрозу отдельные КФБ, мы сумели вывести на первый план *огибающие категории реакции на отдельные переходные процессы* при составлении **Матрицы расчетов** аварийных режимов. В Приложении «А» представлена процедура составления **Матрицы расчетов**. В такой матрице содержится информация о граничных (огибающих) режимах, с помощью которых можно оценить эффективность инструкций по восстановлению КФБ при попытках восстановить или поддержать эти КФБ. Еще более важным является то, что эти переходные процессы огибают реакцию реакторной установки с точки зрения угрозы соответствующим КФБ. Получается, что результаты анализа не зависят от конкретного исходного события.

Since the FRPs relate the prescribed response to a particular symptom (i.e., "*Response to Inadequate Core Cooling*", "*Response to Loss of Heat Sink*", etc...), the matrix actually represents the *bounding symptomology* relative to CSF challenges. This means that the results of the bounding calculations are *characteristic* of the *bounding response* of the plant relative to CSF maintenance, notwithstanding the initiating event. Hypothetically, an SBLOCA scenario which repressurizes due to loss of natural circulation might bound a LOFW scenario in terms of "*Response to Inadequate Core Cooling*" because of the larger decay heat level expected at core uncover in the SBLOCA. This could be due to the higher RCS inventory loss rate in the SBLOCA and longer time required to boiloff the SG+RCS inventory in the LOFW. The phenomena of interest are core dryout, decay heat magnitude and rewet heat transfer at high pressure. On the other hand, a LBLOCA would not be expected to bound the SBLOCA in the above example because the phenomena of interest are core Critical Heat Flux (CHF), decay heat magnitude, and post-CHF heat transfer at low pressure.

By elucidating the processes upon which the CSFs depend, we can identify the Functional Recovery Guides' reliance on plant equipment in implementing strategies to combat the challenge. By disadvantaging that strategic capability to the most limiting, realistic extent within a bounding, best-estimate approach, we bound the overall plant response to the CSF challenge presented by the initiating event. In the process of identifying limiting plant equipment availabilities, we fulfill the second consideration in specifying the bounding circumstances in challenging the CSFs. We refer to these combinations of limiting equipment availabilities as bounding assumptions. The application of the bounding assumptions to the bounding initiating events constitutes specification of the bounding scenarios.

В инструкциях по восстановлению КФБ дано соотношение определенного симптома и предусмотренной реакцией на этот симптом (например, “*Реакция на недостаточное расхолаживание а.з.*”, “*Реакция на нарушение условий теплоотвода,*” и т.д.). Значит, независимо от характера исходного события, результаты проведенных граничных расчетов являются характерными для огибающих реакций РУ при попытках поддержать КФБ. Гипотетически, протекание аварийного процесса малой течи, в ходе которого происходит повторное повышение давления в силу срыва естественной циркуляции, может оказаться огибающим по отношению к протеканию аварий с потерей питводы по категории «реакция на недостаточное расхолаживание а.з.» за счет большего объема остаточного тепла после оголения активной зоны при малой течи. Вполне возможно, что этот факт обуславливается повышенной скоростью потери теплоносителя при малой течи и более длительным процессом отпаривания теплоносителя первого контура и запаса жидкости в парогенераторах при потере питводы. В число представляющих для нас интерес феноменов входит осушение активной зоны, накопление остаточного тепла и теплообмен при повторном увлажнении активной зоны в условиях завышенного давления. С другой стороны, в вышеуказанном случае не ожидается, что большая течь окажется огибающей по отношению к малой течи, так как при этом нас интересуют следующие феномены: критический тепловой поток через активную зону, накопление остаточного тепла и теплообмен при низком давлении после возникновения условий критического теплового потока.

Посредством разъяснения процессов, от которых зависят КФБ, мы сможем определить набор оборудования и устройств энергоблока, используемых при осуществлении стратегий по предотвращению угрозы восстановлению КФБ. Снижением стратегических технических возможностей энергоблока до крайнего минимума в рамке самых ограничивающих, реально возможных условий и применением реалистичного огибающего подхода, мы обосновываем предельную реакцию энергоблока на созданную исходным событием угрозу поддержания КФБ. Определением самого ограничивающего сочетания работоспособного оборудования и устройств энергоблока мы выполняем второе требование по определению тех огибающих условий, которые ставят критические функции под угрозу. Такие самые ограничивающие сочетания работоспособного оборудования и устройств энергоблока называются «огибающими допущениями». Применение огибающих допущений при анализе исходных событий—это и есть определение огибающих сценариев.

The recitation of the methodology is now complete. The minimum number of required analyses derives from a truly symptomatic EOP implementation.

Итак, разъяснение этой методики завершено. При внедрении действительно симптомно-ориентированного подхода к разработке аварийных инструкций потребуется минимальное количество расчетов.

IV. APPLICATION / ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ

There are two stated objectives that must be achieved during performance of EOP analyses: 1) determination of the time available to the operator to take action to avert FPB damage; and, 2) determination of the efficiency and effectiveness of the functional recovery strategy in averting FPB damage. The base case and failed system case deal with the first objective. The operator action case and alternative action case deal with the second objective. Within the context of a bounding approach, these objectives must be achieved consistently. In other words, the first objective establishes the bounding time allowable in which to demonstrate the second objective.

IV.1 SCENARIO DEVELOPMENT / РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ

There are two considerations in deriving the bounding scenarios: 1) identification of the particular initiating events and initial plant conditions that give rise to the circumstances that most challenge the CSFs; and, 2) identification of the most limiting combinations of plant equipment availabilities in responding to the challenge. The intent is to derive and analyze the scenarios that bound the plant's response itself in challenging the CSFs over all postulated design basis initiating events. The first consideration was addressed in the Section III. The process of developing the bounding assumptions is described in Appendix B.

IV. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ

Существуют две цели, которые необходимо достичь при проведении анализа СОАИ: (1) определение имеющегося промежутка времени, за который оператор должен принять меры по предотвращению повреждения активной зоны; (2) определение своевременности и эффективности выбранной стратегии по восстановлению соответствующей функции безопасности. К первой цели относятся базовый случай и случай с отказом определенной системы. А ко второй вариант с принятием оперативным персоналом определенных действий и альтернативные случаи. Иными словами, достижением первой цели устанавливается промежуток времени, за который должна быть достигнута вторая цель.

IV.1 РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ

При определении огибающих сценариев внимание аналитика нужно обратить на два момента: (1) определение конкретных исходных событий и исходных условий работы энергоблока, из-за которых возникают ситуации, в большей степени нарушающие указанные техпроцессы; и (2) определение самых ограничивающих с точки зрения возможности устранения угрозы сочетаний работоспособного оборудования и устройств энергоблока. Общей целью ставится необходимость вывести и проанализировать сценарии, которыми огибается реакция энергоблока (т.е., обосновать его предельную реакцию) при возникновении всех постулируемых проектных исходных событий. Первое из этих требований обсуждалось в Разделе III, а процесс определения ограничивающих допущений описывается в Приложении «Б».

IV.2 RATIONALE / ОСНОВОПОЛАГЮЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Recall that a bounding methodology attempts to simplify the scope of the analyses required to validate the entire set of EOPs for postulated events. A bounding methodology is nothing more than a convenient analytical invention, a tool. This tool is deliberately constructed to facilitate the analytical validation of the EOPs. It's only intended purpose is to serve the needs of the analysis effort. In so doing, it attempts to create an artificial boundary or envelope (i.e., a coordinate space or frame of reference) within which to evaluate the EOPs under the most severe, reasonably-possible circumstances (i.e., limiting plant response) relative to maintaining the CSFs. Less limiting plant transient response, with regard to challenging a particular CSF maintenance mechanism, is therefore inherently taken into account, irrespective of the initiating event.

The initial and boundary conditions are intentionally defined to specifically address the needs of the methodology. Therefore, we deliberately degrade plant capabilities that could mitigate CSF challenges specifically in order to bound the plant response. This must be done on a case by case basis. For example, minimal Emergency Core Coolant (ECC) availability is bounding to loss of Reactor Coolant System (RCS) inventory situations, but is not bounding to Pressurized Thermal Shock (PTS) situations.

Similarly, bounding circumstances may even differ between two strategies within the same scenario (e.g., operator action and alternative action calculations). Circumstances that bound one strategy may not bound another strategy. This may *appear* contradictory; however, consistent bounding condition specification always proceeds from the standpoint of the principal underlying mechanisms supporting the CSF in question. If two strategies support different or multiple CSF mechanisms, then individual bounding calculations may be required for each mechanism. The analyst must evaluate the need for separate initial condition and boundary condition for each strategy. This evaluation must be conducted from the perspective of disadvantaging the respective strategy based upon establishing the most adverse conditions relative to maintaining the dependent CSF(s).

IV.2 ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Напомню, что применением методики граничных (огибающих) режимов мы стараемся уменьшить объем расчетов, которые требуются при валидации всего комплекта СОАИ в связи со всеми постулируемыми событиями. Методика огибающих режимов—это ни что иное, как инструмент, то есть удобное аналитическое изобретение. А такой инструмент сознательно построен так, чтобы содействовать расчетной валидации СОАИ. Единственное его назначение—отвечать потребностям по проведению расчетов. При этом мы пытаемся построить некую искусственную границу—оболочку—т.е., некое координатное пространство или схему мышления, внутри которой оценивается эффективность СОАИ с точки зрения поддержания КФБ при самых реалистично возможных неблагоприятных условиях (т.е., установление ограничивающей реакции РУ). Следовательно, любые менее ограничивающие (с точки зрения механизма [способа] поддержания определенной КФБ) текущие события учитываются стихийно, несмотря на характер исходного события.

Как исходные условия, так и ограничивающие условия сознательно определяются так, чтобы отвечать потребностям выбранной методики. Следовательно, мы нарочно нарушаем способность энергоблока смягчить угрозу, под которую ставится КФБ, именно для того, чтобы установить грани реакции энергоблока. Это нужно делать для каждого отдельного случая. Например, наличие (отсутствие) минимальной возможности охлаждения активной зоны огибает случаи с потерей теплоносителя первого контура, но не огибает случаев теплового удара.

Кроме того, ограничивающие условия могут различаться друг от друга в зависимости от выбора стратегии ответных действий даже в рамках одного расчетного сценария (напр. расчеты, проведенные с учетом различного рода действий оперативного персонала или связанные с различными альтернативными случаями). Условия, которые огибают одну стратегию, могут и не огибать другую. Такая ситуация, пожалуй, покажется Вам противоречивой, но последовательное определение граничных условий всегда исходит из понимания основных механизмов, которые поддерживают соответствующую КФБ. В случае, если разные стратегии поддерживают разные или многочисленные механизмы, то, может быть, для оценки каждого механизма потребуются отдельные расчеты. Поэтому, при оценке каждой предложенной стратегии расчетчик обязан оценивать необходимость определения уникальных исходных или огибающих условий. Такая оценка проводится с целью установления самых неблагоприятных условий для поддержания испытываемой критической функции (функций) безопасности.

IV.3 INDUCED FAILURES / СПРОВОЦИРОВАННЫЕ ОТКАЗЫ

An induced failure attempts to bound the limiting time to core damage. In the case of the Station Blackout, for example, MCP seal leakage exacerbates the RCS coolant inventory depletion rate accelerating the onset of core damage. Induced failures deal with collateral equipment damage due to environmental conditions exceeding the components' design serviceability. An induced failure is independent of system failures and should definitely be considered in the failed system case. They should also be considered in operator intervention cases in which the induced failure(s) complicates the recovery strategy. However, induced failures that aid recovery strategies are non-bounding and should be avoided in operator intervention cases. For example, if plant recovery depends on RCS decompression, an induced pressurizer safety valve failure should not be implemented. The efficiency and effectiveness of the strategy must be demonstrated within the limiting time to core damage established in the failed system calculation incorporating the induced failure.

If the implementation of a particular strategy takes longer than the time allowed by an induced failure, it does not necessarily mean that the strategy should be excluded from the EOPs. It does mean that the incorporation of the strategy must be consistent with CSF Status Tree escalation criteria so that operator response escalates (i.e., yellow, orange, red) in accordance with objective criteria (i.e., SG dryout, RCS saturation, excore threshold temperatures, etc.) in a timely fashion. The induced failure imposes the bounding time assuming the failure occurs. If it does not occur, the strategy may actually succeed. Only analysis will tell.

IV.3 СПРОВОЦИРОВАННЫЕ ОТКАЗЫ

Давайте остановимся на минутку на теме спровоцированных отказов. Применением спровоцированных отказов мы пытаемся огибать предельный срок до начала повреждения активной зоны реактора. Например, в случае полного обесточивания энергоблока, разуплотнение ГЦН приведет к увеличению скорости уменьшения объема теплоносителя в первом контуре, при этом ускорив начало повреждения активной зоны реактора. Исследуя воздействие спровоцированных отказов, мы имеем дело с повреждением оборудования, вызванным происшедшей неполадкой из-за превышения установленных нормативов внешних воздействий на это оборудование, при котором превышаются и проектные параметры эксплуатационной надежности соответствующих агрегатов. Любой спровоцированный отказ независим от отказов технологических систем, но такие отказы безусловно нужно учитывать при анализе случаев с отказом определенных систем. Кроме того, их нужно учитывать при анализе случаев, относящихся к определению стратегии действий оперативного персонала, если возникновение спровоцированного отказа осложняет стратегию восстановления КФБ. Однако, в случае, если возникновение спровоцированного отказа способствует восстановлению КФБ, такой отказ является неогибаящим и его нужно исключить при определении необходимых действий оперативного персонала. Если, например, возможность перевода реакторной установки в безопасное состояние зависит от декомпрессии 1 контура, то нельзя учитывать непосадку ПК КД. Придется обосновать своевременность и эффективность выбранной стратегии в предельные сроки до начала повреждения активной зоны, которые были установлены расчетами для случая с отказом соответствующей системы, включающего возникновение спровоцированного отказа.

Если применение определенной стратегии с учетом спровоцированного отказа приведет к превышению предельного срока, то это не обязательно означает, что такую стратегию следует исключить из комплекта СОАИ. Однако, использование намеченной стратегии должно оказаться совместимым с критериями перехода к последующим стадиям тревожности, указанным деревом состояния КФБ (в следующей последовательности: неудовлетворительное, экстремальное, тяжелое состояние) с учетом объективных критериев, так, чтобы своевременное вмешательство персонала росло соответствующим образом (напр. с учетом условий осушения ПГ, насыщения 1 контура, превышения пороговых температур на выходе из активной зоны, и т.п.). Применение подхода спровоцированных отказов подразумевает определение предельного срока эффективного вмешательства оперативного персонала в случае, если намеченный отказ на самом деле произойдет. Если же он не произойдет, данная стратегия может действительно оказаться успешной. Единственный способ убедиться в этом—это проведение соответствующих расчетов.

IV.4 CALCULATIONAL PROCEDURE / ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

A calculational strategy must be developed and implemented to determine the timing and effectiveness of operator actions in averting loss of the CSF. An example is provided in Appendix C.

IV.4.A Perform Base Case Calculation / Подготовка базовых расчетов

For a specific bounding scenario, analyze non-degraded automatic system response without operator actions. Identify best-estimate plant response in terms of automatic actions, annunciator alarms, and parameter response as a basis from which to compare failed system response.

The object of the base case is to establish success criteria in validating the CSF Response Tree Green Path.

IV.4.B Perform Failed System Calculation / Расчет с отказом системы

For a successful base case transient sequence, simulate failure of the supporting ESF system without operator action. Run the calculation out to the loss of critical safety function and/or onset of FPB damage. Record all pertinent plant transient parameters available to the operator to diagnose the event and/or recognize loss of critical safety function.

Comparison to the base case will provide:

1. key symptoms that are unique to the required actions;
2. parameter values to be used to initiate/abandon action;
3. time available to take action;
4. insights into potential actions.

The object of the failed system case is to establish the limiting time to loss of the CSF and onset of FPB damage.

IV.4.C Analyze Loss Of Critical Safety Function / Анализ нарушения КФБ

Identify the information available to the operator in the control room that can be used to specifically identify the loss of critical safety function and at what time into the event this determination could be made. Identify the time at which the critical safety function is lost and the time of FPB damage. From the time periods identified in the evaluation of the failed system run, estimate a time when the operator must perform some manual action to prevent the loss of the critical safety function.

IV.4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Необходимо разработать и применить расчетную стратегию для подтверждения эффективности действий оператора при попытке поддержать КФБ. Приведен пример в Приложении «В».

IV.4.A Подготовка базовых расчетов

Для конкретного исходного события оценить реакцию работоспособных систем автоматики. Установить путем реалистичной оценки реакцию энергоблока:

- Действия автоматики
- Аварийная сигнализация
- Изменение параметров

Целью проведения базового расчета является определение критериев устранения опасности при валидировании условий дерева состояния КФБ по удовлетворительному состоянию (т.н. «зеленой ветви»).

IV.4.B Расчет с отказом системы

Для восстанавливаемого переходного процесса симитировать отказ конкретного инженерно-технического средства безопасности без вмешательства оператора. Выполнить расчет до нарушения КФБ и/или начала повреждения активной зоны. Зафиксировать все изменяемые параметры, дающих возможность оператору выявить причину события и/или определить нарушение КФБ. Установить основные индикаторы и время прохождения события.

Путем сравнения с случаем успешного устранения аварии, определить:

1. Основные симптомы, отличительные для требуемых действий;
2. Значения параметров, используемых для установления начала действий или отказа от них;
3. Время, имеющееся в распоряжении для выполнения действий;
4. Глубокое понимание сути возможных действий.

Целью проведения расчета с отказом системы является определение предельных сроков до нарушения критических функций безопасности и начала повреждения барьеров продуктов деления.

IV.4.C Анализ нарушения КФБ

Выявить информацию, имеющуюся в распоряжении операторов БЩУ, которая однозначно определяет это событие как нарушение КФБ и период времени, который потребуется для установления этого события. Установить время, когда КФБ нарушилась, а также время повреждения барьера продуктов

деления. На основании временных отрезков, выявленных при расчете отказа систем, вычислить время, когда оператор должен выполнить определенные действия с целью предотвращения нарушения КФБ.

IV.4.D Perform Operator Action Sensitivity Calculation / Оценка значения времени начала вмешательства оператором

Run a new failed system calculation but with an operator action at the selected time to verify that this action has restored the critical safety function, thus preventing the onset of FPB damage. Comparison to the failed case will provide:

1. key symptoms that are unique to successful recovery;
2. parameter values to be used to determine return to normal procedures.

The object of the operator action case is to determine the efficacy of the functional recovery strategies in averting loss of the CSF. This process must be applied to all FRG action level strategies (i.e, yellow, orange, red).

IV.4.E Perform Alternative Action Sensitivity Calculation / Произвести расчет реакции системы на альтернативный случай

Run a new calculation proposing an alternative operator action subsequent to the time after which the first course of action would no longer be effective in averting FPB damage. Verify that this action has restored the critical safety function thus preventing the onset of FPB damage.

The object of the alternative action case is to evaluate the efficacy of alternative recovery strategies.

IV.5 INTERPRETATION OF RESULTS / ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

IV.5.A Verification / Верификация

The first step in qualifying a calc is to verify that the calculated course of action is that which was intended. If some action was missed because of an input error, the calc should be repeated. Construct a sequence of events table noting not only what did happen, but also what almost happened.

IV.5.B Validation / Валидация

Next, **validate the integrity of the results.** Don't just blindly accept the results as correct. All codes are capable of producing bad results. Sometimes the code doesn't know any better because the wrong option was used or an error was made on input. Other times the code physics can be wrong. An example of this with regard to RELAP application to VVERs is prediction of critical heat flux (CHF). Recall that the CHF correlation in RELAP is attributable to Groeneveld from the Canadian Chalk River Facility. The correlation has undergone extensive validation with regard to rectangular lattice geometries, but, has received no formal validation relative to hexagonal lattice geometries. So, if calculation of CHF is important, an assessment must be made concerning the biases introduced by Groeneveld.

IV.4.D Оценка значения времени начала вмешательства оператором

Произвести новый расчет с отказом системы, но с началом действий персонала в выбранное время, для подтверждения того, что этими действиями была восстановлена КФБ, таким образом предотвратив начало повреждения барьера продуктов деления.

Сравнение со случаем неустранения аварии даст:

1. Основные симптомы, однозначно указывающие на восстановленное состояние;
2. Значения параметров, указывающих на переход к работе по инструкциям нормальной эксплуатации.

Целью проведения расчета эффективности действий оператора является определение эффективности стратегий по восстановлению функции безопасности для предотвращения нарушения КФБ. Необходимо применять этот процесс в связи со стратегиями по восстановлению функций безопасности для всех степеней серьезности сложившихся ситуаций (т.е., по неудовлетворительному, экстремальному и тяжелому состоянию—т.н. «желтой, оранжевой и красной ветвей»).

IV.4.E Произвести расчет реакции системы на альтернативный случай

Провести новый расчет, предполагающий альтернативные действия оператора, предпринимаемые после того, как основные действия по устранению аварии перестали действовать во избежание повреждения барьера продуктов деления. Убедитесь, что этими действиями была восстановлена КФБ, предотвратив начало повреждения барьера продуктов деления.

Целью проведения расчета эффективности альтернативного действия является определения эффективности альтернативных стратегий по восстановлению КФБ.

IV.5 INTERPRETATION OF RESULTS / ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

IV.5.A Verification/Верификация

Первым шагом при оценке расчетов является подтверждение (верификация) того, что действия, отраженные в этом расчете, целиком и полностью соответствуют запланированным. Если из-за ошибки при вводе данных было пропущено одно из действий, то весь расчет придется выполнить заново. Далее, нужно создать таблицу, включающую не только имевшие место события, но и потенциальные события, которые чуть было не произошли.

IV.5.B Validation/Валидация

Затем следует **свалидировать целостность результатов расчета**. Нельзя просто полностью довериться полученным результатам и считать их непогрешимыми. Неточные результаты могут быть получены при работе с любой программой. Причиной к этому может послужить выбор не той опции, которая была бы нужна, или же ввод ошибочных данных. А также, в программу могут быть введены неправильные физические параметры. Что касается применения кода RELAP относительно ВВЭР-овских установок, существует конкретный пример именно такой ситуации—и относится к прогнозированию величины критического теплового потока. Напомним, что включенная в программу RELAP корреляция критического теплового потока была разработана г-ном Грёневельд, специалистом канадской АЭС «Chalk River» (Чок Ривер). Эту корреляцию многократно подтвердили (свалидировали) относительно прямоугольных ячеек ТВС, но пока не было осуществлено детальное подтверждение этой программы относительно шестигранных ячеек. Следовательно, в том случае, если при расчетах возникнет необходимость учитывать критический тепловой поток, то придется принять во внимание возможное влияние систематической ошибки, внесенной г-ном Грёневельд в программу.

Analyze whether the results capture the severity of the consequences. If the answer is yes, the calculation is referred to as conservative, not to be confused with conservatism such as decay heat multipliers, etc. But don't stop there. You must evaluate the effect of the bias on the results.

In some cases the calc will have to be discarded if the effect of the bias changes the course of events. In other cases the effect of the bias can be quantified and factored into the overall analysis. (*Remember, codes produce numbers, people produce analyses.*) In still other cases some other independent event, which would have occurred anyway, washes out the effect of the bias by the sheer magnitude of its disturbance.

IV.5.C Consistency / Последовательность

Next, **check the calc for consistency**. Do the results conform to the expected sequence of events? Do the data trends conform to the expected rates of change? Does calculated response agree with observed plant response to actual component actuation? This is where collaboration between operator and analyst is paramount. These details will have dramatic effects on the calculated time to core damage. The code calculated sequence of events may be different than expected.

Sometimes the code may be right and instruct our understanding of event progression. Other times code uncertainties may result in unrealistic transient simulations due to threshold considerations discussed in the next paragraph. In order to be of practical use in the EOP validation, the simulation must be as realistic as possible from the operator's point of view.

Нужно выяснить, отражают ли полученные результаты весь спектр последствий изученной аварии. Если ответ «ДА», то расчеты можно определить как «консервативные»—при этом не путая их с настоящими консерватизмами, такими как умножители остаточного тепловыделения, и т.д. Но этим нельзя ограничиться—нужно также оценить возможное влияние систематической ошибки на полученные результаты.

В некоторых случаях, когда влияние систематической ошибки существенно изменит ход аварийных событий, уже проделанные расчеты нужно будет отменить и выполнить их заново. В других же случаях, влияние систематической ошибки подлежит квантификации и ее нужно принять во внимание при проведении общего анализа (имейте ввиду следующее: программы выдают всего лишь значения величин, а анализ может производить только аналитик). Третий вариант—какое-либо независимое событие, происходящее само по себе, может «затопить» любой возможный эффект намеченной систематической ошибки за счет возмущения, произведенного им в работе энергоблока.

IV.5.C Consistency/ Последовательность

Затем, расчеты необходимо проверить на соблюдение последовательности. Соответствуют ли результаты ожидаемой последовательности событий рассматриваемому аварийному процессу? Соответствует ли тенденция преобразования данных ожидаемой скорости их изменения? Соответствует ли расчетная реакция энергоблока на возникающую ситуацию наблюдаемой реакции действующих однотипных энергоблоков на реальное включение в работу соответствующего агрегата? Именно здесь проявляется первостепенная важность сотрудничества аналитика и оператора. Подобные тонкости могут оказать существенное влияние на рассчитанное время до начала повреждения активной зоны. Кроме того, сценарий аварии, который прогнозируется расчетной программой, может отличаться от ожидаемого.

Иногда программа будет «права». Тогда в ней будет представлено правильное протекание аварии. А иногда из-за причин, относящихся к пороговым значениям параметров, неопределенность программы приведет к моделированию переходных процессов, не соответствующих реалистичным. (Эти причины обсуждаются в следующем разделе.) Для достижения максимальной пользы при валидации СОАИ, условия моделирования должны оказаться, с точки зрения

оператора, как можно более реалистичными.

Coherence / Целесообразность результатов анализа

Next, **check the coherence of the calc relative to computational sensitivities.** This means that the results must be examined for proximity to phenomena or event thresholds which could change the course of the calculation. For instance, if the code calculates conditions which barely approximate some physical or event based transition, such as a break flow transition or opening some valve, the arbitrary effect of barely missing or barely attaining the threshold must be analyzed. This is required since no code is completely accurate and the uncertainties in any code may result in falsely predicting certain transitions while falsely averting others. So, a systematic review of the calc must be made relative to proximity to phenomenological or event based transitions and the overall effect on the calc must be evaluated. In certain cases, a branch sensitivity calc may be required to quantify the effect.

IV.5.D Interpretation / Интерпретация результатов анализа

Finally, **never interpret the results of a code calculation literally.** The code is only a tool. Use the code results only as an indicator of expected plant transient response to facilitate development of a mental movie of what could be going on inside the pipes. This is where collaboration between the operator and the analyst is paramount. The magnitudes and timings of code calculated responses should not be viewed as absolute. Rather, the results should be used to facilitate your comprehension of the underlying processes governing plant response relative to the situation confronting the operator. You must allow latitude in interpreting the code results according to the variability of the underlying phenomena. Together, the operator and the analyst should use the code results to gain insight on the prevailing plant conditions as they are represented to

the operator in diagnosing the problem and implementing the prescribed EOP course of action. The object of the analysis is to gain a complete understanding of the plant response in evaluating the dynamics of the situation relative to implementing the EOPs.

IV.5.D Coherence/ Целесообразность результатов анализа

Далее необходимо проверить целесообразность расчетов относительно математической чувствительности программы. Это означает, что результаты, полученные в процессе расчетов, необходимо рассмотреть с точки зрения их близости к пороговым значениям феноменов или событий, которые смогут внести изменения в предполагаемый ход протекания аварии. Например, в том случае, если предсказываются условия, очень близкие к уставке определенного физического или событийно-ориентированного перехода—такого, как переход из одного режима расхода через течь в другой или открытие определенного клапана или вентиля—то следует проанализовать возможное влияние произвольного (не)превышения соответствующего порогового значения на ход событий. Это неизбежно по той причине, что никакая из моделирующих программ не может быть стопроцентно точной, и имеющаяся неопределенность любой программы может привести к неверному прогнозированию ряда переходов с ошибочным игнорированием других переходов. Следовательно, следует провести последовательное изучение расчетов в отношении близости указанных значений параметров к феноменологическим или событийно-ориентированным переходам. Далее, будет необходимо оценить общие показания всех расчетов. В ряде случаев потребуются провести дополнительные итерационные (поверочные) расчеты для того, чтобы точно вычислить соответствующее влияние.

IV.5.E Interpretation/Интерпретация результатов анализа

И наконец, не следует интерпретировать результаты проведения моделирующих расчетов буквально! Имейте в виду, что компьютерная программа—это ни что иное, как просто инструмент. Результаты расчетов можно использовать лишь в качестве указания на ожидаемую реакцию энергоблока на переходный процесс. Они способствуют созданию своего рода «ментального имиджа» того, что может происходить в трубопроводах. Именно здесь наглядно проявляется первостепенная важность сотрудничества аналитика и оператора. Расчитанные значения величин и предельные сроки реакции энергоблока на переходный процесс не должны считаться абсолютно точными. Напротив, полученные результаты должны применяться для того, чтобы аналитик получил улучшенное общее представление о тех процессах, которые лежат в основе реакции энергоблока на ситуацию, представленную оператору. В связи с существующей вариативностью в основных техпроцессах на энергоблоке,

необходимо подходить к рассмотрению полученных с помощью компьютерной программы результатов расчетов с определенной долей гибкости. Работая над диагностированием проблемы и предпринимая предписанные в СОАИ ответные действия, оператор и аналитик должны совместно использовать результаты этих расчетов для достижения глубокого понимания сложившихся условий работы на энергоблоке, в том виде, в каком они представлены оператору. Целью проведения анализа является достижение всеобъемлющего понимания реакции энергоблока на переходный процесс при оценке динамичности ситуации относительно использования СОАИ.

Application of Results / Применение результатов

The results of the bounding mode calculations can now be used to mentally construct a *bounding response surface* for evaluating challenges to the CSFs. Think of this response surface as a topographical map representing bounding symptomology relative to CSF challenges. The parameters of the response surface are the variables which determine the magnitude of the phenomena governing the bounding plant response. For example, decay heat magnitude depends upon time since shutdown and power history; CHF depends upon coolant flow rate, coolant enthalpy and void fraction, wall temperature and wall heat flux; and so forth. These parameters become the *bounding response criteria*. The topical reports documenting the results of the analyses form the basis of the bounding response surface and also become the supporting documentation for the TBD. The topical report results are generic to the limiting overall plant response in terms of CSF maintenance. The response surface can be viewed as a reference standard with which to evaluate plant response relative to bounding plant response for any postulated initiating event for the purpose of EOP analytical validation and technical justification.

IV.6 ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты, полученные по проведению расчетов граничных режимов, можно далее использовать для построения в уме своего рода «поверхности граничных реакций» с целью оценки возможных угроз критическим функциям безопасности. Эту поверхность Вы можете осмыслить в качестве топографической карты, которая представляет собой ограничивающую симптомологию относительно угроз КФБ. Параметрами этой поверхности реакций являются переменные, которыми определяется степень существенности феноменов, управляющих ограничивающими реакциями реакторной установки. Например, величина объема остаточного тепла зависит и от времени, прошедшего с момента останова реактора, и от условий выработки электроэнергии в течение настоящей кампании. Соответственно, критический тепловой поток через активную зону зависит от расхода теплоносителя, энтальпии и объемного паросодержания теплоносителя, температуры и теплового потока стенок, и так далее. Эти параметры станут *критериями граничных реакций*. Основой построения поверхности граничных реакций являются тематические отчеты, в которых фиксируются результаты проведенного анализа. Кроме того, эти отчеты служат подтверждающей документацией при составлении расчетного обоснования. Представленные в тематическом отчете результаты являются типовыми в связи с ограничивающей общей реакцией РУ по отношению к поддержанию КФБ. Поверхность граничных реакций можно рассмотреть в целях аналитической валидации и технического обоснования пакета СОАИ в качестве эталона для оценки реакции РУ по сравнению с его ограничивающей реакцией в любом конкретном случае предполагаемого исходного аварийного события.

If the EOP implementation is truly totally symptomatic, the EOP validation is now complete; all that remains is technical justification and documentation. To the extent that the implementation is hybridized (i.e., partially symptom oriented - partially event oriented), we must systematically assess the plant response for scenarios specific to each event oriented procedure (e.g., “*Loss of Reactor or Secondary Coolant*”) with respect to the adequacy of the EOP guidance in maintaining the CSFs. This can be accomplished using thought problems, or, where necessary, verified with a best-estimate scoping calculation specifically implementing the EOP guidance pursuant to the postulated initiating event. Whenever we encounter established symptomology, irrespective of the initiating event, we examine the underlying phenomenology from the CSF standpoint by examining the bounding response criteria. If the variability of the parameters underlying the phenomenology in the postulated initiating event is within the range of the corresponding phenomenology of the bounding response surface, we validate the operator guidance by stating that the consequences are bounded by the relevant bounding mode analysis. This should always be the case if we've selected the proper CSFs and performed the correct bounding mode calculations.

We document this process in the TBD. We justify the EOP strategy by advancing and substantiating technical arguments that the magnitudes of the parameters governing the symptomology of the postulated initiating events are bounded by the corresponding parameter magnitudes in the appropriate topical report. Scenarios which fail this process must be analyzed individually by re-applying the methodology.

Если аварийные инструкции действительно внедряются с полным учетом симптомов [симптомно-ориентированно], то при этом валидацию СОАИ можно считать завершенной. Все, что осталось, это создание технического обоснования инструкций и оформление технической документации. А по мере того, что аварийные инструкции в действительности внедряются гибридным образом (т.е., частично с учетом симптомов, а частично с учетом исходных событий [событийно-ориентированно]), то нам предстоит оценивать реакцию РУ по аварийным сценариям, специфичным для каждой в отдельности событийно-ориентированной инструкции (например, Потеря теплоносителя 1-го или 2-ого контура), с точки зрения адекватности указаний, представленных в аварийной инструкции, для поддержания критических функций безопасности. Это можно сделать за круглым столом в уме решением поставленных вопросов, а по мере необходимости инструкцию можно верифицировать с помощью реалистичных оценочных расчетов, при проведении которых тщательно прорабатываются действия соответствующей аварийной инструкции по отношению к ликвидации предполагаемого исходного аварийного события. Всякий раз, сталкиваясь с установленной симптомологией, независимо от исходного события, будет рассматриваться феноменология, лежащая в основе этого события, с точки зрения поддержания критических функций безопасности путем рассмотрения критериев граничных реакций. В случае если изменяемость показателей параметров, лежащих в основе феноменологии предполагаемого исходного аварийного события, входит в диапазон соответствующей феноменологии поверхности граничных реакций, мы подтверждаем правильность предусмотренных в аварийной инструкции действий оператора, доказав, что последствия предполагаемой аварии охватываются анализом соответствующих граничных режимов. А ситуация должна всегда быть именно такой, если мы правильно выбрали критические функции безопасности и провели необходимые расчеты граничных режимов.

Весь этот процесс фиксируется в техническом обосновании СОАИ. Принятая в аварийной инструкции стратегия аварийных действий оправдывается выдвиганием и обоснованием технических доводов о том, что величины показателей параметров, которые руководят симптомологией предполагаемых исходных аварийных событий, огибаются соответствующими величинами показателей параметров в соответствующем тематическом отчете. Любые аварийные процессы, не прошедшие успешно такую проверку, придется индивидуально проанализировать, повторно применив эту методику.

IV.6 RESPONSIBILITY / ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

This methodology is intended to illustrate the analytical thought process in determining bounding assumptions. It is generically applicable to any CSF, scenario or strategy calculation. The examples used are not necessarily complete or appropriate. They attempt to provide insight into hypothetical, though representative, applications and should not be applied directly without assessment. It is the responsibility of the performing analyst to objectively implement the methodology.

IV.8 ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Применяя описанную здесь методику, мы стремимся продемонстрировать тот аналитический ход мышления, который требуется при определении ограничивающих допущений. Аналогичный ход мышления свойственен анализу любых КФБ, расчетных сценариев или предполагаемых стратегий. Отметим, что приведенные примеры могут оказаться неполными или даже неподходящими. Тем не менее, приведя их, мы попытались проникнуть в суть хотя и гипотетического, но в то же время показательного применения методики. Однако, использовать эти примеры напрямую без надлежащей оценки не рекомендуется. Ответственность за объективное применение описанной методики возлагается на расчетчика.

V. DOCUMENTATION / ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ

The product of the analytical validation effort is the Technical Basis Document (TBD). The form and format of this document is set by the Regulatory Body. Some general considerations are provided below.

V.1 TECHNICAL BASIS DOCUMENT / ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

The TBD is a compilation of the analytical results of the individual bounding mode analyses. The objective of the documentation is to technically justify the efficacy of the operator guidance in maintaining the CSFs. The technical justification must demonstrate that the guidance is reasonable, effective and prudent.

V.2 TOPICAL ANALYSIS REPORTS / ТЕМАТИЧЕСКИЕ ОТЧЕТЫ ПО БЕЗОПАСНОСТИ (ТОБ)

These reports document in detail the individual EOP bounding mode analyses. These reports must be referenced in the TBD as the basis of the technical justification. A workbook containing the computational history supporting the topical report analyses must be created and maintained for the life of the plant. Appendix D describes the topical report workbook contents.

V. DOCUMENTATION / ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ

To Be Translated

VI. REFERENCES / ССЫЛКИ

1. "Emergency Operating Instruction (EOI) Development Methodology," R. J. Beelman, June 4, 1997, Prague, Czech Republic.
2. Билман, Р. Дж. Методика разработки симптомно-ориентированных аварийных инструкций (СОАИ). Лекция. 04.06.1997 г. (Прага, Чешская Республика).
3. "Emergency Operating Instruction (EOI) Analysis Methodology," R. J. Beelman, VNIIAES, Moscow, Russia, 2 – 4 Dec. 1997; Energoproekt, Sofia, Bulgaria, 16 – 18 Dec. 1997; Zaporizhzhе NPP, Energodar, Ukraine, 27 – 29 Jan. 1998.
4. "Emergency Operating Instruction Analysis (Methodology Development)," R. J. Beelman, March, 1998.
5. "EOI Analysis Short Course," R. J. Beelman and Jerry Judd, 18 May – 12 June 1998, Idaho Falls, Idaho, USA.
6. "Emergency Operating Instruction (EOI) Analytical Validation," R. J. Beelman, September 15, 1998, WANO - Moscow, Russia.
7. "Order of Analyses," EOI Bulletin US#1, R. J. Beelman, August 25, 1998.
8. "VVER Bounding SG Inventory Considerations," EOI Bulletin US#2, R. J. Beelman, September 23, 1998.
9. "Base Case Considerations," EOI Bulletin US#3, R. J. Beelman, November 10, 1998.
10. "LBLOCA, Station Blackout and ATWS Considerations," EOI Bulletin US#4, R. J. Beelman, November 20, 1998
11. "Interpretation of Results," EOI Bulletin US#5, R. J. Beelman, December 18, 1998.
12. "Application of Results," EOI Bulletin US#6, R. J. Beelman, May 21, 1999.
13. "Bounding Assumption Specification," EOI Bulletin US#7, R. J. Beelman, June 4, 1999.
14. Билман, Р. Дж. Методика проведения расчетно-аналитического обоснования симптомно-ориентированных аварийных инструкций (СОАИ). Семинар. 02-04.12.1997 г. (ВНИИАЭС, Москва, Россия). 16-18.12.1997 г. (Энергопроект, София, Болгария). 27-29.01.1998 (Запорожская АЭС, Энергодар, Украина).
15. Билман, Р. Дж. Расчетно-аналитическое обоснование симптомно-ориентированных аварийных инструкций (Разработка методики). Март 1998 г.
16. Билман, Р. Дж. и Джерри Джад. Интенсивный курс по проведению расчетно-аналитического обоснования СОАИ. 18.05-12.06.1998 г. (г. Айдахо Фалс, шт. Айдахо, США)
17. Билман, Р. Дж. Аналитическая валидация обоснования симптомно-ориентированных аварийных инструкций (СОАИ). Лекция. 15.09.1998 г. (ВАО АЭС, Москва, Россия)
18. Билман, Р. Дж. Последовательность проведения расчетов. Бюллетень по СОАИ № 1. 25.08.1998 г.
19. Билман, Р. Дж. Что нужно учесть при определении граничных условий по компенсации питводды в ПГ энергоблока с реактором типа ВВЭР? Бюллетень по СОАИ № 2. 23.09.1998 г.
20. Билман, Р. Дж. Что нужно учесть при проведении базовых расчетов? Бюллетень по СОАИ № 3. 10.11.1998 г.

21. Билман, Р. Дж. Что нужно учесть при анализе большой течи, обесточивании энергоблока и несрабатывании аварийной защиты реактора? Бюллетень по СОАИ № 4. 20.11.1998 г.
22. Билман, Р. Дж. Осмысление полученных результатов. Бюллетень по СОАИ № 5. 18.12.1998 г.
23. Билман, Р. Дж. Применение полученных результатов. Бюллетень по СОАИ № 6. 21.05.1999 г.
24. Билман, Р. Дж. Определение ограничивающих допущений. Бюллетень по СОАИ № 7. 04.06.1999 г.

VII. APPENDICES / ПРИЛОЖЕНИЯ

**APPENDIX A - BOUNDING SEQUENCE ANALYSIS MATRIX CONSTRUCTION /
СОЗДАНИЕ МАТРИЦЫ ПО АНАЛИЗУ ОГИБАЮЩИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТЕКАНИЯ АВАРИИ..... 61**

**APPENDIX B - BOUNDING ASSUMPTION SPECIFICATION / ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДОПУЩЕНИЙ 69**

**APPENDIX C - EXAMPLE EOI THERMAL HYDRAULIC CALCULATION / ПРИМЕР Т-Г
РАСЧЕТА ДЛЯ СОАИ 79**

**APPENDIX D - CONTENTS OF TOPICAL REPORT WORKBOOK / СОДЕРЖАНИЕ
ТЕМАТИЧЕСКОГО ОТЧЕТА ПО БЕЗОПАСНОСТИ..... 91**

VII. ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ «А» – СОЗДАНИЕ МАТРИЦЫ ПО АНАЛИЗУ ОГИБАЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТЕКАНИЯ АВАРИИ.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ «Б» – ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДОПУЩЕНИЙ.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ «В» – ПРИМЕР Т-Г РАСЧЕТА ДЛЯ СОАИ	79
ПРИЛОЖЕНИЕ «Г» – СОДЕРЖАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО ОТЧЕТА ПО БЕЗОПАСНОСТИ.....	91

**APPENDIX A - BOUNDING SEQUENCE ANALYSIS MATRIX
CONSTRUCTION / СОЗДАНИЕ МАТРИЦЫ ПО АНАЛИЗУ ОГИБАЮЩИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТЕКАНИЯ АВАРИИ**

The process of systematically addressing the analysis required to validate the symptomatic EOI strategies begins by identifying the symptomology associated with each class of initiating event. The basis of symptom-based EOI analysis is founded in the realization that regardless of the initiating event, the response to a particular symptom is generic.

Procedure:

Step 1. Identify the symptoms upon which the EOIs are based.

(for illustration purposes only...not necessarily complete):

lack of subcooling	inadequate shutdown margin	inadequate core cooling
lack of SG heat transfer	loss of natural circulation	excessive cooldown
high containment radiation	imminent PTS	etc...

Step 2. Construct a matrix correlating symptoms with classes of initiating events

<i>Transient Event Classes</i>	.....<i>S y m p t o m s</i> <i>(hypothetical - for illustration only)</i>			
	loss of subcooling	excessive cooldown	lack of SG heat transfer	<i>etc...</i>
small break				
large break				
steam leak				
loss of feed				
overfeed				
<i>etc.</i> ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

TABLE VII-A-1. SYMPTOM MATRIX

Step 3. Populate the matrix with entries denoting symptomatic EOI sequences applicable to the various initiating event classes.

<i>Transient Event Classes</i>	.....<i>S y m p t o m s</i> <i>(hypothetical - for illustration only)</i>			
	loss of subcooling	excessive cooldown	lack of SG heat transfer	<i>etc...</i>
small break	X		X	
large break	X		X	
steam leak		X		
loss of feed	X		X	
overfeed		X		
<i>etc.</i> ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

TABLE VII-A-2. POPULATED SYMPTOM MATRIX
(entries denote symptoms associated with initiating events)

**ПРИЛОЖЕНИЕ «А» – СОЗДАНИЕ МАТРИЦЫ ПО АНАЛИЗУ
ОГИБАЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТЕКАНИЯ АВАРИИ**

The process of systematically addressing the analysis required to validate the symptomatic EOI strategies begins by identifying the symptomology associated with each class of initiating event. The basis of symptom based EOI analysis is founded in the realization that regardless of the initiating event, the response to a particular symptom is generic.

Процедура:

Шаг 1. Определить, на каких симптомах основывается СОАИ

(предоставляются только в качестве примера-возможно, пропущена информация):

Нарушение условий запаса до кипения	Недостаточный запас до кипения	Недостаточное расхолаживание а.з.
Отсутствие переноса тепла через ПГ	Срыв ЕЦ	Превышение скорости расхолаживания 1-го контура
Повышенный уровень радиоактивности в гермозоне	Надвигающийся тепловой удар в РУ	и т.п.

Шаг 2. Создать матрицу соотношения симптомов с различными категориями исходных событий

Категории переходных процессов	..... С и м п т о м ы (гипотетические—только в качестве примера)			
	нарушение условий по запасу до кипения	превышение скорости расхолаживания 1-го контура	отсутствие переноса тепла от а.з. реактора через ПГ	и т.п.
малая течь				
большая течь				
паровая течь				
потеря ПВ				
перепитка				
и т. п. ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

ТАБЛИЦА VII-A-1. Матрица Симптомов Аварийных Режимов

Шаг 3. Заполнить матрицу информацией, отражающей последовательность СОАИ, которая относится к различным категориям исходных событий.

Категории переходных процессов	..... С и м п т о м ы (гипотетические—только в качестве примера)			
	нарушение условий по запасу до кипения	превышение скорости расхолаживания 1-го контура	отсутствие переноса тепла от а.з. реактора через ПГ	и т.п.
малая течь	X		X	
большая течь	X		X	
паровая течь		X		
потеря ПВ	X		X	
перепитка		X		
и т. п. ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

ТАБЛИЦА VII-A-2. Заполненная Матрица Симптомов Аварийных Режимов

Step 4. Transform the Symptom Matrix to a Matrix correlating the EOIs to the CSFs by collecting the symptoms and associated event classes under the appropriate CSF heading.

Emergency Operating Instructions (hypothetical)	.....<i>Critical Safety Functions</i> (hypothetical - for illustration only)			
	primary coolant inventory	core reactivity (subcriticality)	core heat removal (core cooling)	<i>etc.</i> ...
	<i>loss of subcooling</i>	<i>excessive cooldown</i>	<i>lack of SG heat transfer</i>	<i>etc.</i> ...
	<i>etc.</i> ⋮	<i>etc.</i> ⋮	<i>etc.</i> ⋮	<i>etc.</i> ⋮
response to inadequate subcooling	small LOCAs large LOCAs loss of feed			
response to recriticality		steam leaks overfeed		
response to inadequate core cooling			small LOCAs large LOCAs loss of feed	
<i>etc.</i> ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

TABLE VII-A-3. TRANSFORMATION MATRIX

Step 5. Populate the matrix with entries identifying prospective bounding scenarios corresponding to Symptom Matrix entries associated with a particular CSF.

Emergency Operating Instructions (hypothetical)	<i>Initiating Event Class</i>	.....<i>Critical Safety Functions</i> (hypothetical - for illustration only)			
		primary coolant inventory	core reactivity (subcriticality)	core heat re- moval (core cooling)	<i>etc.</i> ...
response to inadequate subcooling	small LOCAs large LOCAs loss of feed	S ₁ , S ₂ , S ₃ L ₁ F ₁			
response to recriticality	steam leaks overfeed		M ₁ F ₂		
response to inadequate core cooling	small LOCAs large LOCAs loss of feed			S ₁ , S ₂ , S ₃ L ₁ F ₁	
<i>etc.</i> ⋮	<i>etc.</i> ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

TABLE VII-A-4. INTERMEDIATE MATRIX

Legend:

- S₁ might be a small break which depressurizes slowly enough to result in a core uncover.
- S₂ might be a small break which repressurizes resulting in a slow core uncover.
- S₃ might be a small break which remains at saturation long enough to result in a slow core uncover.
- L₁ might be the limiting large break.
- F₁ might be the limiting loss of feed.
- F₂ might be the limiting overfeed.
- M₁ might be the limiting steam line break.

Шаг 4. Transform the Symptom Matrix to a Matrix correlating the EOIs to the CSFs by collecting the symptoms and associated event classes under the appropriate CSF heading.

Аварийные действия <i>(гипотетические)</i>	<i>..... Критические функции безопасности..... (гипотетические— только в качестве примера)</i>			
	наполненность	реактивность а.з. (подкритичность)	теплоотвод (расхолаживание а.з.)	<i>и т.п. ...</i>
	<i>нарушение условий по запасу до кипения</i>	<i>превышение скорости расхолаживания 1-го контура</i>	<i>отсутствие переноса тепла от а.з. реактора через ПГ</i>	<i>и т.п. ...</i>
	<i>и т.п. ⋮</i>	<i>и т.п. ⋮</i>	<i>и т.п. ⋮</i>	<i>и т.п. ⋮</i>
реакция на недостаточный запас до кипения	малые течи большие течи потеря ПВ			
реакция на наличие условий выхода в повторную критичность		паровые течи перепитка		
реакция на недостаточное расхолаживание а.з.			малые течи большие течи потеря ПВ	
<i>и т.п. ⋮</i>	<i>⋮</i>	<i>⋮</i>	<i>⋮</i>	<i>⋮</i>

ТАБЛИЦА VII-A-3. МАТРИЦА СООТВЕТСТВИЙ

Шаг 5. Заполнить матрицу информацией, отражающей предполагаемые расчетные сценарии граничных режимов, относящиеся к конкретной КФБ.

АВАРИЙНЫЕ ДЕЙСТВИЯ (ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ)	КАТЕГОРИИ ИСХОДНОГО СОБЫТИЯ	<i>.... Критические функции безопасности.... (гипотетические— только в качестве примера)</i>			
		наполненность	реактивность а.з. (подкритичность)	теплоотвод (расхолаживание а.з.)	<i>и т.п. ...</i>
реакция на недостаточный запас до кипения	малые течи большие течи потеря ПВ	S_1, S_2, S_3 L_1 F_1			
реакция на наличие условий выхода в повторную критичность	паровые течи перепитка		M_1 F_2		
реакция на недостаточное расхолаживание а.з.	малые течи большие течи потеря ПВ			S_1, S_2, S_3 L_1 F_1	
<i>и т.п. ⋮</i>	<i>и т.п. ⋮</i>	<i>⋮</i>	<i>⋮</i>	<i>⋮</i>	<i>⋮</i>

ТАБЛИЦА VII-A-4. ПРОМЕЖУТОЧНАЯ МАТРИЦА

Условные обозначения:

- S_1 , предположим, относится к малой течи с достаточно длительной разгерметизацией, что приведет к оголению активной зоны.
- S_2 , предположим, относится к малой течи с повторным повышением давления в 1-м контуре, что приведет к медленному оголению активной зоны.
- S_3 , предположим, относится к малой течи с достаточно длительным периодом насыщения для того, чтобы привести к медленному оголению активной зоны.
- L_1 , предположим, относится к огибающей большой течи.
- F_1 , предположим, относится к потере питводы.
- F_2 , предположим, относится к огибающей перепитке.
- M_1 , предположим, относится к разрыву острого пара огибающего Ду.

- Step 6.** Identify initiating events with similar transient signatures which share similar phenomenology.
- Step 7.** Identify unique transient scenarios which exhibit distinct phenomenology or which are specific to the format of the procedures.
- Step 8.** Simplify the Analysis Matrix using engineering judgment and scoping calculations by eliminating entries which are bounded by other scenarios.

Emergency Operating Instructions <i>(hypothetical)</i>	<i>.....Critical Safety Functions..... (hypothetical - for illustration only)</i>			
	primary coolant inventory[*]	core reactivity[†] (subcriticality)	core heat removal[‡] (core cooling)	<i>etc. ...</i>
response to inadequate subcooling	S_1, S_2, S_3 L_1 F_1			
response to recriticality		M_1 F_2		
response to inadequate core cooling			S_1, S_2, S_3 L_1 F_1	
<i>etc.</i> ⋮ ⋮	⋮ ⋮	⋮ ⋮	⋮ ⋮	⋮ ⋮

TABLE VII-A-5. ANALYSIS SIMPLIFICATION MATRIX
(~~stricken entries~~ indicate candidates for elimination - see below)

- Step 9.** Preserve any unique transient scenarios.

*** Primary Coolant Inventory:**

- S_1 may not bound S_2 since different circumstances are involved.
- S_2 may possibly bound S_3 if it results in reaching lower coolant inventories at higher decay heat levels; therefore, S_3 might possibly be eliminated.
- S_2 may possibly bound F_1 since both transients repressurize resulting in higher coolant depletion at lower ECC delivery rates; therefore, F_1 might possibly be eliminated.
- L_1 may not bound either S_1 or S_2 , or vice versa, since different phenomena are involved (i.e., boiloff versus blowdown).

† Core Reactivity:

- M_1 may possibly bound F_2 for recriticality if M_1 produces a lower coolant average temperature and higher power level; therefore, F_2 might possibly be eliminated.

‡ Core Heat Removal:

- S_1 may possibly bound S_2, S_3 and F_1 for core heat removal if the core uncover is achieved earlier at higher decay power levels; therefore, S_2, S_3 and F_1 might possibly be eliminated.
- L_1 may not bound either S_1, S_2, S_3 or F_1 , or vice versa, since different phenomena are involved (i.e., dryout versus CHF).

- Шаг 6.** Перечислить исходные события с похожими «отпечатками пальцев», которые описываются посредством одной и той же феноменологии.
- Шаг 7.** Определить своеобразные расчетные сценарии переходных режимов, которые проявляют уникальную феноменологию или обусловлены содержанием инструкций.
- Шаг 8.** Упростить матрицу расчетов на основании инженерных доводов и оценочных расчетов, убрав варианты, которые огибаются другими сценариями.

Аварийные действия (гипотетические)	....Критические функции безопасности.... (гипотетические— только в качестве примера)			
	наполненность [*]	реактивность а.з. [†] (подкритичность)	теплоотвод [‡] (расхолаживание а.з.)	и т.п. •••
реакция на недостаточный запас до кипения	S ₁ , S ₂ , S ₃ L ₁ F ₁			
реакция на наличие условий выхода в повторную критичность		M ₁ F ₂		
реакция на недостаточное расхолаживание а.з.			S ₁ , S ₂ , S ₃ L ₁ F ₁	
и т.п. • • •	• • •	• • •	• • •	• • •

ТАБЛИЦА VII-A-5. МАТРИЦА УПРОЩЕНИЯ РАСЧЕТОВ
(нуль в клетке обозначаются кандидаты на устранение)

- Шаг 9.** Сохранить своеобразные расчетные сценарии переходных режимов.

*** Наполненность**

S₁ , пожалуй, не огибает S₂, так как мы имеем дело с разными обстоятельствами.

S₂ , пожалуй, огибает S₃, если приводит к меньшим количествам теплоносителя при большем объеме остаточного тепла; поэтому, возможно, мы S₃ уберем.

S₂ , пожалуй, огибает F₁, так как в обоих случаях мы имеем дело с повторным повышением давления, что приведет к более высокому уровню истощения теплоносителя при меньшем расходе аварийного запаса теплоносителя первого контура (т.е., борной кислоты); поэтому, возможно, мы F₁ уберем.

L₁ , пожалуй, не огибает ни S₁ ни S₂, и наоборот, так как имеем дело с разными обстоятельствами (т.е. отпариванием и продувкой).

† Реактивность а.з.

M₁ , пожалуй, огибает F₂ по части повторной критичности если в результате M₁ получается меньшая средняя температура теплоносителя и большая мощность; поэтому, возможно мы F₂ уберем.

‡ Теплоотвод

S₁ , пожалуй, огибает S₂, S₃ and F₁ по части отвода из а.з. тепла в случае достижения оголения а.з. при большей мощности; поэтому, возможно мы уберем S₂, S₃ and F₁.

L₁ , пожалуй, не огибает ни одно из событий S₁, S₂, S₃, F₁ и наоборот, так как имеем дело с разными обстоятельствам (т.е. осушением и критическим тепловым потоком).

Step 10. Analyze the transient modes remaining in the matrix.

Emergency Operating Instructions <i>(hypothetical)</i>	<i>.....Critical Safety Functions.....</i> <i>(hypothetical - for illustration only)</i>			
	primary coolant inventory	core reactivity (subcriticality)	core heat removal (core cooling)	<i>etc. ...</i>
response to inadequate subcooling	$S_1, S_2,$ L_1			
response to recriticality		M_1		
response to inadequate core cooling			S_1 L_1	
<i>etc.</i> ⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

TABLE VII-A-6. ANALYSIS MATRIX
(entries indicate bounding modes for EOI analysis)

Шаг 10. Провести расчеты по оставшимся в матрице режимам.

Аварийные действия (гипотетические)	...Критические функции безопасности... (гипотетические— только в качестве примера)			
	наполненность	реактивность а.з. (подкритичность)	Теплоотвод (расхолаживание а.з.)	и т.п. ●●●
реакция на недостаточный запас до кипения	S ₁ , S ₂ L ₁			
реакция на наличие условий выхода в повторную критичность		M ₁		
реакция на недостаточное расхолаживание а.з.			S ₁ L ₁	
и т.п. ● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●

ТАБЛИЦА VII-A-6. МАТРИЦА РАСЧЕТОВ

(указываются огибающие режимы для расчетно-аналитического обоснования СОАИ)

**APPENDIX B - BOUNDING ASSUMPTION SPECIFICATION / ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДОПУЩЕНИЙ**

First and foremost, bounding assumptions are calculation specific (especially, with regard to the operator action strategies), not bounding mode specific, and not even necessarily scenario specific. Bounding assumptions pertain to limiting plant response. In all cases they pertain to the most adverse conditions in terms of maintaining or restoring the Critical Safety Functions (CSFs). Therefore, they pertain to the mechanisms supporting the CSFs. The specification of bounding conditions is always approached from the standpoint of presenting the maximum challenge to the CSF in question. As always in EOI analysis, the approach proceeds from the CSF basis. Please keep these points in mind as I attempt to present a concise, coherent and consistent approach to defining bounding conditions.

B.1 DEVELOPMENT / ПРОЦЕСС ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА

In general, the first step in developing appropriate bounding conditions is to determine which plant capabilities and/or processes the CSF in question relies upon. This was accomplished during the development of the bounding matrices. Recall the progression from Fission Product Barriers to CSFs to Plant Processes to Symptoms Table VII-B-1 depicts symptomatic development specifically for one mechanism pertaining to the Core Heat Removal CSF.

Fission Product Barrier:	Fuel Cladding					
Critical Safety Function:	Core Heat Removal					
Plant Process:	Primary-to-Secondary Heat Transfer					
Symptoms:	Excessive heat transfer			Inadequate heat transfer		
Causes:	MSLB	Overfeed	etc...	head bubble	LOFW	etc...
Indications:	$\downarrow T_{ave}$	$\downarrow T_{ave}$		$\uparrow T_{CETs}$	$\uparrow T_{CETs}$	
	$\downarrow P_{RCS}$	$\downarrow P_{RCS}$		low L_{RxVsl}	$\uparrow P_{pZR}$ & $\uparrow L_{pZR}$	
	$\uparrow Q_{Rx}$	$\uparrow Q_{Rx}$		$P_{SG} \neq f(T_{pri})$	$P_{SG} \neq f(T_{pri})$	
	high M_{stm}	high L_{SG}		$\uparrow L_{pZR}$ as $\downarrow P_{pZR}$	low L_{SG}	

TABLE VII-B-1. SYMPTOM DEVELOPMENT
Hypothetical - not necessarily complete
(for illustration purposes only)

ПРИЛОЖЕНИЕ «Б» – ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДОПУЩЕНИЙ

В первую очередь, надо иметь ввиду тот факт, что ограничивающие допущения являются специфичными для каждого расчета (особенно в связи со стратегией определения действий оперативного персонала), а не специфичными для определенного граничного режима, и даже не обязательно специфичными для определенного расчетного сценария. Во всех случаях, эти допущения должны относиться к наихудшим возможным условиям работы энергоблока с точки зрения поддержания или восстановления критических функций безопасности (КФБ). Поэтому они относятся к механизмам, которые поддерживают удовлетворение КФБ. При определении граничных условий мы всегда начинаем с того, каким образом ставится под максимальную угрозу любая интересующая нас критическая функция безопасности. Следовательно, при любом анализе СОАИ наш подход всегда начинается с учета КФБ. Прошу держать в памяти эти общие соображения, а я в свою очередь попытаюсь представить четко сформулированный, связный и последовательный подход к определению граничных условий.

В-1. ПРОЦЕСС ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА

В общих чертах, при определении подходящих граничных условий расчета первым шагом является необходимость установить, на какие проектные возможности и/или технологические процессы опирается интересующая нас КФБ. Это мы сделали, разработав матрицы огибающих (граничных) условий. Напомню о переходе от рассмотрения «Барьеров продуктов распада» к «КФБ», затем к «Технологическим процессам», а оттуда к «Симптомам». В Таблице № VII-B-1 представлено определение симптомов, связанных с одним из механизмов, относящихся к КФБ «Теплоотвод».

Барьер продуктов распада	Оболочка твэлов					
Критическая функция безопасности	Теплоотвод					
Технологический процесс	Перенос тепла из 1к во 2к					
Симптомы	Превышение теплоотвода			Недостаточность теплоотвода		
Причины	Разрыв острого пара	Перепитка	и т.п.	Паровая подушка в верхнем блоке	Потеря питводы	и т.п.
Индикаторы (уникальный набор показателей)	$\downarrow T_{cp}$	$\downarrow T_{cp}$		$\uparrow T_{на\ выходе\ из\ кассеты}$	$\uparrow T_{на\ выходе\ из\ кассеты}$	
	$\downarrow P_{1к}$	$\downarrow P_{1к}$		низкий $L_{корп}$	$\uparrow P_{кд}$ & $\uparrow L_{кд}$	
	$\uparrow Q_{ру}$	$\uparrow Q_{ру}$		$P_{пг} \neq f(T_{1к})$	$P_{пг} \neq f(T_{1к})$	
	повышенный $M_{пар}$	повышенный $L_{пг}$		$\uparrow L_{кд}$ при $\downarrow P_{кд}$	низкий $L_{пг}$	

ТАБЛИЦА VII-B-1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИМПТОМОВ

Все данные гипотетические—возможно, пропущена информация (предоставляются только в качестве примера)

Recall also that a symptom is the manifestation of a disturbance in a plant process (i.e., mechanism) underlying maintenance of a particular CSF. So for each symptom there could be a different set of bounding assumptions depending upon the corresponding EOI functional response strategies.

The next step is then to disadvantage that capability or mechanism to the most adverse, realistically-attainable extent (i.e., discrete component availability with regard to ECC and/or feedwater pumps, or limiting flow rates with regard to valve or break flow rates) consistent with a bounding, best-estimate approach. For some situations, limiting flow rates may be maximal in terms of being most adverse; yet, for other situations, limiting flow rates may be minimal in terms of being most adverse. For example, maximal steam generator relief valve flow rate may be bounding for RCS overcooling; however, minimal pressurizer relief valve flow rate may be bounding for RCS over-pressurization. It depends on the mechanism upon which the CSF relies for support and on an assessment of which extreme (i.e., maximal or minimal) most exacerbates the particular situation. Table VII-B-2 illustrates systematic development of hypothetical bounding assumptions specifically for the case of *Response to Inadequate Core Cooling*.

Fission Product Barrier:	Fuel Cladding													
Critical Safety Function:	Core Heat Removal													
Symptom:	Inadequate Primary-to-Secondary Heat Transfer													
Functional Response Status:	Inadequate Core Cooling													
Functional Recovery Strategy:	Restore Primary-to-Secondary Heat Transfer						Primary Feed & Bleed (alternate strategy)							
Requirements:	RCS Coolant		Secondary Heat Sink		etc...		RCS Coolant		Vent Path		etc...			
Mechanism:	Natural Circulation		Convective Heat Transfer		•		Once Through Core Cooling		Convective Mass Transfer		•			
Possible Bounding Circumstance:	Interruption of Natural Circulation		SG Dryout		•		Slow core uncover		PZR Safety Setpoint Saturation		•			
Component Resources:	HPI	LPI	etc.	EFW	BRU-A	etc.	•	HPI	LPI	etc.	YR	?	etc.	•
Bounding Assumption:	min	min	••	min	min	••	•	min	min	••	min	?	••	•

TABLE VII-B-2. BOUNDING ASSUMPTION DEVELOPMENT
Hypothetical - not necessarily complete
(for illustration purposes only)

Напомню также, что симптом—это ни что иное, как показатель нарушения технологического процесса (т.е., механизма), который должен поддержать удовлетворение конкретной КФБ. Следовательно, в зависимости от выбора стратегии по восстановлению нарушенной КФБ в соответствующей СОАИ для каждого симптома может существовать своеобразный набор ограничивающих допущений.

Следующим шагом является нарушение конкретной проектной возможности или технологического процесса (напр. работоспособность конкретного агрегата по отношению к аварийному запасу теплоносителя первого контура и/или питательным насосам; ограничение расхода через арматуру или течь) до предельно неблагоприятной, реально возможной степени, соответствующей реалистичному подходу с применением огибающих режимов. В некоторых ситуациях огибающим (т.е. самым неблагоприятным) может оказаться максимально возможный расход, а в других ситуациях огибающим может оказаться минимальный расход. Например, в связи с излишним расхолаживанием первого контура огибающим может оказаться максимальный расход через ПК ПГ; с другой стороны, в случае переопрессовки первого контура огибающим может оказаться минимальный расход через ПК КД. В конечном счете все зависит от того, на какой механизм опирается поддержание КФБ, и на оценку расчетчиком того, какая крайность (т.е., максимальный или минимальный расход) в большей степени ухудшит эту частную ситуацию. Ниже в Таблице № VII-B-2 показана системная разработка гипотетических ограничивающих допущений на особый случай «Реакция на недостаточное расхолаживание а.з.»

Барьер продуктов распада	Оболочка твэлов													
Критическая функция безопасности	Теплоотвод													
Симптом	Перенос тепла из 1к во 2к													
Состояние КФБ	Недостаточность расхолаживания а.з.													
Стратегия по восстановлению нарушенной КФБ	Восстановить перенос тепла из 1к во 2к						Организовать сброс—подпитку первого контура (альтернативная стратегия)							
Что требуется	Теплоноситель 1к			Теплообмен со стороны 2к			и т.п.	Теплоноситель 1к			Возможность сброса жидкости		и т.п.	
Механизм	Естественная циркуляция			Конвективный теплоперенос				Проточное расхолаживание а.з.			Конвективный массоперенос			
Возможно ограничивающая ситуация	Срыв естественной циркуляции			Осушение ПГ				Медленно происходящее оголение а.з.			Насыщение теплоносителя при давлении уставки защиты КД			
Агрегаты	НАП	НАЗ	и т.п.	АПН	БРУ-А	и т.п.		НАП	НАЗ	и т.п.	YR	?	и т.п.	
Ограничивающее допущение	мин	мин	•••	мин	мин	•••		мин	мин	•••	мин	?	•••	

ТАБЛИЦА VII-B-2. РАЗРАБОТКА ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДОПУЩЕНИЙ
Все данные гипотетические—возможно, пропущена информация
(предоставляются только в качестве примера)

With respect to the Core Heat Removal CSF, there are two requirements to maintain core cooling mechanisms: 1) coolant with which to remove heat from the core (RCS Inventory); and, 2) a place to dispose of the heat (Heat Sink). Hence, there will be at least two sets of bounding conditions, and, therefore, at least two separate bounding calculations required. The first requirement deals with primary coolant inventory availability. The second requirement deals with convective heat sink availability: convective heat transfer to the secondary (secondary cooldown), and/or convective mass transfer to the containment (primary feed & bleed).

With regard to secondary cooldown, there are two bounding considerations: availability of feedwater, and viability of natural circulation. Availability of feedwater pertains to the Heat Sink convective heat transfer mechanism, while viability of natural circulation pertains to the RCS Inventory natural circulation mechanism. Therefore, there will be at least two sets of bounding circumstances for this strategy alone. Each must be analyzed separately and distinctly.

- The restriction on using the SGs for cooldown below 1.1m SG level imposes a bounding operational limit and eliminates the need for considering this strategy beyond this point. The operational constraint becomes the bounding circumstance. The bounding assumption might entail limiting EFW availability.
- In the event the heat sink remains viable, an independent bounding analysis pertaining to restoration of natural circulation would still be required. The bounding circumstance might be loss of natural circulation (NC) during an SBLOCA in which the break flow matches ECC flow at a stabilized pressure. Hypothetically, the bounding assumption might be limiting restoration of off-site electrical power with which to bump the Main Circulation Pumps (MCPs) to restore natural circulation (NC) with limiting emergency diesel generator availability.

Что касается КФБ «Теплоотвод», требуется два момента для того, чтобы механизмы расхолаживания а.з. сработали: (1) наличие теплоносителя, которым можно отводить тепловыделения из активной зоны [запас раствора борной кислоты первого контура] и (2) наличие места, куда можно сбрасывать тепловыделения [теплоперенос]. Следовательно, будут существовать не менее, чем два комплекта граничных условий, что означает наличие потребности в проведении не менее, чем двух серий расчетов. Первый момент относится к наличию запаса теплоносителя в 1 контуре, а второй к наличию условий конвективного теплопереноса—конвективный теплоперенос через 2 контур (расхолаживание через 2 контур) и/или конвективный массоперенос в гермооболочку (сброс—подпитка первого контура).

Что касается расхолаживания через 2 контур, существуют два важных огибающих фактора: наличие питательной воды и возможность установления естественной циркуляции. Наличие питательной воды относится к механизму конвективного теплопереноса (поглощение тепла), а возможность установления естественной циркуляции относится к механизму теплоотвода в условиях естественной циркуляции. Из вышесказанного следует, что мы имеем дело с не менее, чем двумя комплектами граничных условий только для проведения расчетов по этой одной стратегии. Каждый комплект придется проанализировать в отдельности и независимо друг от друга.

- Существующий эксплуатационный запрет применения при расхолаживании 1 контура парогенераторов в случае, если уровень в них упадет ниже уставки 1,1 м, налагает ограничивающий предел, освободив расчетчика от необходимости учитывать такую стратегию за этим пределом. В таком случае эксплуатационный запрет превращается в ограничивающую ситуацию, а такое ограничивающее допущение может привести к уменьшению возможностей аварийного питания ПГ.
- В случае, если не произошло нарушение условий теплообмена, все еще требуется проведение анализа граничных режимов, касающихся восстановления естественной циркуляции. Огибающей ситуацией может выступать срыв естественной циркуляции (ЕЦ) при малой течи в случае равновесия расхода через течь и расхода аварийного запаса теплоносителя при стабильном уровне давления в системе. Хотя бы гипотетически, в качестве ограничивающего допущения может выступать задержка при восстановлении внешнего питания, что исключает возможность «подтолкнуть» ГЦН для того, чтобы восстановить условия естественной циркуляции даже при ограниченной работоспособности резервных дизелей энергоснабжения.

With regard to primary feed & bleed, there are also two bounding considerations: availability of ECC, and available manually controllable RCS relief capacity. Recourse to this strategy reasonably assumes loss of SG heat sink resulting in RCS pressurization to the pressurizer safety relief setpoint. Once again there are two pertinent CSF mechanisms: once through cooling pertaining to RCS Inventory, and primary vent path pertaining to Heat Sink. Therefore, there will be at least two sets of bounding circumstances for this strategy also. Each must be analyzed separately and distinctly.

- One bounding circumstance might involve RCS saturation at the pressurizer safety relief setpoint. This bounds both RCS energy content and reliance on heat sink. Bounding assumptions might include limiting ECC availability and limiting emergency venting capacity.
- The other bounding circumstance might involve core uncover due to RCS inventory boiloff or leakage at high pressure. This bounds inventory depletion and ECC shutoff head considerations depending upon component availability. Bounding assumptions might include limiting emergency venting capacity and limiting shut-off head ECC component availability. There may be tradeoffs to be evaluated in terms of shut-off head decompression times relative to respective component flow capacities in averting core damage.

Что касается сброса—подпитки первого контура, здесь мы также имеем дело с двумя ограничивающими ситуациями—наличием аварийного запаса теплоносителя и возможностью регулирования вручную давления в 1 контуре. Использование такой стратегии предполагает нарушение условий теплообмена со стороны 2к, что приведет к увеличению давления в 1 контуре вплоть до уровня уставки ПК КД. Еще раз сталкиваемся с двумя существенными механизмами поддержания КФБ—проточным расхолаживением (относящимся к наполненности первого контура) и наличием возможности сброса жидкости из первого контура (относящимся к теплопереносу). Из вышесказанного следует, что мы имеем дело с не менее, чем двумя комплектами граничных условий для проведения расчетов и по этой стратегии. Каждый комплект придется проанализировать в отдельности и независимо друг от друга.

- Одна ограничивающая ситуация может относиться к насыщению теплоносителя в 1 контуре при давлении уставки защиты КД. Эта ситуация огибает как энергосодержание 1 контура, так и вероятность наличия условий теплопереноса. В качестве ограничивающего допущения могут выступать ограничения по наличию аварийного запаса теплоносителя и по возможностям аварийного сброса жидкости из первого контура.
- Вторая ограничивающая ситуация может относиться к оголению активной зоны за счет отпаривания теплоносителя первого контура или утечки при высоком давлении. Эта ситуация огибает случаи уменьшения объема теплоносителя и достижения напора запуска/отключения насосов САОЗ. В качестве ограничивающих допущений могут выступать ограничения по возможности аварийного сброса жидкости из первого контура и по работоспособности того насоса (ВД или НД) системы САОЗ, запуск которого является огибающим в данном конкретном случае. Оценивая возможности предотвращения повреждения активной зоны, наверно придется оценивать возможные компромиссные решения, в зависимости от соотношения различных сроков декомпрессии (снижения давления) до уровня напора запуска насосов ВД и НД и соответствующего объема расхода через работающий насос.

B.2 IMPLEMENTATION / ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

The preceding development illustrates generically how to proceed from a particular CSF to a set of bounding assumptions. Specifically, with regard to existing bounding mode scenarios, the procedure to delineate appropriate bounding assumptions is as follows:

1. Locate the particular scenario in the original matrix methodology Transformation Matrix or under “Causes” in the appropriate Symptom Development Table corresponding to the CSF under which the bounding mode scenario is assigned.
2. Identify the symptom associated with the scenario in the Transformation Matrix or Symptom Development Table.
3. Transfer to the associated Bounding Assumption Development Table under the correct Functional Response Status heading and proceed.

В.2 ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Вышеуказанный процесс проведения анализа служит примером того, как в общем нужно переходить от определенной КФБ к набору ограничивающих допущений. А в частности, что касается уже существующих расчетных сценариев граничных режимов, нужно выполнять следующую процедуру по определению подходящих ограничивающих допущений:

1. Остановиться на конкретном расчетном сценарии граничных режимов (в исходной «Матрице соответствий», которую можно найти в описании методики использования матриц, или в перечне Причин в соответствующей таблице «Определение симптомов»), который соответствует той КФБ, к которой привязывается этот сценарий.
2. Наметить симптом, который связан со сценарием, взятым из «Матрицы соответствий» или из таблицы «Определение симптомов».
3. Перейти к связанной с этим симптомом таблице «Определение ограничивающих допущений», найти там необходимый заголовок в графе «Состояние КФБ» и идти дальше.

**APPENDIX C - EXAMPLE EOI THERMAL HYDRAULIC CALCULATION /
ПРИМЕР Т-Г РАСЧЕТА ДЛЯ СОАИ**

BOUNDING SCENARIO:

total, instantaneous and complete loss of feedwater (i.e. loss of all main feedwater & auxiliary/emergency feedwater trains) with an intact reactor primary coolant system and functioning reactivity control systems.

COMPUTER CODE:

a complete nuclear power plant system thermal-hydraulic computer code, such as RELAP5

ASSUMPTIONS:

all normal plant trip systems function, all systems other than main and auxiliary feed-water are operational, best estimate core decay heat.

ПРИЛОЖЕНИЕ «В» – ПРИМЕР Т-Г РАСЧЕТА ДЛЯ СОАИ

СЦЕНАРИЙ АВАРИЙНОГО ПРОЦЕССА:

Полная потеря питательной воды (т.е. вышли из строя ПЭН, АПЭН и ДАПЭН) при целостности системы 1-го контура и функционировании системы управления реактивностью

РАСЧЕТНЫЙ КОД:

Полная программа Т-Г расчетов систем АЭС, как например RELAP5

ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ:

Штатное функционирование всех нормальных систем безопасности; работоспособность всех технологических систем, кроме ПЭН/АПЭН/ДАПЭН; реалистичная оценка объема остаточного тепловыделения

Procedure

Step I. Perform base calculation

For a specific initiating event, analyze non-degraded automatic system response without operator actions.

Identify best-estimate plant response:

- *Automatic Actions*
- *Annunciator Alarms*
- *Parameter Response*

Example

Base calculation

Calculate the overall plant transient response to a loss of main feedwater with normal actuation of auxiliary/emergency feedwater.

Процедура

Шаг I. Подготовка базовых расчетов

Для конкретного исходного события оценить реакцию работоспособных систем автоматики.

Установить путем реалистичной оценки реакцию энергоблока:

- *Действия автоматики*
- *Аварийная сигнализация*
- *Изменение параметров*

Пример

Базовый расчет

Определить общую реакцию энергоблока на полную потерю пит. воды через ПЭН при штатной работе АПЭН/ДАПЭН

Procedure

Step II. Perform failed system calculation

For a successful plant transient sequence, simulate failure of ESF support system without operator action

Run the calculation out to the loss of critical safety function and/or onset of core damage.

Record all pertinent plant transient parameters available to operator to diagnose event and/or recognize loss of critical safety function.

Identify key indicators and timing of events.

Comparison to the success case will provide:

- *Key symptoms unique to required actions*
- *Parameter values used to initiate/abandon action*
- *Time available to take action*
- *Insights into potential actions*

Example

Failed system calculation

Calculate the plant transient response to a total loss of feedwater until core damage occurs as defined in the assumptions. Note the time of core damage (TCD).

Identify the unique transient signature of parameters available to the operators in the control room that identify this event as a loss of primary to secondary heat transfer.

Record the following parameters: (not necessarily complete)

- *Liquid level of each steam generator*
- *Pressure and temperature in each steam generator*
- *Flow rate in each main steam line*
- *Main and emergency feedwater pump flow rate*
- *Primary coolant system pressure*
- *Hot and cold leg primary coolant system temperature*
- *Pressurizer level*
- *Core exit temperature*

Процедура

Шаг II. Расчет отказа системы

Для восстаналиваемого переходного процесса симитировать отказ конкретного инженерно-технического средства безопасности без вмешательства оператора

Выполнить расчет до нарушения КФБ и/или начала повреждения активной зоны

Зафиксировать все изменяемые параметры, дающих возможность оператору выявить причину события и/или определить нарушение КФБ

Установить основные индикаторы и время прохождения события

Путем сравнения с случаем успешного устранения аварии, определить:

- Основные симптомы, отличительные для требуемых действий
- Значения параметров, используемых для установления начала действий или отказа от них
- Время, имеющееся в распоряжении для выполнения действий
- Глубокое понимание сути возможных действий

Пример

Расчет отказа системы

Расчитать переходный режим, вызванный полной потерей питательной воды, вплоть до начала повреждения активной зоны, как установлено в допущениях. Зафиксируйте время разплавления а.з.

Установить однозначную переходную характеристику параметров, имеющих в распоряжении операторов БЩУ, которые определяют это событие как нарушение теплоотвода от 1-го контура ко 2-му.

Зарегистрируйте следующие параметры (возможно, пропущена информация)

- Уровень воды в каждом ПГ
- Давление и температура в каждом ПГ
- Расход каждой линии острого пара
- Расход через ПЭН и АПЭН
- Давление первого контура
- Температура горячей и холодной ниток первого контура
- Уровень в компенсаторе давления
- Температура на выходе из а.з.

Procedure

Step III. Analyze loss of critical safety function

Identify the information available to the operator in the control room that can be used to specifically identify the loss of critical safety function and at what time into the event that this determination could be made.

Identify the time at which the critical safety function is lost and the time of core damage.

From the time periods identified in the evaluation of the failed system run, estimate a time when the operator must perform some manual action to prevent the loss of the critical safety function.

Example

Analyze the prospect of recovering effective secondary side cooling in time to avert core damage

Select a time for operator action to recover feedwater that would result in no core damage.

This time should be based on thermal hydraulic engineering judgement and insights from an evaluation of plant behavior as it affects the ability to cool the core using secondary side heat removal (e.g., restore primary coolant system natural circulation, effective steam generator heat transfer).

Процедура

Шаг III. Анализ нарушения КФБ

Выявить информацию, имеющуюся в распоряжении операторов БЦУ, которая однозначно определяет это событие как нарушение КФБ и период времени, который потребуется для установления этого события.

Установить время, когда КФБ нарушилась, а также время повреждения а.з.

На основании временных отрезков, выявленных при расчете отказа систем, вычислить время, когда оператор должен выполнить определенные действия с целью предотвращения нарушения КФБ.

Пример

Оценка плана восстановления охлаждения со стороны второго контура за время, достаточное для предотвращения повреждения а.з.

Назначить время для действия оператора по восстановлению подачи питательной воды, результатом которого будет сохранение а.з. от повреждения.

Это время должно быть основано на теплогидравлическом инженерном суждении и исходить из оценки развития процесса с точки зрения возможности расхолаживания зоны, используя отвод тепла ко второму контуру (восстановление естественной циркуляции 1-го контура, эффективный отвод тепла через ПГ)

Procedure

Step IV. Perform operator action sensitivity calculation

Run a new calculation with the same conditions as Step II, but with an operator action at the selected time to verify that this action has restored the critical safety function thus preventing the onset of core damage.

Comparison to the failed case will provide:

- *Key symptoms unique to successful recovery*
- *Parameter values for return to normal procedures*

Example

Run a new calculation with the same failed system scenario, but with the operator action of restoring water to the steam generators at the specified time

This run should extend sufficiently beyond the time of operator action to adequately demonstrate that this operator action time mitigates core damage.

If it does not repeat the calculation with an earlier operator action time.

Процедура

Шаг IV. Оценка значения времени начала вмешательства оператором

Произвести новые расчеты, с такими же условиями, как в шаге 2, но с началом действий персонала в выбранное время, для подтверждения того, что этими действиями была восстановлена КФБ, таким образом предотвратив начало повреждения активной зоны.

Сравнение со случаем неустранения аварии даст

- *Основные симптомы, однозначно указывающие на восстановленное состояние*
- *Значения параметров, указывающих на переход к работе по инструкциям нормальной эксплуатации*

Пример

Сделать новый расчет сценария для той же неработоспособной системы, но с действием оператора по восстановлению воды в ПГ за установленное время.

Время этого расчета должно быть существенно больше времени, отведенного для вмешательства оператором, чтобы доказательно продемонстрировать, что своим действием оператор предотвратил повреждения а.з.

Если это не доказывается, повторить расчет при более раннем вмешательстве оператора.

Procedure

Step V. Perform alternative action sensitivity calculation

Run a new calculation proposing an alternative operator action subsequent to the time after which the first course of action would no longer be effective in averting core damage. Verify that this action has restored the critical safety function thus preventing the onset of core damage.

Example

Postulate an alternative operator action to be attempted after the time when restoration of secondary side cooling would no longer be effective in averting core damage

This action might constitute a primary feed and bleed initiated by starting high head safety injection pumps and opening the pressurizer PORVs.

Процедура

Шаг V. Произвести расчет реакции системы на альтернативный случай

Провести новый расчет, предполагающий альтернативные действия оператора, предпринимаемые после того, как основные действия по устранению аварии перестали действовать во избежании повреждения а.з. Убедитесь, что этими действиями была восстановлена КФБ, предотвратив начало повреждения а.з.

Пример

Поставьте условием, некое альтернативное действие оператора, которое предпринимается после того, как восстановление расхолаживания со стороны второго контура уже не было бы эффективным для предотвращения расплавления а.з.

Такое действие может подразумевать сброс—подпитку первого контура путем включения в работу насосов высокого давления и открытия предохранительных клапанов компенсатора давления.

**APPENDIX D - CONTENTS OF TOPICAL REPORT WORKBOOK /
СОДЕРЖАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО ОТЧЕТА ПО БЕЗОПАСНОСТИ**

Each bounding scenario calculation should be documented in a legible form suitable for review, reproduction, filing and retrieval. The documentation should be sufficiently detailed as to the purpose, method, assumptions, data inputs, references and units such that a technically qualified person can both review and understand the calculation, and verify the results, without recourse to the preparer.

The person performing the calculation should prepare the documentation. Items suggested for inclusion in the workbook include:

1. Identification - title or project number to permit ready reference and retrieval.
2. Analysis Objectives - analysis requirements and criteria should be clearly stated.
3. Table of Contents - a means to access pertinent sections of the documentation should be provided.
4. Summary of Results - results of the calculation should be summarized with specific reference to the analysis objectives.
5. Method of Calculation - the computer program and version, computer type, operating system version, compiler version, and dates of computer runs should be clearly stated. Computer runs are documented by serial number, description of the run, and the names of the associated input/output data sets.
6. Input Data - references to the input data should be supplied. These might include:
 - a) listings of the input data files including source and location of the datafile;
 - b) assumptions;
 - c) boundary and initial conditions;
 - d) modifications to the standard input model together with justification.
7. Output Data - the calculations themselves, or references thereto, should be included together with any supporting hand calculations and graphical plots. The output data should be reduced to some non-volatile, retrievable format.
8. References - photocopied portions of supporting documentation should be included. These might include:
 - a) engineering drawings;
 - b) technical specifications;
 - c) operations manuals;
 - d) other safety analysis reports;
 - e) information packages.
9. Correspondence - copies of all correspondence sent or received in association with this analysis should be included.

**ПРИЛОЖЕНИЕ «Г» – СОДЕРЖАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО ОТЧЕТА ПО
БЕЗОПАСНОСТИ**

To Be Translated

-
- ¹ “Emergency Operating Instruction (EOI) Development Methodology,” R. J. Beelman, June 4, 1997, Prague, Czech Republic.
- ² Билман, Р. Дж. Методика разработки симптомно-ориентированных аварийных инструкций (СОАИ). Лекция. 04.06.1997 г. (Прага, Чешская Республика).
- ³ “Emergency Operating Instruction (EOI) Analysis Methodology,” R. J. Beelman, VNIIAES, Moscow, Russia, 2 – 4 Dec. 1997; Energoproekt, Sofia, Bulgaria, 16 – 18 Dec. 1997; Zaporizhzhhe NPP, Enerгодар, Ukraine, 27 – 29 Jan. 1998.
- ⁴ “Emergency Operating Instruction Analysis (Methodology Development),” R. J. Beelman, March, 1998.
- ⁵ “EOI Analysis Short Course,” R. J. Beelman and Jerry Judd, 18 May – 12 June 1998, Idaho Falls, Idaho, USA.
- ⁶ “Emergency Operating Instruction (EOI) Analytical Validation,” R. J. Beelman, September 15, 1998, WANO - Moscow, Russia.
- ⁷ “Order of Analyses,” EOI Bulletin US#1, R. J. Beelman, August 25, 1998.
- ⁸ “VVER Bounding SG Inventory Considerations,” EOI Bulletin US#2, R. J. Beelman, September 23, 1998.
- ⁹ “Base Case Considerations,” EOI Bulletin US#3, R. J. Beelman, November 10, 1998.
- ¹⁰ “LBLOCA, Station Blackout and ATWS Considerations,” EOI Bulletin US#4, R. J. Beelman, November 20, 1998
- ¹¹ “Interpretation of Results,” EOI Bulletin US#5, R. J. Beelman, December 18, 1998.
- ¹² “Application of Results,” EOI Bulletin US#6, R. J. Beelman, May 21, 1999.
- ¹³ “Bounding Assumption Specification,” EOI Bulletin US#7, R. J. Beelman, June 4, 1999.
- ¹⁴ Билман, Р. Дж. Методика проведения расчетно-аналитического обоснования симптомно-ориентированных аварийных инструкций (СОАИ). Семинар. 02-04.12.1997 г. (ВНИИАЭС, Москва, Россия). 16-18.12.1997 г. (Энергопроект, София, Болгария). 27-29.01.1998 (Запорожская АЭС, Энергодар, Украина).
- ¹⁵ Билман, Р. Дж. Расчетно-аналитического обоснования симптомно-ориентированных аварийных инструкций (Разработка методики). Март 1998 г.
- ¹⁶ Билман, Р. Дж. и Джерри Джад. Интенсивный курс по проведению расчетно-аналитического обоснования СОАИ. 18.05-12.06.1998 г. (г. Айдахо Фалс, шт. Айдахо, США)
- ¹⁷ Билман, Р. Дж. Аналитическая валидация обоснования симптомно-ориентированных аварийных инструкций (СОАИ). Лекция. 15.09.1998 г. (ВАО АЭС, Москва, Россия)
- ¹⁸ Билман, Р. Дж. Последовательность проведения расчетов. Бюллетень по СОАИ № 1. 25.08.1998 г.
- ¹⁹ Билман, Р. Дж. Что нужно учесть при определении граничных условий по компенсации питводы в ПГ энергоблока с реактором типа ВВЭР? Бюллетень по СОАИ № 2. 23.09.1998 г.
- ²⁰ Билман, Р. Дж. Что нужно учесть при проведении базовых расчетов? Бюллетень по СОАИ № 3. 10.11.1998 г.
- ²¹ Билман, Р. Дж. Что нужно учесть при анализе большой течи, обесточивании энергоблока и несрабатывании аварийной защиты реактора? Бюллетень по СОАИ № 4. 20.11.1998 г.
- ²² Билман, Р. Дж. Осмысление полученных результатов. Бюллетень по СОАИ № 5. 18.12.1998 г.
- ²³ Билман, Р. Дж. Применение полученных результатов. Бюллетень по СОАИ № 6. 21.05.1999 г.
- ²⁴ Билман, Р. Дж. Определение ограничивающих допущений. Бюллетень по СОАИ № 7. 04.06.1999 г.