RAPPORT TECHNIQUE – TYPE 3

TECHNICAL REPORT – TYPE 3

CEI
IEC
1510

Première édition
First edition
1996-07

Réacteurs nucléaires RBMK – Propositions d'améliorations du contrôle-commande

RBMK nuclear reactors – Proposals for instrumentation and control improvements

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève, Suisse

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XB

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

Pages

AVANT-PROPOS 6

INTRODUCTION 10

Articles

1 Domaine d'application et objet 14

2 Généralités 16
2.1 Documents de référence 16
2.2 Abréviations 22

3 Contexte et règles de sécurité 30
3.1 Evénements initiateurs hypothétiques et limites d'exploitation 32
3.2 Protection, défense, alarmes et indication 34

4 Normes d'instrumentation et de contrôle-commande 36
4.1 Qualité, maintenance et technologie informatique 38
4.2 Normes spécifiques des instruments 42
4.3 Autres normes 42

5 Systèmes informatiques de tranche 44
5.1 Le rôle des systèmes informatiques dans l'exploitation du RBMK 44
5.2 Besoin d'amélioration des systèmes informatiques 44
5.3 Etat d'avancement à ce jour 46
5.4 Domaine d'application du remplacement 48
5.5 Spécifications fonctionnelles du nouveau système informatique 48
5.6 Réalisation 54

6 Système d'arrêt du réacteur diversifié 56
6.1 Généralités 56
6.2 Conformité des systèmes d'arrêt aux principes de sûreté et de fiabilité 60
6.3 Etude de faisabilité d'un système d'arrêt diversifié (DSS) 62
6.4 Développement d'actionneurs de système d'arrêt diversifiés de conception modulaire . 64
6.5 Apports attendus pour la mise à l'arrêt du réacteur 68
6.6 Etapes de réalisation du système d'arrêt diversifié 68

7 Contrôle et protection du canal de refroidissement 72
7.1 Dispositions de sûreté relatives au réacteur à canaux 72
7.2 Protection de canal RBMK 72
7.3 Débitmètres et prescriptions 74
7.4 Autres moyens de protection 74

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

INTRODUCTION 7

Clause

1 Scope and object 15

2 General 17
2.1 Reference documents 17
2.2 Abbreviations 23

3 Background and safety requirements 31
3.1 Postulated initiating events and operating limits 33
3.2 Protection, defence, alarms and indication 35

4 Instrumentation and control standards 37
4.1 Quality, maintenance and computer based technology 39
4.2 Instrument specific standards 43
4.3 Other standards 43

5 Unit computer systems 45
5.1 The role of the computer systems in RBMK operation 45
5.2 The need for improved information systems 45
5.3 Progress to date 47
5.4 Scope of replacement 49
5.5 Functional requirements of the new computer system 49
5.6 Implementation 55

6 A diverse system of reactor shutdown 57
6.1 Background 57
6.2 Conformity of shutdown systems to reliability and safety principles 61
6.3 Feasibility study for a diverse shutdown system (DSS) 63
6.4 Development of diverse shutdown system actuators of module design 65
6.5 Benefits expected for reactor shutdown 69
6.6 Diverse shutdown system realization steps 69

7 Channel cooling supervision and protection 73
7.1 Channel reactor safety provisions 73
7.2 RBMK channel protection 73
7.3 Flow meters and requirements 75
7.4 Other means of protection 75

Articles Pages

8 Contrôle-commande automatique de la distribution de puissance tridimensionnelle 76

9 Détection de fuite 78

9.1 Systèmes existants 80

9.2 Besoin d'amélioration de la détection de fuite et avantages attendus 80

9.3 Prescriptions relatives à l'instrumentation de la détection de fuite 82

9.4 Possibilités de mise en oeuvre des systèmes de détection de fuite 84

10 Contrôle et surveillance de la stabilité du coeur 88

10.1 Principes d'instabilité couplée neutronique-thermohydraulique 88

10.2 Discussion de la stabilité couplée neutronique-thermohydraulique du RBMK 90

10.3 Recommandations relatives à l'étude de la stabilité du RBMK 92

11 Surveillance du démarrage 92

11.1 Suspension commandée à distance pour une chambre à fission 94

12 Système de surveillance de l'hydrogène 94

13 Conclusions 98

Annexes

A Accidents de rupture du canal de combustible dans les réacteurs RBMK 104

B Algorithme de bilan massique 110

C Description du système SKALA 112

D Système de contrôle de l'hydrogène (HCS) dans les installations et locaux du réacteur RBMK 134

Clause Page

8 Automatic control of three dimensional power distribution 77

9 Leakage detection 79
9.1 Existing systems 81
9.2 Need for improvement of leakage detection and benefit expected 81
9.3 Requirements for leakage detection instrumentation 83
9.4 Possibilities for implementing leakage detection systems 85

10 Core stability monitoring and control 89
10.1 Principles of coupled neutronic-thermal hydraulic instability 89
10.2 Discussion of RBMK coupled neutronic-thermal hydraulic stability 91
10.3 Recommendations for investigating RBMK stability 93

11 Startup monitoring 93
11.1 Remote drive suspension for a fission chamber 95

12 Hydrogen monitoring system 95

13 Conclusions 99

Annexes

A Fuel channel rupture incidents in RBMK reactors 105

B Mass balance algorithm 111

C Description of the SKALA system 113

D Hydrogen control system (HCS) in installations and rooms of RBMK reactor 135

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

Réacteurs nucléaires RBMK – Propositions d'améliorations du contrôle-commande

AVANT-PROPOS

1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.

2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.

3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.

4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure du possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.

6) L'attention est attirée sur le fait que certains éléments du présent rapport technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants :

* type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale ;

* type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat ;

* type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RBMK nuclear reactors – Proposals for instrumentation and control improvements

FOREWORD

1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a world-wide for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.

2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.

3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.

4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.

6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical report may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

* type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;

* type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;

* type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example «state of the art».

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 1510, rapport technique de type 3, a été établie par le sous-comité 45A : Instrumentation des réacteurs, du comité d'études 45 de la CEI : Instrumentation nucléaire, avec la participation d'experts de l'AIEA.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants :

Projet de comité	Rapport de vote
45A/209/CDV	45A/231/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 1510, which is a technical report of type 3, has been prepared by sub-committee 45A: Reactor instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation, with the participation of IAEA experts.

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Report on voting
45A/209/CDV	45A/231/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

INTRODUCTION

Lors de leur réunion en janvier 1992 à Baden, les membres du groupe de travail A5 du sous-comité 45 A du comité d'études 45 de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) ont fait une proposition visant à améliorer la sûreté des réacteurs RBMK. La proposition est enregistrée dans le compte rendu de réunion " 45A WGA5(Sec)110 ", janvier 1992. Le Comité National Suisse de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) a soumis une NWIP " 45A(Suisse)10 " en juillet 1992, basée sur les idées du document WG A5. La proposition s'intitule :

> « Instrumentation nucléaire et matériel électrique pour la sûreté de fonctionnement des réacteurs de type RBMK (réacteurs à eau légère et modérateur graphite) »

La proposition suisse a été discutée une première fois lors de la réunion du CEI/SC 45A en septembre 1992 à Ottawa au Canada, au cours de laquelle le Comité National Suisse à fait la déclaration "45(Ottawa/Suisse)26", indiquant qu'il,

> « convient que les mesures décrites dans le NWIP proposé améliorent la sûreté des RBMK tant que ce type de réacteur sera en fonctionnement »

Lors de la réunion, la nécessité d'impliquer d'autres organismes, dont l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, actives dans le domaine des RBMK a été soulignée, l'AIEA était déjà impliquée dans des projets semblables. Il convenait donc que ce projet particulier soit développé en collaboration avec les experts de ces organismes.

Une fois la proposition suisse approuvée, le Bureau Central de la CEI, en accord avec le secrétariat du CEI/SC 45A a invité l'AIEA et la Commission des Communautés Européennes, la CEC, à participer au développement de ce projet.

Le CEI/SC 45A a déjà eu un contact officiel avec l'AIEA et il existe un accord de coopération entre la CEI et l'AIEA en vigueur depuis 1981. Suite à la réponse positive de l'AIEA à la proposition, une équipe d'experts de la CEI et de l'AIEA a été constituée pour mettre en place le projet. L'équipe de projet CEI/AIEA a accepté de rédiger un document qui serait finalement publié sous la forme d'un Rapport Technique de la CEI. Ce rapport identifiera les mesures pouvant être appliquées pour améliorer les systèmes d'I&C (Instrumentation et Contrôle-Commande) afin d'améliorer la sûreté des RBMK.

Par la suite, lors de la réunion du CE 45 à Kyoto en septembre 1993, le SC 45A a décidé qu'il n'était pas possible de commencer les travaux sur une norme CEI avant de disposer du document rédigé en commun par l'AIEA et le CEI contenant les « Prescriptions de Sûreté de Référence », mentionné dans le compte rendu de la réunion d'Ottawa. La réunion suivante du CE 45 a permis de mettre en évidence la nécessité d'établir des objectifs précis, un énoncé clair des problèmes de sûreté liés au réacteur, ainsi que la liste des points nécessitant une normalisation (référence RM 3734/CE 45 avril 1994). Il a été décidé d'intégrer les " Prescriptions de Sûreté de Référence " dans le document. Ce travail a été commencé mais n'a pu être entièrement effectué au chapitre 3.

Le projet est basé sur les résultats présentés dans les documents de l'AIEA TECDOC 694 et TECDOC 722, qui donnent des indications précieuses sur les problèmes et les questions de sûreté liés au RBMK, ainsi que des recommandations pratiques sur l'amélioration de la sûreté des réacteurs RBMK. De plus, on a tenu compte des points mentionnés lors de la réunion de la CEC du 10 juin 1994, résultant de l'étude sur la sûreté des RBMK, soutenue par la CEC.

Il a également été décidé qu'il fallait que les efforts se concentrent sur l'identification des améliorations jugées techniquement et financièrement viables pour être mises en place à court terme afin d'améliorer la sûreté et le facteur de disponibilité des centrales RBMK. De telles mesures ne peuvent évidemment pas garantir une sûreté totale et doivent être complétées d'un audit de sûreté complet, une démarche exceptionnelle mais appropriée au cas du RBMK.

INTRODUCTION

The members of working group A5 of the International Electrotechnical Commission (IEC) technical committee 45 sub-committee 45A made a proposal at their January 1992 meeting in Baden for action that would result in the improvement of the safety of the RBMK reactors. The proposal is recorded in the meeting minutes "45A WGA5(Sec)110", Jan 92. The Swiss National Committee of the International Electrotechnical Commission (IEC) submitted a New Work Item Proposal (NWIP) "45A(Switzerland)10" in July 1992 that was based on the ideas of WG A5. The proposal was titled

> 'Nuclear instrumentation and electrical items for the safe operation of RBMK type reactors (light water cooled graphite moderated reactors)',

The Swiss proposal was first discussed at the meeting of IEC/SC 45A in Ottawa Canada in September 1992, where the Swiss National Committee made the statement, "45 (Ottawa/Switzerland) 26", that,

> 'the measures in the proposed NWIP should increase the safety of the RBMK's as long as this type of reactor will be in operation'.

The meeting expressed the view that other organizations including the International Atomic Energy Agency who were active with RBMK's should be involved, the IAEA were already involved in similar projects. This particular project should therefore be jointly developed with experts of these organizations.

Once the Swiss proposal was approved, the IEC Central Office, in agreement with the Secretariat of IEC/SC 45A, invited the IAEA and the Commission of European Communities, CEC, to participate in the development of the project.

IEC/SC 45A already had an official liaison with the IAEA and an agreement on co-operation between the IEC and the IAEA had been in place since 1981. Thus following the IAEA's positive response to the proposal a joint project team of IEC and IAEA experts was set up to develop the project. The joint IEC/IAEA project team agreed to write a document that would eventually be published as an IEC Technical Report. This report will identify measures that can be implemented to improve RBMK safety through enhancement of the I&C systems.

Subsequently during the TC 45 meeting in Kyoto in September 1993 it was stated by SC 45A, that work on an IEC Standard could not be started until the joint IAEA/IEC document containing the "Reference Safety Requirements" referred to in the minutes of the Ottawa meeting, were available. In the following TC 45 meeting the requirement was identified for clear objectives, a clear statement of the safety issues associated with the reactor and a list of the topics for which standardization was required (reference RM 3734/TC 45 April 1994). It was agreed, that these "Reference Safety Requirements" would be integrated in the document. This has been attempted but not completely fulfilled in Chapter 3.

The basis for the project includes the results presented in IAEA TECDOC 694 and TECDOC 722, as these documents provide valuable indications of problems and issues relating to the safety of RBMK and practical recommendations as to how to improve the safety of RBMK reactors. In addition issues reported during the CEC meeting of 10th June 1994 arising from the CEC sponsored review of RBMK safety have been considered.

It was also agreed that effort must concentrate on identifying the improvements that are thought to be technically and financially viable for implementation in the short term so as to enhance the safety and availability of the RBMK plant. Such measures clearly cannot be comprehensive and must be completed without the benefit of a full safety review, an exceptional but appropriate step for the RBMK.

Le document est structuré de la façon suivante : les bases et principes de conception du RBMK sont décrits dans les chapitres 2 à 4 ; les systèmes de commande et de protection critiques sont traités dans les chapitres 5 à 8 ; et enfin, les systèmes de surveillance sont traités dans les chapitres 9 à 12. Le chapitre 13 contient les conclusions et les recommandations finales.

The document is structured with the design and standards basis for the RBMK being established in chapters 2 to 4. The protection and critical control systems are then treated in chapters 5 to 8 and finally the monitoring systems are treated in chapters 9 to 12. Chapter 13 draws conclusions and makes final recommendations.

Réacteurs nucléaires RBMK – Propositions d'améliorations du contrôle-commande

1 Domaine d'application et objet

L'objet de ce rapport est d'identifier, à l'aide des publications et rapports émanant de l'AIEA et d'autres organismes, les problèmes associés à l'exploitation sûre des réacteurs RBMK et d'établir des recommandations de travail visant à améliorer la sûreté de ces réacteurs. Les points discutés dans ce rapport technique n'ont pas été sélectionnés de manière systématique, en fonction de la sûreté par exemple, et n'ont pas la même importance pour tous les réacteurs RBMK. Il ne faut pas considérer la liste des problèmes comme exhaustive, de nombreux points importants n'ayant pas été discutés ou même identifiés dans ce rapport technique. Le premier objectif est d'identifier les problèmes et de définir un nombre limité de mesures physiques dont l'application permettrait des améliorations immédiates. Le deuxième objectif est de placer les problèmes et les mesures dans le cadre des normes internationales définies par l'AIEA et la CEI. Il convient de faire cela en effectuant un audit de sûreté en bonne et due forme, par exemple du type de l'audit de sûreté à long terme MAGNOX conduit en Grande-Bretagne. Les recommandations d'action découlent alors naturellement d'un tel audit de sûreté. Dans ce cas, on dispose d'un certain nombre de revues de l'AIEA sur le RBMK et d'autres études internationales et bilatérales sont en cours, comme le projet soutenu par la CEC. Ces études ne correspondent pas à l'audit officiel mentionné ci-dessus. Elles représentent néanmoins une source d'information importante sur ce problème. Ces études ont permis de mettre en évidence des points pouvant être améliorés, comme c'est le cas pour les documents de l'AIEA TECDOC 694 et TECDOC 722.

Les sujets suivants ont été identifiés et sélectionnés pour être inclus dans ce rapport technique :

- les systèmes informatiques de tranche donnent de nombreuses informations concernant la protection de la centrale par action de l'opérateur et le fonctionnement de la centrale. Les systèmes nécessitent d'être mis à jour afin d'éviter leur obsolescence et améliorer la qualité de l'information et de l'interface homme-machine. Disposer de systèmes d'affichage des paramètres de sûreté (SPDS) pour les RBMK permettra de traiter ce problème dans la mesure où les paramètres de sûreté sont concernés et permettra de remplacer partiellement les systèmes informatiques de tranche. Il convient de revoir le choix de la fonction du système informatique et du logiciel et matériel associé pour définir les améliorations de fiabilité nécessaires ;

- l'introduction de moyens diversifiés pour stopper la réaction nucléaire et d'arrêter le réacteur ;

- l'examen du problème de refroidissement du canal, sa surveillance et la protection du canal, et la prévention d'une panne dans l'éventualité d'une perte de circulation. Cet article tiendra compte et fera référence aux paramètres critiques associés à la capacité de refroidissement ;

- le contrôle automatique de la puissance, pour maintenir le réacteur à la puissance requise et permettre le contrôle des instabilités identifiées ci-dessus et la protection contre les pannes de matériel ;

- la détection de fuite dans le circuit primaire ;

- la stabilité des caractéristiques du coeur du réacteur doit être déterminée suivant les différents types d'instabilités de puissance et de débit. Ceci inclut les effets de rétroactivité dus au Xénon, à la température du modérateur et à la circulation du réfrigérant ;

- la surveillance et la protection au cours du démarrage du réacteur afin d'améliorer les pratiques et procédures liées aux matériels et ainsi renforcer la sûreté ;

- le contrôle de l'hydrogène.

RBMK nuclear reactors – Proposals for instrumentation and control improvements

1 Scope and object

The object of this report is to identify, using material published and reported by the IAEA and others, those problem areas relating to the safe operation of the RBMK reactors and to make recommendations to improve the safety of those reactors. The problem areas discussed in this technical report were not selected in a systematic manner, e.g. according to safety significance, nor do they apply with the same weight to all RBMK reactors. The list of problem areas is not to be regarded as being complete as there are many important issues that have not been discussed or even identified in this technical report. The first objective is to identify the problems and a limited number of physical measures that can be introduced to bring immediate benefit. A second objective is to place both the problems and the measures in the context of the international standards framework provided by the IAEA and the IEC. This type of exercise should be conducted by carrying out a formal safety review to identify problem areas, e.g. along the lines of the MAGNOX long term safety review that was completed in the UK. The recommendations for action then arise naturally from such a safety review. In this case, a number of IAEA reviews of the RBMK have been completed and further international and bi-lateral studies are under way, e.g. the CEC supported project. These are not the formal reviews indicated above. They will, however, bring considerable information to bear on the problem. The exercises have indicated some areas where there is scope for improvement; these are, for example, discussed in IAEA TECDOC 694 and TECDOC 722.

The following topics have been identified for consideration and inclusion in this technical report:

- the unit computer systems provide a lot of information for plant protection through operator action and plant operation. The systems need to be upgraded to combat obsolescence and improve the quality of information and man-machine interface. Providing safety parameter display systems (SPDS) at RBMKs will address the issue as far as safety parameters are concerned and provide a partial replacement of the unit computer systems. The balance of the function of the unit computer and associate hardware and software should be reviewed to define needed reliability improvements;

- the introduction of diverse means of stopping the nuclear reaction and shutting down the reactor;

- examination of the problem of channel cooling, its supervision and channel protection and failure prevention in the event of loss of flow. This clause will consider and make reference to critical parameters associated with coolability;

- automatic power control, to maintain the reactor at its required power and provide control of the instabilities identified above and defence against equipment failures;

- leakage detection from the primary circuit;

- the stability of characteristics of the core need to be identified in relation to the different types of power and flow instability. This includes feedback effects due to Xenon, moderator temperature and coolant voiding;

- monitoring and protection during reactor startup to improve the equipment practices and procedures and so enhance safety;

- hydrogen monitoring.

La liste ci-dessus ne constitue pas la liste complète des problèmes relatifs au RBMK, des points-clés tels que les conséquences d'une panne des composants du circuit et l'intégrité de ceux-ci n'ayant pas été pris en compte et d'autres points tels que la forte dépendance envers l'action de l'opérateur n'étant pas complètement traités. D'autres problèmes importants ne sont pas pris en compte : surveillance de la température, détection précoce d'une rupture de l'enveloppe du fluide primaire dans la région du coeur et autour du circuit de pression, protection contre les incendies, contamination par rayonnement ou activité et contrôle des rejets radioactifs. Les travaux du SC45B de la CEI Instrumentations pour la Radioprotection sont cités en référence dans le contexte de ces derniers éléments.

Des mesures pratiques sont nécessaires pour apporter des solutions aux points ci-dessus. Pour des raisons de rapidité, les mesures proposées seront basées sur les matériels et capteurs existants. Cependant, de nouveaux matériels et de nouvelles procédures d'exploitation seront nécessaires pour éliminer tous les problèmes de sûreté. Il est prévu dans le cadre de ce travail de spécifier les matériels possibles, indiquer leur fonction et comment ils peuvent être installés. Il faut que le coût soit pris en compte dans ces mesures pratiques, le champ d'application des propositions sera donc cohérent avec l'objectif consistant à proposer des mesures d'amélioration de la sûreté économiquement intéressantes. Les détails concernant les coûts et l'information sur les programmes sont considérés hors du champ d'application de ce rapport technique.

2 Généralités

2.1 *Documents de référence*

CEI 231A: 1969, *Principes généraux de l'instrumentation des réacteurs nucléaires – Premier complément*

CEI 231B: 1972, *Deuxième complément: Principes de l'instrumentation des réacteurs de puissance à eau ordinaire bouillante et à cycle direct*

CEI 232: 1966, *Caractéristiques générales de l'instrumentation des réacteurs nucléaires*

CEI 295: 1969, *Caractéristiques et méthodes d'essais des périodemètres à courant continu*

CEI 405: 1972, *Appareils nucléaires: Prescriptions de construction pour la protection individuelle contre les rayonnements ionisants*

CEI 476: 1993, *Instrumentation nucléaire – Appareils et systèmes électriques de mesure utilisant des* rayonnements ionisants – *Aspects généraux*

CEI 482: 1975, *Dimension des tiroirs d'appareils électroniques (pour appareils d'électronique nucléaire)*

CEI 515: 1975, *Détecteurs de rayonnement pour l'instrumentation et la protection des réacteurs nucléaires; caractéristiques et méthodes d'essai*

CEI 527: 1975, *Amplificateurs pour courant continu; caractéristiques et méthodes d'essai*

CEI 547: 1976, *Tiroirs et châssis de 19 pouces basés sur le système NIM (pour appareils d'électronique nucléaire)*
Modification 1 (1985)

CEI 557: 1982, *Terminologie CEI sur les réacteurs nucléaires*

CEI 568: 1977, *Appareillage de mesure du débit de fluence neutronique dans le coeur des réacteurs de puissance*

The list above is not a complete list of issues for the RBMK as key topics such as the integrity of and the consequences of failure of circuit components are not considered and other issues such as the heavy dependence on operator action are not fully considered. Other important items such as temperature monitoring and early detection of the failure of the primary pressure boundary in both the core region and around the pressure circuit are not considered along with fire protection or activity and radiation contamination and release monitoring. The work of IEC SC45B Radiation Protection Instrumentation is referred in the context of the latter items.

In order to address the topics above and provide solutions, some practical measures will be needed. The proposed measures will for reasons of speed be based upon use of existing sensors and equipment. However in order to fully achieve the ultimate objective of eliminating the safety problems, new equipment and operating procedures will be required. It is intended to identify possible equipment, indicate its function and how it might be installed as part of this process. In considering practical measures, cost must be taken into account thus the scope of the proposals will be consistent with the objective of producing cost effective measures to improve safety. Details of cost and programme information are regarded as being out of the scope of this technical report.

2 General

2.1 *Reference documents*

IEC 231A: 1969, *General principles of nuclear reactor instrumentation – First supplement*

IEC 231B: 1972, *Second supplement: Principles of instrumentation of direct cycle boiling water power reactors*

IEC 232: 1966, *General characteristics of nuclear reactor instrumentation*

IEC 295: 1969, *D.C. periodmeters: characteristics and test methods*

IEC 405: 1972, *Nuclear instruments: Constructional requirements to afford personal protection against ionizing radiation*

IEC 476: 1993, *Nuclear instrumentation – Electrical measuring systems and instruments utilizing ionizing radiation sources – General aspects*

IEC 482: 1975, *Dimensions of electronic instrument modules (for nuclear electronic instruments)*

IEC 515: 1975, *Radiation detectors for the instrumentation and protection of nuclear reactors; characteristics and test methods*

IEC 527: 1975, *Direct current amplifiers; characteristics and test methods*

IEC 547: 1976, *Modular plug-in unit and standard 19-inch rack mounting unit based in NIM standard (for electronic nuclear instruments)*
Amendment 1(1985)

IEC 557: 1982, *IEC terminology in the nuclear reactor field*

IEC 568: 1977, *In-core instrumentation for neutron fluence rate (flux) measurements in power reactors*

CEI 639: 1979, *Réacteurs nucléaires – Utilisation du système de protection à d'autres fins que la sécurité*

CEI 643: 1979, *Application des calculateurs numériques à l'instrumentation et à la conduite des réacteurs nucléaires*

CEI 650: 1979, *Ictomètres analogiques – Caractéristiques et méthodes d'essai*

CEI 671: 1980, *Essais périodiques et surveillance du système de protection des réacteurs nucléaires*

CEI 709: 1981, *Séparation dans le système de protection des réacteurs*

CEI 737: 1982, *Mesures de température en coeur ou dans l'enveloppe primaire des réacteurs nucléaires de puissance – Caractéristiques et méthodes d'essai*

CEI 739: 1983, *Ictomètres numériques – Caractéristiques et méthodes d'essai*

CEI 770: 1984, *Méthodes d'évaluation des caractéristiques de fonctionnement des transmetteurs utilisés dans les systèmes de conduite des processus industriels*

CEI 770-2: 1989, *Transmetteurs utilisés dans les systèmes de conduite des processus industriels – Deuxième partie: Guide pour l'inspection et les essais individuels de série*

CEI 780: 1984, *Qualification des constituants électriques du système de sûreté des centrales électronucléaires*

CEI 880: 1986, *Logiciel pour les calculateurs utilisés dans les systèmes de sûreté des centrales nucléaires*

CEI 911: 1987, *Mesures pour surveiller la bonne réfrigération du coeur des réacteurs à eau légère pressurisée*

CEI 964: 1989, *Conception des salles de commande des centrales nucléaires de puissance*

CEI 965: 1989, *Points de commande supplémentaires pour l'arrêt des réacteurs sans accès à la salle de commande principale (salle de commande de repli)*

CEI 980: 1989, *Pratiques recommandées pour la qualification sismique du matériel électrique du système de sûreté dans les centrales électronucléaires*

CEI 987: 1989, Calculateurs programmés importants pour la sûreté des centrales nucléaires

CEI 1031: 1990, *Critères de conception, d'implantation et d'application pour les matériels de surveillance du débit de dose de rayonnement gamma à poste fixe, utilisés dans les centrales nucléaires pendant le fonctionnement normal et lors d'incidents de fonctionnement prévus*

CEI 1151: 1992, *Instrumentation nucléaire – Amplificateurs et préamplificateurs utilisés avec des détecteurs de rayonnements ionisants – Méthodes d'essais*

CEI 1224: 1993, *Réacteurs nucléaires – Temps de réponse des détecteurs de température à résistance (RTD) – Mesures in situ*

CEI 1225: 1993, *Centrales nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Prescriptions pour les alimentations électriques*

IEC 639: 1979, *Nuclear reactors – Use of the protection system for non-safety purposes*

IEC 643: 1979, *Application of digital computers to nuclear reactor instrumentation and control*

IEC 650: 1979, *Analogue counting ratemeters – Characteristics and test methods*

IEC 671: 1980, *Periodic tests and monitoring of the protection system of nuclear rectors*

IEC 709: 1981, *Separation within the reactor protection system*

IEC 737: 1982, *In-core temperature of primary envelope temperature measurements in nuclear power reactors – Characteristics and test methods*

IEC 739: 1983, *Digital counting ratemeters – Characteristics and test methods*

IEC 770: 1984, *Methods of evaluating the performance of transmitters for use in industrial-process control systems*

IEC 770-2: 1989, *Transmitters for use in industrial-process control systems – Part 2: Guidance for inspection and routing testing*

IEC 780: 1984, *Qualification of electrical items of the safety system for nuclear power generating stations*

IEC 880: 1986, *Software for computers in the safety systems of nuclear power stations*

IEC 911: 1987, *Measurements for monitoring adequate cooling within the core of pressurized light water reactors*

IEC 964: 1989, *Design for control rooms of nuclear power plants*

IEC 965: 1989, *Supplementary control points for reactor shutdown without access to the main control room*

IEC 980: 1989, *Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations*

IEC 987: 1989, *Programmed digital computers important to safety for nuclear power stations*

IEC 1031: 1990, *Design, location and application criteria for installed area gamma radiation dose rate monitoring equipment for use in nuclear power plants during normal operation and anticipated operational occurrences*

IEC 1151: 1992, *Nuclear instrumentation – Amplifiers and preamplifiers used with detectors of ionizing radiation – Test procedures*

IEC 1224: 1993, *Nuclear reactors – Response time in resistance temperature detectors (RTD) – In situ measurements*

IEC 1225: 1993, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important for safety – Requirements for electrical supplies*

CEI 1226: 1993, *Centrales nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Classification*

CEI 1227: 1993, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Commandes opérateurs*

CEI 1250: 1994, *Réacteurs nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande pour la sûreté – Détection des fuites dans les systèmes de refroidissement*

CEI 1343: 1996, *Instrumentation des réacteurs nucléaires – Réacteurs à eau bouillante (BWR) – Mesures dans la cuve pour la surveillance adéquate du refroidissement du coeur*

CEI 1771: 1995, *Centrales nucléaires de puissance – Salle de commande principale – Vérification et validation de la conception*

CEI 1772: 1995, *Centrales nucléaires de puissance – Salle de commande principale – Utilisation des unités de visualisation*

AIEA Code 50-C-D: 1988, *Conception pour la sûreté des centrales nucléaires*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-D3: 1981, *Système de protection et dispositifs associés dans les centrales nucléaires*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-D8: 1985, *Systèmes d'instrumentation et de commande liés à la sûreté dans les centrales nucléaires*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-D9: 1987, *Conception de la protection radiologique dans les centrales nucléaires*

AIEA Code 50-C-O: 1989, *Code pour la sûreté des centrales nucléaires: exploitation*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-O2: 1980, *Inspection en service des centrales nucléaires*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-O8: 1983, *Surveillance des constituants importants pour la sûreté dans les centrales nucléaires*

AIEA Code 50-C-QA: 1989, *Code pour la sûreté des centrales nucléaires: assurance de la qualité*

AIEA TR 237: 1984, *Manual on quality assurance programme auditing*

AIEA TR 268: 1986, *Manual on maintenance of systems and components important to safety*

AIEA TR 282: 1988, *Manual on quality assurance for computer software related to the safety of nuclear power plants*

AIEA TR 301: 1989, *Manual on quality assurance for installation and commissioning of instrumentation, control and electrical equipment in nuclear power plants*

AIEA TR 367: 1994, *Sofware related to the safety of nuclear power plants*

AIEA TECDOC 694: 1993, *Safety assessment of proposed improvements to RBMK nuclear power plants*

AIEA TECDOC 722: 1994, *Safety assessment of design solutions and proposed improvements to SMOLENSK Unit 3 RBMK-NPP*

AIEA TECDOC 808: 1995, *Computerization of operation and maintenance for nuclear power plants*

IEC 1226: 1993, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important for safety – Classification*

IEC 1227: 1993, *Nuclear power plants – Control rooms – Operator controls*

IEC 1250: 1994, *Nuclear reactors – Instrumentation and control systems important for safety – Detection of leakage in coolant systems*

IEC 1343: 1996, *Nuclear reactor instrumentation – Boiling light water reactors (BWR) – Measurements in the reactor vessel for monitoring adequate cooling within the core*

IEC 1771: 1995, *Nuclear power plants – Main control-room – Verification and validation of design*

IEC 1772: 1995, *Nuclear power plants – Main control room – Application of visual display units (VDU)*

IAEA Code 50-C-D: 1988, *Code on the safety of nuclear power plants: Design*

IAEA Safety guide 50-SG-D3: 1980, *Protection system and related features in nuclear power plants*

IAEA Safety guide 50-SG-D8: 1984, *Safety-related instrumentation and control systems for nuclear power plants*

IAEA Safety guide 50-SG-D9: 1985, *Design aspects of radiation protection for nuclear power plants*

IAEA Code 50-C-O: 1988, *Code on the safety of nuclear power plants: Operation*

IAEA Safety Guide 50-SG-O2: 1980, *In-service inspection for nuclear power plants*

IAEA Safety guide 50-SG-O8: 1982, *Surveillance of items important to safety in nuclear power plants*

IAEA Code 50-C-QA: 1988, *Code on the safety of nuclear power plants: Quality assurance*

IAEA TR 237: 1984, *Manual on quality assurance programme auditing*

IAEA TR 268: 1986, *Manual on maintenance of systems and components important to safety*

IAEA TR 282: 1988, *Manual on quality assurance for computer software related to the safety of nuclear power plants*

IAEA TR 301: 1989, *Manual on quality assurance for installation and commissioning of instrumentation, control and electrical equipment in nuclear power plants*

IAEA TR 367: 1994, *Software related to the safety of nuclear power plants*

IAEA TECDOC-694: 1993, *Safety assessment of proposed improvements to RBMK nuclear power plants*

IAEA TECDOC-722: 1994, *Safety assessment of design solutions and proposed improvements to SMOLENSK Unit 3 RBMK-NPP*

IAEA TECDOC-808: 1995, *Computerization of operation and maintenance for nuclear power plants*

AIEA TECDOC Draft report: Nov 1994, *Verification and validation of sofware related to nuclear power plant control and instrumentation*

AIEA, Draft report: Feb. 1994, *RBMK shutdown systems*

IAEA, RBMK-SC-011 revision 3: Avril 1994, *Report of a consultants meeting on prioritisation of safety improvements of RBMK NPPs*

75-INSAG-3: 1988, *Principes fondamentaux de sûreté pour les centrales nucléaires*

75-INSAG-5: 1992, *Sûreté de l'énergie d'origine nucléaire*

75-INSAG-7: 1992, *The Chernobyl accident: upgrading of INSAG-1*

IEEE 7-4.3.2: 1993, *IEEE standard criteria for digital computers in safety systems of nuclear power generating stations*

IEEE 1012: 1986, *IEEE standard for sofware verification and validation plans*

OPB-88: 1989, *General safety norms of the Russian Federation*

PBJa-RU-89: 1990, *Nuclear safety norms of the Russian Federation*

R-8, Canada: Feb. 1991, *A regulatory policy statement – Requirements for shutdown systems for CANDU nuclear power plants*

IAEA TECDOC Draft report: Nov. 1994, *Verification and validation of software related to nuclear power plant control and instrumentation*

IAEA, Draft report: Feb. 1994, *RBMK shutdown systems*

IAEA, RBMK-SC-011 revision 3: April 1994, *Report of a consultants meeting on prioritisation of safety improvements of RBMK NPPs*

75-INSAG-3: 1988, *Basic safety principles for nuclear power plants*

75-INSAG-5: 1992, *The safety of nuclear power*

75-INSAG-7: 1992, *The Chernobyl accident: upgrading of INSAG-1*

IEEE 7-4.3.2: 1993, *IEEE standard criteria for digital computers in safety systems of nuclear power generating stations*

IEEE 1012: 1986, *IEEE standard for software verification and validation plans*

OPB-88: 1989, *General safety norms of the Russian Federation*

PBJa-RU-89: 1990, *Nuclear safety norms of the Russian Federation*

R-8, Canada: Feb. 1991, *A regulatory policy statement – Requirements for shutdown systems for CANDU nuclear power plants*