



**PEACEFUL USES
OF ATOMIC ENERGY**

**Proceedings of
the Third International Conference
on the Peaceful Uses of Atomic Energy**

**Held in Geneva
31 August–9 September 1964**

**Volume 8
Reactor Engineering and Equipment**

**MULTILINGUAL EDITION
ÉDITION MULTILINGUE
МНОГОЯЗЫЧНОЕ ИЗДАНИЕ
EDICIÓN PLURILINGÜE**



**UNITED NATIONS
New York
1965**

EXPLANATORY NOTE

The Proceedings of the Third International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy comprise a single, multilingual publication of sixteen volumes. This form was prescribed by the General Assembly of the United Nations in approving the Conference budget.

Papers accepted for consideration at the Conference are accordingly printed herein only in the original language of submission, each being followed by its abstract in the other three languages of the Conference.*

The budgetary arrangements for the Conference required also that Governments provide abstracts and papers in two of the Conference languages. One of the three abstracts following each paper is, therefore, in a translation provided by the Government concerned. The abstracts were translated into the other two languages either by the Division of Language Services, International Atomic Energy Agency (IAEA) in Vienna, or, with its assistance, through the intermediary of the national atomic energy authorities in London, Paris, Moscow and Madrid.

The Foreword by the Secretary-General of the United Nations, the Preface by the Director General of IAEA, and this Explanatory Note, together with the records of discussion at each of the six scientific general sessions and thirty-six technical sessions of the Conference, are published in all four languages. All other material, which is largely of a formal nature and is confined to Volumes 1 and 16, is published in the language of submission or delivery, followed in the case of French, Russian and Spanish originals by the English translation.

Governments whose national tongue is not one of the four Conference languages were consulted as to their preference for the language in which their papers should appear in these Proceedings.

The Table of Contents in each volume gives the titles of papers in the original language, or language of choice, followed in the case of French, Russian and Spanish titles by the English translation.

Starting from the 992 abstracts submitted by Governments, specialized agencies and IAEA, the Scientific Secretariat, working under the guidance

of the United Nations Scientific Advisory Committee, finally chose 747 papers for inclusion in the Programme of the Conference; of these, 358 were selected for oral presentation at the 42 working sessions.

In arranging the programme, the Scientific Secretariat aimed at achieving a balanced schedule, providing for the oral presentation of as many papers as possible at each session while still leaving adequate time for discussion of the material presented. Two afternoons were left entirely free, to enable informal groups to discuss matters arising out of discussions at the formal sessions of the Conference. No records were taken of such informal meetings.

Wherever possible, the author, or authors, of papers were consulted during the Conference by members of the Scientific Secretariat, who acted as secretaries of session, or by the team of editors made available for the purpose by IAEA,** to ensure maximum accuracy.

The records of discussion at the various sessions, based on notes taken in the meetings by IAEA records officers,** and checked where necessary against the sound recordings made of all sessions, were prepared by the Division of Language Services of IAEA in English, and subsequently translated into French, Russian and Spanish through the intermediary of the atomic energy authorities in the three countries concerned (see third paragraph of the present note).

The editing of the English, French and Spanish papers was carried out at the United Nations Office at Geneva under United Nations supervision by a team of editors, whose services, also, were made available by the atomic energy authorities of their respective countries, with some help from outside consultants. The editing of the Russian papers was done in Moscow in similar circumstances. The following served as editors: Mr. A. de Calmès, Dr. C. E. Granados, Mr. D. H. Hill, Mr. V. F. Kalinin, Cand. Tech. Sc., Dr. R. Lapage, Mr. E. T. Marles, Dr. J. D. C. Mole, Mr. C. Ségot, Mr. J. J. Stobbs, Mr. C. R. Symons and Mr. J. Williamson.

The task of printing this large collection of scientific information has been shared by printers in

* The languages of the Conference were English, French, Russian and Spanish.

** The names of the scientific secretaries, editors and records officers will be found in the list of the Conference Secretariat in Annex 1, Volume 1, of this series.

Belgium, Canada, France, Switzerland, the Union of Soviet Socialist Republics and the United Kingdom.

Full titles of the sixteen volumes of these Proceedings, together with the sessions covered by each volume, are as follows:

Volume No.		Sessions included
1	Progress in Atomic Energy.....	A, B, 1.6, C, H
2	Reactor Physics	3.1
3	Reactor Studies and Performance	3.2, 3.3
4	Reactor Control	3.4, 3.5
5	Nuclear Reactors — I. Gas-cooled and Water-cooled Reactors	1.1, 1.2, 1.3
6	Nuclear Reactors — II. Fast Reactors and Advanced Concepts.....	1.4, 1.5, 1.7
7	Research and Testing Reactors.....	D, 1.9, 1.8
8	Reactor Engineering and Equipment	1.10, 1.11, 3.7
9	Reactor Materials	2.8, 2.9, 2.4
10	Nuclear Fuels — I. Fabrication and Reprocessing	2.3, 2.6, 2.7
11	Nuclear Fuels — II. Types and Economics	2.5, 2.1, 2.2
12	Nuclear Fuels — III. Raw Materials	2.11, 2.12, 2.10
13	Nuclear Safety	3.9, 3.8 3.6
14	Environmental Aspects of Atomic Energy and Waste Management	3.10, 3.11
15	Special Aspects of Nuclear Energy and Isotope Applications	E, 4.1, F, G, 4.2
16	List of Papers and Indexes	

NOTE EXPLICATIVE

Les Actes de la troisième Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques sont publiés ici sous la forme d'une édition unique, multilingue, en seize volumes. Cette présentation a été décidée par l'Assemblée générale lorsqu'elle a approuvé le budget de la Conférence.

En conséquence, les mémoires qui ont été acceptés pour la Conférence sont reproduits ici dans la langue originale dans laquelle ils ont été soumis et sont suivis d'un résumé dans les trois autres langues de la Conférence*.

Aux termes des dispositions budgétaires prises en vue de la Conférence, les gouvernements devaient fournir les résumés et les mémoires dans deux des langues de la Conférence. Ainsi, sur les trois résumés qui suivent chaque mémoire, un est une traduction fournie par le gouvernement intéressé. La traduction des résumés dans les deux autres langues a été faite soit par la Division des services linguistiques de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), à Vienne, soit avec son concours, par les soins des organismes nationaux compétents en matière d'énergie atomique à Londres, Paris, Moscou et Madrid.

L'avant-propos du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies, la préface du Directeur général de l'AIEA et la présente note explicative, ainsi que les comptes rendus de chacune des six séances scientifiques générales et des trente-six séances techniques de la Conférence, sont publiés dans les quatre langues. Tous les autres textes, qui pour la plupart sont d'un caractère non technique et figurent dans les volumes 1 et 16, sont publiés dans la langue dans laquelle ils ont été présentés par écrit ou oralement et sont suivis, lorsque cette langue est l'espagnol, le français ou le russe, d'une traduction en anglais.

Les gouvernements des pays dont la langue officielle n'est pas l'une des quatre langues utilisées à la Conférence ont été consultés pour savoir dans quelle langue ils préféraient voir paraître leurs mémoires.

La table des matières de chaque volume donne les titres des mémoires dans la langue originale ou dans la langue choisie; ces indications sont suivies,

pour les titres en espagnol, en français et en russe, de la traduction en anglais.

Sur les 992 résumés présentés par les gouvernements, les institutions spécialisées et l'AIEA, le Secrétariat scientifique, travaillant sous la direction du Comité consultatif scientifique des Nations Unies, en a finalement retenu 747 pour les inscrire au programme de la Conférence; sur ce nombre, 358 ont été présentés oralement aux 42 séances de travail.

En établissant le programme de la Conférence, le Secrétariat scientifique a cherché à réaliser un équilibre: il s'est efforcé de ménager un temps suffisant pour la présentation du plus grand nombre possible de mémoires tout en laissant du temps pour leur discussion. Deux après-midi avaient été laissés entièrement libres afin de permettre aux participants d'organiser des réunions non officielles et de discuter en petits groupes des questions qui se posaient à la suite des séances officielles de la Conférence. Ces réunions n'ont pas fait l'objet de comptes rendus.

Toutes les fois que cela a été possible, l'auteur ou les auteurs des mémoires ont été consultés pendant la Conférence par les membres du Secrétariat scientifique, qui ont assuré le secrétariat des séances, ou par l'équipe d'« éditeurs » que l'AIEA** avait mis à cet effet à la disposition de la Conférence, afin d'assurer l'exactitude la plus grande.

Les comptes rendus des discussions aux réunions, établis d'après les notes prises en séance par les rédacteurs de comptes rendus de l'AIEA** et comparés toutes les fois qu'il le fallait avec les enregistrements sonores, ont été rédigés en anglais par la Division des services linguistiques de l'AIEA, puis traduits en espagnol, en français et en russe par les soins des organismes compétents en matière d'énergie atomique des trois pays intéressés (voir le troisième alinéa de la présente note).

Les mémoires rédigés en anglais, en espagnol et en français ont été mis au point pour l'impression à l'Office européen des Nations Unies à Genève, sous le contrôle de l'ONU, par une équipe de rédac-

* Les langues de la Conférence étaient l'anglais, l'espagnol, le français et le russe.

** On trouvera les noms des secrétaires scientifiques, des « éditeurs » et des rédacteurs de comptes rendus dans la liste des membres du secrétariat de la Conférence à l'annexe 1 du volume 1.

teurs mis à la disposition de la Conférence par les organismes compétents en matière d'énergie atomiques des pays intéressés, avec l'aide de quelques consultants extérieurs. La mise au point définitive des mémoires rédigés en russe a été faite à Moscou dans les mêmes conditions. Voici les noms des rédacteurs qui ont assuré la mise au point des mémoires: M. A. de Calmès, M. C. E. Granados, M. D. H. Hill, M. V. F. Kalinin, M^{lle} R. Lapage, M. E. T. Marles, M^{lle} J. D. C. Mole, M. C. Ségot,

M. J. J. Stobbs, M. C. R. Symons et M. J. Williamson.

Des entreprises de Belgique, du Canada, de France, du Royaume-Uni, de Suisse et de l'Union des Républiques socialistes soviétiques se sont partagé la tâche que représentait l'impression de cette masse importante de documents scientifiques.

Les titres complets des seize volumes des Actes de la Conférence, ainsi que les numéros des séances sur lesquelles porte chaque volume, figurent ci-après:

Numéro du volume		Séances
1	Progrès accomplis dans le domaine atomique	A, B, 1.6, C, H
2	Physique des réacteurs	3.1
3	Etude des réseaux et performance des réacteurs	3.2, 3.3
4	Contrôle des réacteurs.....	3.4, 3.5
5	Réacteurs nucléaires — I. Réacteurs refroidis par un gaz et réacteurs refroidis à l'eau	1.1, 1.2, 1.3
6	Réacteurs nucléaires — II. Réacteurs à neutrons rapides et réacteurs d'avant-garde	1.4, 1.5, 1.7
7	Réacteurs de recherche et réacteurs d'essai de matériaux.....	D, 1.9, 1.8
8	Technologie et équipement des réacteurs	1.10, 1.11, 3.7
9	Matériaux pour réacteurs	2.8, 2.9, 2.4
10	Combustibles nucléaires — I. Fabrication et retraitement	2.3, 2.6, 2.7
11	Combustibles nucléaires — II. Caractéristiques et aspects économiques	2.5, 2.1, 2.2
12	Combustibles nucléaires — III. Matières premières	2.11, 2.12, 2.10
13	Sûreté nucléaire	3.9, 3.8, 3.6
14	Influence sur le milieu de l'emploi de l'énergie nucléaire. Traitement et élimination des déchets	3.10, 3.11
15	Aspects particuliers de l'énergie nucléaire et applications des radioéléments..	E, 4.1, F, G, 4.2
16	Liste des mémoires et index	

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Труды третьей Международной конференции по использованию атомной энергии в мирных целях представляют собой единое многоязычное издание из шестнадцати томов. Такая форма была предусмотрена Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций при одобрении ею бюджета Конференции.

Принятие к рассмотрению Конференцией доклады соответственно опубликованы здесь лишь на языке оригинала; при этом каждый доклад сопровождается аннотацией на других трех языках Конференции*.

Бюджетные постановления в отношении проведения Конференции также предусматривали, что правительства представят аннотации и доклады на двух языках Конференции. Поэтому одна из трех аннотаций, сопровождающих каждый доклад, является переводом, представленным соответствующим правительством. Аннотации были переведены на другие два языка либо Отделом переводов Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в Вене, либо с его помощью при сотрудничестве национальных органов, ведающих вопросами атомной энергии, в Лондоне, Париже, Москве и Мадриде.

Введение и предисловие Генерального Секретаря Организации Объединенных Наций и Генерального директора МАГАТЭ, соответственно, и настоящая пояснительная записка, наряду с протоколами каждого из шести научных пленарных заседаний и тридцати шести секционных заседаний Конференции, публикуются на всех четырех языках. Все другие материалы, которые по своему характеру в основном относятся к числу официальных и содержатся в томах 1 и 16, публикуются на языке оригинала; и когда речь идет о французских, русских и испанских оригиналах, то к ним приложен английский перевод.

С правительствами стран, язык которых не относится к числу четырех языков Конфе-

ренции, были проведены консультации по поводу того, на каком языке было бы желательно, по их мнению, опубликовать в настоящих трудах представленные ими доклады.

В содержании каждого тома указаны заглавия докладов на языке оригинала либо на другом избранном языке, и в том случае, когда речь идет о французских, русских и испанских заглавиях, их сопровождает английский перевод.

Из 992 аннотаций, представленных правительствами, специализированными учреждениями, а также МАГАТЭ, Ученый секретариат, работая под руководством Научного консультативного комитета Организации Объединенных Наций, в итоге отобрал 747 докладов для включения их в программу Конференции; из них 358 были отобраны для представления в устной форме на 42 рабочих заседаниях.

При составлении программы Ученый секретариат ставил целью добиться сбалансированного расписания, которое дало бы возможность представить в устной форме максимальное количество докладов на каждом заседании при обеспечении достаточного времени для проведения дискуссии по поводу представленного материала. В двух случаях имеющееся во второй половине дня время оставили нераспределенным, с тем чтобы дать возможность неофициальным группам обсудить вопросы, возникшие в ходе дискуссии на официальных заседаниях Конференции. На таких неофициальных заседаниях протоколы не составлялись.

По мере возможности, с автором или авторами докладов консультировались в ходе Конференции члены Ученого секретариата, которые выполняли функции секретарей заседаний, либо такие консультации проводились группой редакторов, которые были выделены МАГАТЭ** для этой цели, с тем чтобы обеспечить максимальную точность.

* Языками Конференции являлись: английский, французский, русский и испанский.

** Фамилии ученых секретарей, редакторов и протоколов приведены в перечне сотрудников секретариата Конференции в приложении 1-ом к тому 1-му настоящей серии.

Протоколы дискуссии на различных заседаниях, составленные на основе записей, сделанных в ходе заседаний протоколистами МАГАТЭ*, и проверенные, по мере необходимости, путем сравнения со звуковой записью, которая велась на всех заседаниях, были подготовлены Отделом переводов МАГАТЭ на английском языке и впоследствии переведены на французский, русский и испанский языки при сотрудничестве национальных органов, ведающих вопросами атомной энергии, в трех заинтересованных странах (смотри третий абзац пояснительной записки).

Работа по редактированию документов на английском, французском и испанском языках была проведена в Европейском отделении Организации Объединенных Наций, в Женеве, под руководством Организации Объединенных Наций группой редакторов,

* Фамилии ученых секретарей, редакторов и протоколистов приведены в перечне сотрудников секретариата Конференции в приложении I-ом к тому I-му настоящей серии.

услуги которых были также предоставлены по линии органов, ведающих вопросами атомной энергии в соответствующих странах, с использованием в некоторой степени помощи приглашенных со стороны консультантов. Русские документы редактировались в Москве в таких же условиях. Нижеследующие лица осуществляли работу в качестве редакторов: д-р К. Э. Гранадос, кандидат технических наук В. Ф. Калинин, г-н А. де Кальмэс, д-р Р. Лепейдж, г-н Э. Т. Марлз, д-р Дж. Д. К. Моул, г-н Ч. Р. Саймонс, г-н Дж. Дж. Стобз, г-н Ш. Сэго, г-н Дж. Уильямсон, г-н Д. Х. Хилл.

В выполнении задачи по печатанию этой обширной научной информации принимали участие типографии в Бельгии, Канаде, Соединенном Королевстве, Союзе Советских Социалистических Республик, Франции и Швейцарии.

Ниже приводятся полные заглавия шестнадцати томов настоящих Трудов, а также указывается, какие сессии охватываются каждым томом:

Номер Тема	Заседания, включенные в том
1 Прогресс в работах по атомной энергии	A, B, 1.6, C, H
2 Физика реакторов	3.1
3 Изучение реакторов и их характеристики	3.2, 3.3
4 Регулирование реакторов	3.4, 3.5
5 Ядерные реакторы — I. Реакторы с водяным и газовым охлаждением	1.1, 1.2, 1.3
6 Ядерные реакторы — II. Реакторы на быстрых нейтронах и усовершенствованные реакторы	1.4, 1.5, 1.7
7 Исследовательские и испытательные реакторы	D, 1.9, 1.8
8 Технология и оборудование реакторов	1.10, 1.11, 3.7
9 Реакторные материалы	2.8, 2.9, 2.4
10 Ядерное топливо — I. Изготовление и переработка	2.3, 2.6, 2.7
11 Ядерное топливо — II. Типы и экономика	2.5, 2.1, 2.2
12 Ядерное топливо — III. Сырьевые материалы	2.11, 2.12, 2.10
13 Ядерная безопасность	3.9, 3.8, 3.6
14 Исследование окружающей среды и удаление радиоактивных отходов	3.10, 3.11
15 Специальные аспекты применения ядерной энергии и изотопов . .	E, 4.1, F, G, 4.2
16 Список докладов и указатели	

NOTA EXPLICATIVA

Las Actas de la tercera Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos están constituidas por una publicación única y plurilingüe compuesta de dieciséis volúmenes, en conformidad con lo dispuesto por la Asamblea General de las Naciones Unidas al aprobar el presupuesto de la Conferencia.

Por consiguiente, las memorias aceptadas para ser examinadas en la Conferencia sólo figuran impresas en el idioma original en que se presentaron, y cada una de ellas va seguida de un resumen de la misma en los otros tres idiomas de la Conferencia*.

En los arreglos presupuestarios para la Conferencia se dispuso también que los gobiernos tenían asimismo que presentar resúmenes y memorias en dos de los idiomas de la Conferencia. En consecuencia, uno de los tres resúmenes que siguen a cada memoria es una traducción facilitada por el gobierno interesado. Los resúmenes fueron traducidos a los otros dos idiomas, ya por la División de Idiomas del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) de Viena, o, con su asistencia, por conducto de las autoridades nacionales de energía atómica de Londres, París, Moscú y Madrid.

La introducción del Secretario General de las Naciones Unidas, el prefacio del Director General del OIEA y la presente nota explicativa, junto con las actas de los debates celebrados en cada una de las seis sesiones científicas generales y las treinta y seis sesiones técnicas de la Conferencia, se publican en los cuatro idiomas. El resto del material, que reviste en su mayoría un carácter oficial y está contenido exclusivamente en los volúmenes 1 y 16, se publica en el idioma en que fue presentado o entregado, seguido para los originales en español, francés y ruso, de la traducción en inglés.

Se consultó a los gobiernos cuyo idioma nacional no es uno de los cuatro idiomas de la Conferencia para saber en cuál de ellos preferían que se publicaran sus memorias en estas Actas.

El índice de cada volumen contiene los títulos de las memorias en el idioma original, o en el idioma elegido, seguidos, cuando se trata de títulos en español, francés y ruso, de la traducción en inglés.

De los 992 resúmenes presentados por gobiernos, organismos especializados y el OIEA, la Secretaría

Científica, bajo la dirección del Comité Científico Consultivo de las Naciones Unidas, escogió por último 747 memorias que debían ser incluidas en el programa de la Conferencia; de éstas, 358 fueron seleccionadas para ser presentadas oralmente en las 42 sesiones de trabajo.

Al preparar el programa de actividades, la Secretaría Científica trató de conseguir un justo equilibrio, y así se previó la presentación oral del mayor número posible de memorias en cada sesión, pero dejando todavía tiempo suficiente para examinar la información presentada. Se dejaron dos tardes totalmente libres, a fin de que los grupos oficiosos pudieran examinar las cuestiones que surgieran en las sesiones oficiales de la Conferencia. No se levantó acta de tales reuniones.

Siempre que fue posible, el autor, o los autores, de las memorias fueron consultados en el curso de la Conferencia por miembros de la Secretaría Científica, que actuaron de secretarios de sesión, o por un grupo de editores facilitado a dicho efecto por el OIEA**, a fin de asegurar la máxima exactitud.

Las actas de los debates celebrados en las diversas sesiones, basadas en notas tomadas en las reuniones por redactores de actas del OIEA**, y verificadas siempre que fue necesario mediante las grabaciones efectuadas en todas las sesiones, fueron preparadas por la División de Idiomas del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en inglés, y traducidas después al español, el francés y el ruso por conducto de las autoridades de energía atómica de los tres países interesados (véase el tercer párrafo de la presente nota).

La preparación para la publicación del texto de los documentos en español, francés e inglés se efectuó en la Oficina de Ginebra de las Naciones Unidas, bajo la fiscalización de las Naciones Unidas, por un equipo de editores cuyos servicios fueron también proporcionados por las autoridades de energía atómica de sus respectivos países, con alguna ayuda de consultores del exterior. La preparación para la publicación de los documentos en ruso se efectuó en Moscú en circunstancias análogas. Actuaron de editores las personas siguientes: Sr. A. de Calmès, Dr. C. E. Granados, Sr. D. H. Hill,

* Los idiomas de la Conferencia fueron el español, el francés, el inglés y el ruso.

** Los nombres de los secretarios científicos, editores y redactores de actas figuran en la lista de la Secretaría de la Conferencia, en el anexo 1, volumen 1, de esta serie.

Sr. V. F. Kalinin, Dra. R. Lapage, Sr. E. T. Marles, Dra. J. D. C. Mole, Sr. C. Ségot, Sr. J. J. Stobbs, Sr. C. R. Symons y Sr. J. Williamson.

En la impresión de esta gran recopilación de información científica han participado impresores

de Bélgica, el Canadá, Francia, el Reino Unido, Suiza y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.

Los títulos completos de los dieciséis volúmenes de estas Actas, junto con las sesiones comprendidas en cada volumen, son los siguientes:

Número del volumen		Sesiones
1	Progresos realizados en el dominio atómico	A, B, 1.6, C, H
2	Física de los reactores.....	3.1
3	Estudios sobre reticulados. Funcionamiento de reactores	3.2, 3.3
4	Control de los reactores.....	3.4, 3.5
5	Reactores nucleares—I. Reactores refrigerados por gas y por agua.....	1.1, 1.2, 1.3
6	Reactores nucleares—II. Reactores rápidos y conceptos más avanzados.....	1.4, 1.5, 1.7
7	Reactores de investigación y de ensayo	D, 1.9, 1.8
8	Tecnología y equipo de los reactores	1.10, 1.11, 3.7
9	Materiales de los reactores	2.8, 2.9, 2.4
10	Combustibles nucleares—I. Fabricación y tratamiento	2.3, 2.6, 2.7
11	Combustibles nucleares—II. Características y estudios económicos.....	2.5, 2.1, 2.2
12	Combustibles nucleares—III. Primeras materias	2.11, 2.12, 2.10
13	Seguridad nuclear	3.9, 3.8, 3.6
14	Influencia del empleo de la energía nuclear sobre el ambiente. Evacuación de residuos	3.10, 3.11
15	Aspectos especiales de la energía nuclear y empleo de los radioelementos....	E, 4.1, F, G, 4.2
16	Lista de documentos e índices	

TABLE OF CONTENTS

Volume 8

Session I.10 Heat transfer

	<i>Organic media</i>	<i>Page</i>
P/15	Campbell <i>et al.</i> Development of organic-liquid coolants	3
P/53	Lévêque Etudes technologiques des fluides caloporteurs organiques <i>Technological study of organic cooling fluids</i>	13
P/93	Villeneuve <i>et al.</i> Transferts de chaleur par liquides organiques <i>Heat transfer with organic fluids</i>	22
P/590	van Meel Burn-out in subcooled forced convection boiling of poly-phenyls	30
	<i>Gas cooling</i>	
P/135	Cunningham <i>et al.</i> Heat transfer and pressure drop performance of herringbone and helical fin fuel elements for uranium/Magnox reactors	39
P/136	Hadrill <i>et al.</i> Heat transfer performance of the polyzonal can for the CEGB reactors	49
P/226	Troost <i>et al.</i> Thermal design aspects of gas-cooled power reactor cores	59
P/519	Gilli Heat transfer characteristics of helical tube bundles as used in steam generators of gas-cooled reactors	69
P/552	Negrini <i>et al.</i> A method for the calculation of three-dimensional flux and temperature distributions in a Magnox reactor, and comparison with experimental measurements taken at Latina power station	77
P/719	Нестеренко, Шадский Метод моделирования на аналоговых вычислительных машинах нестационарных тепловых процессов газоохлаждаемых энергетических реакторов	85
	<i>Nesterenko, Shadsky A method of simulating transient thermal processes in gas-cooled reactors using analogue computers</i>	
	<i>Water cooling</i>	
P/16	Lane, Collier Thermal and irradiation performance of experimental fuels operating in steam-water mixtures	93
P/96	Le Franc <i>et al.</i> Améliorations apportées au transfert thermique des combustibles nucléaires par l'application du procédé «Vapotron» <i>Improvement introduced into the thermal transfer of nuclear fuels by the "Vapotron" process</i>	104
P/224	Levy <i>et al.</i> Critical heat flux considerations in the thermal and hydraulic design of water-cooled nuclear reactors	114
P/326	Осмачкин Особенности теплообмена в ядерных реакторах, охлаждаемых несжимаемыми жидкостями <i>Osmachkin Specific heat exchange features in non-compressible liquid-cooled reactors</i>	128
P/569	Jannussis The transient heat transfer from hollow cylindrical fuel elements in boiling superheated conditions	141
P/580	Torikai <i>et al.</i> Boiling heat transfer and burn-out mechanism in boiling-water cooled reactors	146
P/600	Rallis, Jawurek The mechanism of nucleate boiling	156
P/699	Novaković, Stefanović Boiling from a liquid interface	166
P/867	Silvestri <i>et al.</i> Basic heat transfer and hydrodynamics studies in two-phase flow	173
	<i>Liquid metal cooling</i>	
P/225	Dwyer, Lyon Liquid-metal heat transfer	182
P/328	Субботин <i>et al.</i> Теплообмен в элементах реакторов с жидкометаллическим охлаждением <i>Subbotin et al. Heat transfer from fuel elements of liquid metal-cooled reactors</i>	192

TABLE OF CONTENTS

(Continued)

General		Page
P/527 Schmid	Some theoretical problems of heat conduction in reactor fuel elements	204
P/776 Schmid, Stach	The optimum reactivity control of a multi-zone nuclear reactor in relation to the maximum output of the power station	212
Record of session 1.10		219
Compte rendu de la séance 1.10		224
Протокол заседания 1.10		231
Acta de la sesión 1.10		238
Session 1.11: Hydraulic problems of reactor engineering		
Water cooling		
P/55 Mondin et al.	Quelques aspects fondamentaux de l'ébullition dans les réacteurs nucléaires	247
P/95 Foure et al.	<i>Some fundamental aspects of boiling in nuclear reactors</i> La technique des écoulements diphasés tourbillonnaires dans les réacteurs à eau	255
P/230 Lottes et al.	<i>Technique for vortex type two-phase flow in water reactors</i> Fluid dynamics, stability, and vapor-liquid slip in boiling reactor systems	263
P/231 Poppendiek, Gambill	Helical, forced-flow heat transfer and fluid dynamics in single and two-phase systems	274
P/232 Isbin et al.	Critical flow phenomena in two-phase mixtures and their relationships to nuclear safety	286
P/327 Алексеев et al.	Критические тепловые потоки при вынужденном течении воды	295
Alekseev et al.	<i>Burn-out heat fluxes under forced water flow</i>	
P/329 Булеев	Теоретическая модель турбулентного обмена в трехмерном потоке жидкости	305
Buleev	<i>Theoretical model of turbulent transfer in three-dimensional fluid flow</i>	
P/589 Bogaardt et al.	Heat transfer and hydraulic stability in boiling-water reactors	316
P/607 Becker et al.	Hydrodynamic instability and dynamic burn-out in natural circulation two-phase flow an experimental and theoretical study	325
P/801 Kjelland-Fosterud et al.	Two-phase flow investigations for a marine boiling water reactor	338
Gas cooling		
P/50 Gelin, Milliat	Etudes aérodynamiques et thermiques de gaines d'éléments combustibles refroidis par gaz	347
	<i>Aerodynamic and thermal studies of cans of gas cooled fuel elements</i>	
P/524 Berger, Derian	The influence of an electric field on the heat transfer to CO ₂ coolant at high and low pressure in a nuclear reactor	355
General		
P/698 Zarić	Heat transfer intensification by use of the longitudinally variable pressure gradient	364
Record of session 1.11		371
Compte rendu de la séance 1.11		373
Протокол заседания 1.11		376
Acta de la sesión 1.11		379
Session 3.7: Reactor plant equipment		
Control		
P/126 Hiorns et al.	Recent developments in the instrumentation and control of large gas-cooled reactors	385

TABLE OF CONTENTS

(Continued)

		Page
P/229	Hanauer Improvements in instrumentation for high-performance power reactors	395
P/330	Емельянов <i>et al.</i> Система управления реакторами <i>Emelyanov et al.</i> <i>Control systems of nuclear reactors</i>	404 ✓
P/518	Plumier <i>et al.</i> Résultats pratiques et perspectives de l'utilisation de poison en solution dans les réacteurs à eau sous pression <i>Practical results and prospects for the use of a soluble poison in the pressurised-water reactors</i>	413
	Pressure vessels	
P/52	Lamiral <i>et al.</i> Les caissons en béton précontraint des réacteurs français de la filière uranium naturel – graphite – gaz carbonique <i>The prestressed concrete pressure-vessels of the French natural uranium-graphite-carbon dioxide gas sequence reactors</i>	422
P/140	Houghton Brown <i>et al.</i> The design and construction of prestressed concrete pressure vessels with particular reference to Oldbury nuclear power station	433
P/141	Taylor, Williams The design of prestressed concrete pressure vessels, with particular reference to Wylfa	446
P/144	Townley, Procter Investigations to predict the performance of steel reactor pressure circuit components in service	456
P/227	Gaines, Porse Problems in the design and construction of large reactor vessels	464
P/331	Стекольников <i>et al.</i> Корпуса водо-водяных энергетических реакторов высокого давления <i>Stekolnikov et al.</i> <i>Vessels for power reactors cooled and moderated by water at high pressures</i>	473
P/522	Hauer <i>et al.</i> Pressure vessel for the first Czechoslovak nuclear power station	484
P/810	Hellström Design and manufacture of the reactor pressure vessels for the Ägesta and Marviken Power Stations and some future developments	498
	Control rods	
P/809	Ericsson, Ahlnäs Design, development and manufacture of control rod drives for heavy-water power reactors	505 ✓
	Fuelling machinery	
P/54	Saitcevsy, Gaussot Les appareils de chargement et déchargement du combustible dans les réacteurs uranium naturel – graphite – gaz <i>Fuel loading and unloading devices for the natural uranium-graphite-gas sequence reactors</i>	512
P/139	Joss <i>et al.</i> Experience with Bradwell and Latina on-load fuel handling equipment and its influence on future designs	522
P/808	Granelli <i>et al.</i> Fuel handling equipment for the Ägesta D ₂ O moderated pressure vessel reactor	532
	Other components	
P/51	Martin, Roche Etude de structures nouvelles adaptées aux réacteurs graphite – gaz et eau lourde – gaz <i>Study of new structures adapted to gas-graphite and gas-heavy-water reactors</i>	541 ✓
P/94	Robert <i>et al.</i> Les circuits de gaz carbonique dans les centrales nucléaires CO ₂ circuits in nuclear power stations	548
P/137	Warner, Bayer Graphite core structures for large gas-cooled power reactors .	560
P/138	Bateman <i>et al.</i> Gas circulators and their drives for large gas-cooled power reactors	569
P/143	Bradley <i>et al.</i> Some engineering problems of the SGHW 100 MW(e) prototype reactor	579
P/228	Monson <i>et al.</i> Components for sodium reactors	588
P/592	Videm Mild steel in primary circuits of water-cooled power reactors .	600
P/696	Kägi, Doroszalai Special problems relating to monotube boilers in nuclear power stations	609

TABLE OF CONTENTS

(Continued)

	Page
P/728 de Jong <i>et al.</i> Experience in the design, calculation and manufacture of power reactor components	618
P/770 Klees, Gérard Apport de la réalisation d'une grande centrale nucléaire dans la conception et la construction des équipements pour réacteurs	627
	The effect of the construction of a large nuclear power plant on the design and manufacture of reactor equipment
P/834 Kuchta Strength problems of the flanged joint	636
P/857 Yoshioka <i>et al.</i> Some engineering studies conducted in introducing a British type reactor for the Tokai atomic power station	642
Record of session 3.7	653
Compte rendu de la séance 3.7	657
Протокол заседания 3.7	662
Acta de la sesión 3.7	667

Session 1.10

HEAT TRANSFER

LIST OF PAPERS

		Page
	Organic media	
P/15	Development of organic-liquid coolants W. M. Campbell <i>et al.</i>	3
P/53	Etudes technologiques des fluides caloporteurs organiques P. Lévêque <i>Technological study of organic cooling fluids</i>	13
P/93	Transferts de chaleur par liquides organiques J. Villeneuve <i>et al.</i> <i>Heat transfer with organic fluids</i>	22
P/590	Burn-out in subcooled forced convection boiling of poly-phenyls D. A. van Meel	30
	Gas cooling	
P/135	Heat transfer and pressure drop performance of herringbone and helical fin fuel elements for uranium/Magnox reactors C. Cunningham <i>et al.</i>	39
P/136	Heat transfer performance of the polyzonal can for the CEGB reactors H. F. J. Hadrill <i>et al.</i>	49
P/226	Thermal design aspects of gas-cooled power reactor cores M. Troost <i>et al.</i>	59
P/519	Heat transfer characteristics of helical tube bundles as used in steam generators of gas-cooled reactors P. V. Gilli	69
P/552	A method for the calculation of three-dimensional flux and temperature distributions in a Magnox reactor, and comparison with experimental measurements taken at Latina power station R. Negrini <i>et al.</i>	77
P/719	Метод моделирования на аналоговых вычислительных машинах нестационарных тепловых процессов в газоохлаждаемых энергетических реакторов В. Б. Нестеренко, В. М. Шадский <i>A method of simulating transient thermal processes in gas-cooled reactors using analogue computers</i> V. B. Nesterenko, V. M. Shadsky	85
	Water cooling	
P/16	Thermal and irradiation performance of experimental fuels operating in steam-water mixtures A. D. Lane, J. G. Collier	93
P/96	Améliorations apportées au transfert thermique des combustibles nucléaires par l'application du procédé « Vapotron » J. D. Le Franc <i>et al.</i> <i>Improvement introduced into the thermal transfer of nuclear fuels by the "Vapotron" process</i>	104
P/224	Critical heat flux considerations in the thermal and hydraulic design of water-cooled nuclear reactors S. Levy <i>et al.</i>	114

LIST OF PAPERS

(Continued)

	Page
P/326 Особенности теплообмена в ядерных реакторах, охлаждаемых несжимаемыми жидкостями <i>Specific heat exchange features in non-compressible liquid-cooled reactors</i>	B. C. Осмачкин 128 <i>V. S. Osmachkin</i>
P/569 The transient heat transfer from hollow cylindrical fuel elements in boiling superheated conditions	A. Jannussis 141
P/580 Boiling heat transfer and burn-out mechanism in boiling-water cooled reactors	K. Torikai <i>et al.</i> 146
P/600 The mechanism of nucleate boiling	C. J. Rallis, H. H. Jawurek 156
P/699 Boiling from a liquid interface	M. Novaković, M. Stefanović 166
P/867 Basic heat transfer and hydrodynamics studies in two-phase flow	M. Silvestri <i>et al.</i> 173
Liquid metal cooling	
P/225 Liquid-metal heat transfer	O. E. Dwyer, R. N. Lyon 182
P/328 Теплосъем в элементах реакторов с жидкометаллическим охлаждением <i>Heat transfer from fuel elements of liquid metal-cooled reactors</i>	B. И. Субботин <i>et al.</i> 192 <i>V. I. Subbotin et al.</i>
General	
P/527 Some theoretical problems of heat conduction in reactor fuel elements	J. Schmid 204
P/776 The optimum reactivity control of a multi-zone nuclear reactor in relation to the maximum output of the power station	J. Schmid, V. Stach 212

Development of organic-liquid coolants

By W. M. Campbell,* A. W. Boyd,* D. H. Charlesworth,* R. F. S. Robertson** and A. Sawatzky**

Hydrocarbon mixtures with high boiling ranges have been studied for a number of years as both coolant and moderator for nuclear reactors. Two reactors of this type, the OMRE and PNPF, have operated successfully in the USA. In order to take full advantage of these liquids, however, they should be used only as the coolant, and the operating temperatures should be considerably higher than in those two reactors, necessitating a thorough understanding of the behaviour of the materials under reactor conditions. This paper deals with the coolant studies carried out in Canada which provide confidence that an organic-liquid-cooled heavy-water-moderated reactor can be economically competitive with any of the other reactors currently being studied in the Canadian program. A companion paper deals with the non-coolant aspects of the reactor development [1].

COOLANT DECOMPOSITION

General

The thermal and radiation stabilities of pure terphenyl isomers and of various terphenyl mixtures were studied. The mixtures were Santowax OM (about 70% ortho- and 30% meta-terphenyl) Santowax WR (Santowax R with the para-terphenyl removed) and partially hydrogenated terphenyls.

Pyrolysis

The pyrolytic studies were carried out by heating the samples sealed under vacuum in ampoules at closely controlled temperatures ($\pm 1^\circ\text{C}$) over the range 400–475 $^\circ\text{C}$ [2]. Table 1 shows some typical data.

Samples of pure o- and m-terphenyl decomposed such that the concentration, c , followed first-order kinetics, $dc/dt = -kc$. A mixture of the pure isomers such as Santowax OM also showed first-order decomposition characteristics, but for reactor-grade Santowax OM the kinetics more closely approximated second-order. The kinetics of the formation of decomposition products having very high boiling points (high boilers, HB) varied, and their initial production rate was significantly lower than the decomposition rate of the terphenyls.

* Chalk River Nuclear Laboratories, Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River, Ontario.

** Whiteshell Nuclear Research Establishment, Atomic Energy of Canada Limited, Pinawa, Manitoba.

Gas-production rates were generally independent of monomer concentration in the liquid. As pyrolysis continued at temperatures above 450 $^\circ\text{C}$, the proportion of H_2 in the gas fell while that of CH_4 and C_2 hydrocarbons increased. Biphenyl was initially produced at significant rates above 450 $^\circ\text{C}$. At lower temperatures the molecular weight of the HB fraction was about 460. After long exposures at temperatures

Table 1. Initial pyrolytic decomposition rates

Hydrocarbon ^a	Initial conversion, %/h at 400 $^\circ\text{C}$	Initial conversion, %/h at 450 $^\circ\text{C}$	Initial conversion, %/h at 475 $^\circ\text{C}$	ΔE^* kcal/g mole
Santowax OM	0.04	0.8	3.0	66
o-terphenyl	—	1.0	—	—
m-terphenyl	—	0.4	—	—
Santowax HOM	0.2	7.0	30	61

^a See Table 3 for compositions.

$\geq 450^\circ\text{C}$ the molecular weight of the HB fraction climbed to over 700.

Santowax HOM (see Table 2) is less stable than Santowax OM, but it should be noted that the temperature for a given decomposition rate is only 30 $^\circ\text{C}$ lower for HOM than for OM.

The effect of some impurities was also examined—200 ppm chlorine added as chlorinated biphenyl had little effect on decomposition rates while the addition of 10% HB-40 (see Table 2) increased rates by a factor of two.

One experiment was performed to study the effect of prior irradiation on the pyrolysis of o-terphenyl. The total decomposition in a sample which had been irradiated and then heated was found equal to the total expected from pyrolysis and radiolysis alone. There was, however, conversion of lower-molecular-weight radiolysis products to high boilers during the subsequent heating.

Electron Irradiations [3]

Samples were irradiated in stainless-steel capsules in the Van de Graaff accelerator at temperatures between 350 and 450 $^\circ\text{C}$. The dose rate was 70 W/g and the temperature was controlled to within $\pm 5^\circ\text{C}$. The energy input was calibrated by measuring the hydrogen yield from benzene.

The decomposition rates for ortho- and meta-terphenyl and Santowax OM at different total doses