Assessment of Radiological Safety for Radiation Workers in Nuclear Power Reactor through Development of Reactor Shielding

By

Amal Abdou Ahmed El-Sawy

B. Sc (Mech. Eng.), Faculty of Engineering, Helwan University, ١٩٨٩
Master in Environmental Sci., Ain Shams University, ٢٠٠٣

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment
Of
The Requirement for Doctor of Philosophy
In
Environmental Science

Department of Environmental Engineering Science
Institute of Environmental Studies & Research
Ain Shams University

٢٠١٢

APPROVAL SHEET

Assessment of Radiological Safety for Radiation Workers in Nuclear Power Reactor through Development of Reactor Shielding

By

Amal Abdou Ahmed El-Sawy
B. Sc (Mech. Eng.), Faculty of Engineering, Helwan University, ١٩٨٩
Master In Environmental Sci., Ain Shams University, ٢٠٠٣

This Thesis Towards a Ph.D. Degree of Environmental Science has been approved by:

١- **Prof. Dr.: El- Sayed Abdel Raouf Naser**
Prof. of Properties and Testing Materials, Faculty of Engineering, Ain Shams University

٢- **Prof. Dr.: Ibrahim Ismail Ali Bashter**
Prof. of Nuclear Physics, faculty of science, Zagazig University

٣- **Prof.Dr.: Omar Ali EL- Nawawy**
Prof. of Reinforced Concrete Structures, Faculty of Engineering, Ain Shams University

٤- **Prof. Dr.: Soad A. El Fiki**
Prof. of Radiation Physics, faculty of science, Ain Shams University

٢٠١٢

Assessment of Radiological Safety for Radiation Workers in Nuclear Power Reactor through Development of Reactor Shielding

By

Amal Abdou Ahmed El-Sawy
B. Sc (Mech. Eng.), Faculty of Engineering, Helwan University, ١٩٨٩
Master in Environmental Sci., Ain Shams University, ٢٠٠٣

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment
Of
The Requirement for Ph.D. Degree
In
Environmental Science
Department of Environmental Engineering Science

Under The Supervision of:

١- **Prof. Dr. Omar Ali EL- Nawawy**
Prof. of Reinforced Concrete Structures, Faculty of Engineering, Ain Shams University

٢- **Prof. Dr. Soad A. El Fiki**
Prof. of Radiation Physics, Faculty of Science, Ain Shams University

٣- **Prof. Dr. Fatma A. Gaber**
Prof. of Nuclear Engineering, Nuclear & Radiological Regulatory Authority

٤- **Prof. Dr. Moustafa A. Abd El- Wahab**
Prof. of Nuclear Engineering, Chairman of Nuclear &Radiological Regulatory Authority

٢٠١٢

دراسة أسس الآمان الاشعاعى للعاملين بمفاعلات القوى النووية من خلال تطوير الدروع الواقية

رسالة مقدمة من الطالبة

أمل عبده أحمد الصاوى

بكالوريوس الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة حلوان ١٩٨٩
ماجستير فى العلوم البيئية (قسم الهندسة البيئية)- جامعة عين شمس ٢٠٠٣

لإستكمال متطلبات الحصول على درجة دكتوراة فلسفة فى العلوم البيئية

قسم العلوم الهندسية البيئية

معهد الدراسات و البحوث البيئية

جامعة عين شمس

٢٠١٢

صفحة الموافقة على الرسالة

دراسة أسس الآمان الاشعاعى للعاملين بمفاعلات القوى النووية من خلال تطوير الدروع الواقية

رسالة مقدمة من الطالبة

أمل عبده أحمد الصاوى

بكالوريوس الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة حلوان ١٩٨٩
ماجستير فى العلوم البيئية (قسم الهندسة البيئية)- جامعة عين شمس ٢٠٠٣

لإستكمال متطلبات الحصول على درجة دكتوراة فلسفة فى العلوم البيئية
قسم العلوم الهندسية البيئية

و قد تمت مناقشة الرسالة و الموافقة عليها
اللجنة :

١- **أ.د / السيد عبد الرؤوف نصر**
أستاذ خواص و إختبار المواد – كلية الهندسة – جامعة عين شمس

٢- **أ.د / إبراهيم إسماعيل على بشطر**
أستاذ الفيزياء النووية – كلية العلوم – جامعة الزقازيق

٣- **أ.د / عمر على موسى النواوى**
أستاذ المنشآت الخرسانية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس

٤- **أ. د/ سعاد عبد المنعم الفقى**
أستاذ الفيزياء النووية و الإشعاعية – كلية العلوم – جامعة عين شمس

٢٠١٢

دراسة أسس الآمان الاشعاعى للعاملين بمفاعلات القوى النووية من خلال تطوير الدروع الواقية

رسالة مقدمة من الطالبة

أمل عبده أحمد الصاوى

بكالوريوس الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة حلوان ١٩٨٩
ماجستير فى العلوم البيئية (قسم الهندسة البيئية) - جامعة عين شمس ٢٠٠٣

لإستكمال متطلبات الحصول على درجة دكتوراة الفلسفة فى العلوم البيئية
قسم العلوم الهندسية البيئية

تحت اشراف :

١- **أ.د / عمر على موسى النواوى**
أستاذ المنشآت الخرسانية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس

٢- **أ. د/ سعاد عبد المنعم الفقى**
أستاذ الفيزياء النووية و الاشعاعية – كلية العلوم – جامعة عين شمس

٣- **أ.د/ فاطمة عبد المجيد جابر**
أستاذ الهندسة النووية – هيئة الرقابة النووية و الإشعاعية

٤- **ا.د/ مصطفى عزيز عبد الوهاب**
أستاذ الهندسة النووية – رئيس هيئة الرقابة النووية و الإشعاعية

ختم الإجازة
أجيزت الرسالة بتاريخ / / ٢٠١٢

موافقة مجلس المعهد **موافقة الجامعة**

/ /٢٠١٢ / /٢٠١٢

٢٠١٢

Table of Contents

Pag.

Acknowledgements ……..……..……i

Abstract …….……..……...ii

Table of contents……iv

List of figures…….....viii

List of tables……xii

Nomenclature……..……....xiv

Abbreviation.……..……xv

Chapter ١ Introduction and Literature Review

١-١ General Considerations……...١
١-٢ The Pressurized- Water Reactor Nuclear Power Plant…...٢
١-٣ Principles of Nuclear Reactor Shielding…….…٥
١-٤ Aim of the Present Work……٥
١-٥ Literature Review……٩

Chapter ٢ Neutron & Gamma Rays Sources and Shielding Principles

٢-١ Introduction……...٢٠
٢-٢ Neutron and Gamma Rays Sources……...٢٠
٢-٢-١ Neutron Sources……٢٠
٢-٢-١,١ Neutron from Nuclear Reactor…….٢١
٢-٢-١,٢ Neutron from other Sources…… …٢٢
٢-٢-٢ Gamma Rays Sources……...٢٣
٢-٢-٢,١ Reactor Gamma Rays…….....٢٣
٢-٢-٢,٢ Gamma Rays from other Sources……٢٥

٢-٣ Interaction of Radiation With Matter……....٢٦
٢-٣-١ Introduction……..……٢٦
٢-٣-٢ Interaction of Neutron With Matter……..…٢٦
٢-٣-٢,١ Classification of Neutron According to their Energies……..……...…….٢٧
٢-٣-٢,٢ Fast Neutron Scattering……..٢٨
٢-٣-٢,٣ Thermal Neutrons Absorption……....٢٩
٢-٣-٣ Neutron Cross- Section……..……...٣٢
٢-٣-٤ Interaction of Gamma Rays with Matter…..……٣٣
٢-٣-٤,١ Photoelectric Effect……..……..٣٣
٢-٣-٤,٢ Pair Production……..……٣٥
٢-٣-٤,٣ Compton Effect……..…٣٥
٢-٣-٥ Attenuation Coefficient of Gamma Rays…..…...٣٥
٢-٤ Aspects of Shielding Process……..……٣٦
٢-٤-١ Introduction……...٣٦
٢-٤-٢ Neutron and Gamma Rays Attenuation Process...٣٧
٢-٤-٢,١ Slowing Down of Fast Neutrons…….٣٧
٢-٤-٢,٢ Slow Neutron Capture……..……...٣٧
٢-٤-٢,٣ Attenuation of Gamma Radiation…..٣٨
٢-٤-٣ Consideration in Materials selection……....٣٨
٢-٤-٤ Design of Shielding……..٣٩
٢-٤-٥ Shield Materials for Stationary Reactor Systems.٤١

Chapter ٣ Transport Theory Methods

٣-١ Introduction…….……٥٢
٣-٢ Deterministic Transport Theory……..…….٥٢
٣-٣ Mont Carlo Transport Theory……..……٥٥
٣-٤ MCNP and The Mont Carlo Method…….……..٥٧
٣-٥ Mont Carlo Method Vs. Deterministic Method…...٥٨
٣-٦ Variance Reduction Methods……٥٩

Chapter ٤ MCNP Geometry Model

٤-١ Introduction……..…٦٥
٤-٢ Description of MCNP Geometry Model…..……٦٦
٤-٢-١ Description of PWR Reactor Shielding Model…٦٦
٤-٢-٢ Description of Containment Building……..٦٨
٤-٣ Materials.……..٧٢
٤-٤ Radiation Source Models…….……....٧٤
٤-٤-١ Reactor Source Models……....٧٤
٤-٤-١-١ Introduction……..…… ٧٤
٤-٤-١-٢ Spatial Arrangement of Source in PWR Core……...٧٥
٤-٤-٢ Deterministic of Neutron Spectra…...…….٧٧
٤-٤-٢-١ Prompt Neutron Spectra……٧٧
٤-٤-٢-٢ Determination of Photon Spectra…..…٧٩

Chapter ٥ Results and Discussions

٥-١ Results of the PWR Model……..……٨٣
I- In radial direction…….……..٨٣
II- In axial direction……..……٨٩
٥-٢ Validation of the Model……..…....٩٤
I – In radial direction……..٩٥
II – In axial direction……..……....٩٥

٥-٣ Development of the PWR Shield Model design…..…….٩٨

٥-٣-١ The first developed model design of PWR shield…...٩٨

٥-٣-١-١ Comparison between the results of the first developed model and the original model…….١٠١

٥-٣-٢ The second developed model design of PWR shield……١٠٣

٥-٣-٢-١ Comparison between the results of the second developed model and the original model…...١٠٤

٥-٣-٣ Comparison between the results of the first Developed model and the second developed model of the PWR shield……..…١٠٦

٥-٤ Allowable working hours for workers……..……...١٠٨

٥-٤-١ Classification of Radiation Areas……,,……...١٠٨

٥-٤-٢ Working hours for workers in NPP……..……١٠٩

Chapter ٦ Conclusions and Recommendations……١١٥

References

Arabic Abstract

List of Figures

Figure	Title	page
١-١	PWR Power Plant Schematic.	٤
٤-١	Plan (Y-Z) views of the homogenized reactor design.	٦٧
٤-٢	Plan (X-Y) view of the homogenized reactor design	٦٨
٤-٣	Elevation (Y-Z) view of containment building through center of reactor	٧٠
٤-٤	Plan (X-Y) view of containment building, showing major structural and reactor components	٧١
٤-٥	Plan view of geometry showing X-Y plane with origin at center of containment at approximate vertical center of reactor core	٧١
٤-٦	Plan view of geometry showing X-Y plane with origin at center of Containment near top of reactor core	٧٢
٤-٧	Axial power profile (proportional to relative burn-up) assumed for source definition	٧٦
٤-٨	Radial pattern of source strengths used for PWR source definition	٧٧