



UNIVERSITY OF NATIONAL AND WORLD ECONOMY
The Spirit Makes The Power

Department of National and Regional Security

**APPROACHES TO STRENGTHEN NUCLEAR SECURITY
DETECTION ARCHITECTURE TO EMBARKING COUNTRIES
THROUGH HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT – SUDAN CASE**

ABSTRACT

for the acquisition of an educational and scientific degree "doctor" in the scientific specialty
"Economics and Management (Defense and Security)"

By

Bokhari Ahmed Monier Ahmed

© 2025 **Bokhari**

Academic supervisor:

Assoc. Prof. Dr. Konstantin Hristov Poudin

Scientific jury:

Prof. Dr. Tsvetan Georgiev Tsvetkov

Assoc. Prof. Dr. Georgi Georgiev Penchev

Prof. Dr. Tilcho Kolev Ivanov

Assoc. Prof. Dr. Daniela Dobрева Pastarmadzhieva

Assoc. Prof. Dr. Zahari Ventsislavov Goranov

Sofia 2025

The dissertation was discussed and directed for defense by the Department "National and Regional Security" at the University of National and World Economy - Sofia, on 27.05.2025. The research was carried out at the University of National and World Economy - Sofia. The dissertation has a volume of 184 pages and contains: table of contents, list of abbreviations, list of tables, list of figures, introduction, three chapters, conclusion, list of references, five appendices. The main text contains 9 figures and 14 tables. There are 4 publications related to the dissertation's topics.

The defense of the dissertation will take place on 07.10.2025 at 10:00 pm in the "Scientific Councils" hall of the University of National and World Economy - Sofia. The defense materials are available in the "Science" Directorate and on the website of the University of National and World Economy - Sofia: www.unwe.bg.

I. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION

1. Relevance And Importance of the Topic

A robust second line of defense against nuclear security threats is urgently needed in Sudan, strengthening nuclear detection architectures is critical to securing public safety and environmental integrity by identifying and intercepting unauthorized movements of nuclear and radioactive materials across borders and within national territories (IAEA, 2011). The extensive and often porous borders of countries like Sudan pose a significant risk of nuclear smuggling and illicit trafficking. The challenges related to these problems are further exacerbated by the limited resources, insufficient detection tools, underfunded border control agencies, and poorly trained personnel involved in enforcement. These factors make it extremely difficult to prevent unauthorized transport and misuse of nuclear and radioactive materials.

To address these security gaps, it is essential to deploy advanced detection technologies such as Radiation Portal Monitors (RPMs) and enhance the operational capacity of relevant authorities. A sustainable and effective nuclear security framework requires clearly defined responsibilities for agencies involved in nuclear detection, integrated within a comprehensive security architecture. Effective prevention of nuclear proliferation and terrorism involves multiple steps, including adopting the best international practices, fostering cross-border cooperation, and integrating innovative technologies.

Sudan's growing nuclear ambitions and the necessity to develop a robust, sustainable nuclear security framework are the motivators for this study. Sudan must develop both the technical infrastructure for nuclear energy as well as the security systems that will prevent, detect, and respond to unauthorized acts involving nuclear and radioactive materials as part of its embarking process. Detection architecture plays a fundamental role in this process, but its effectiveness does not hinge solely on technology, but also on a skilled, competent workforce capable of operating complex systems, interpreting signals, and managing incidents in a precise and accountable manner.

Human resource development is an important component of nuclear security, but it is often underemphasized. While international discourse often emphasizes legal instruments and technological detection systems, less attention is paid to building the capacity necessary to maintain these systems in resource-limited environments. A lack of skilled personnel, institutional coordination, and specialized training programs is a major obstacle to Sudan's nuclear security resilience.

To identify practical, context-appropriate approaches to bridging the capacity gap, this study analyzes Sudan's detection capabilities in the context of international standards as well as best practices from countries such as Australia.

The comparative insights drawn from Egypt and Ethiopia strengthen the relevance of this work by situating Sudan within a regional framework. Understanding how neighboring countries manage their nuclear security responsibilities helps highlight shared challenges and opens opportunities for collaboration and harmonization of policies.

This study is important because it proposes a practical roadmap informed by international standards, such as the IAEA Nuclear Security Series (NSS), and successful models from countries like Australia. These recommendations are not theoretical ideals but adaptable that consider Sudan socio-political realities and the broader Sudan context.

Thus, the study a critical and timely gap in the nuclear security landscape by focusing on how human resource development (HRD) can strengthen nuclear security detection architecture in embarking countries, using Sudan as a case study. contributes to the advancement of nuclear security as a shared international responsibility and to global security efforts.

As a result, this research is important for both academic and policy making communities. As Sudan plans to expand its use of nuclear technologies for peaceful purposes, establishing a robust detection architecture supported by well trained professionals is not only a national security priority it is a cornerstone of safe, secure, and sustainable nuclear development.

This research presents practical recommendations, and a comprehensive roadmap aimed at enhancing Sudan's nuclear detection capabilities, with a particular emphasis on human resource development. This study supports global efforts to prevent nuclear material misuse by contributing to broader initiatives to strengthen nuclear security in post-conflict and developing regions.

2. Research Object

This dissertation focuses on nuclear security in Sudan and analysis of the various aspects that contribute to the development and implementation of nuclear security, while the subject of the research is Nuclear Security Detection Architecture (NSDA) in and human resource development. Human resource development (HRD) is one of the most effective tools for building and keeping an effective nuclear security regime. As a result of ongoing political and infrastructure instability, Dissertation examines the status of Sudan's nuclear

security framework, the ability of its institutions, and the challenges associated with technical, education and workforce training.

3. Research Subject

The primary object of this dissertation is to examine and propose effective approaches for strengthening nuclear security detection architecture in embarking countries, using Sudan as a case study. The research seeks to identify how human resources development (HRD) can support the establishment, operation, and sustainability of nuclear security systems, particularly in regions affected by limited infrastructure, political instability, and emerging nuclear programs.

In a broader context, the dissertation also draws comparisons with Egypt and Ethiopia to offer a regional perspective, proving how HRD can be tailored to support national and regional nuclear security goals in Sudan while offering recommendations for enhancing global nuclear security standards.

4. Research Objective and Research Sub-Objectives

This dissertation aims to contribute to the development of sustainable and effective nuclear security detection architecture in Sudan by focusing on the role of human resources development (HRD). by provide actionable recommendations on how to strengthen nuclear security capabilities in Sudan align national frameworks with international standards and improve detection and response mechanisms.

We will conduct several key **objectives** as part of this study to achieve the main objective.

- Provide an Overview of Nuclear Security Concepts
- analyze the current nuclear detection architectures in Sudan. examine the existing legal and regulatory frameworks, institutional arrangements, and technical infrastructure for detection.
- To compare Sudan approach with those of Egypt, and Ethiopia, offering a regional context and highlighting complementary and divergent practices.
- Using international standards and best practices as a benchmark, regional frameworks can be improved. The Australian nuclear security model will serve as a comparative case study due to its integrated and robust detection approach and alignment with the International Atomic Energy Agency (IAEA) guidelines.

- As part of the research, we will assess the effectiveness of current efforts to develop nuclear security and human resources. The availability of specialized training programs, the role of academic and professional institutions, and the sustainability of workforce development in detection-related fields are included in this assessment.
- This study will develop recommendations for strengthening detection systems based on the analysis. As part of these recommendations, technical infrastructure will be improved, inter-agency communication will be enhanced, and regional and international collaboration will be strengthened to deal with transboundary threats.
- Finally, the research will propose a detailed roadmap for implementing the proposed measures. This roadmap will outline short- and long-term priorities, including policy reform, investment in detection technologies, institutional strengthening, and human capacity building.

5. The Research Problem

Sudan, as an embarking country in the peaceful use of nuclear technology, faces serious challenges in establishing a robust and sustainable nuclear security detection architecture. The increasing global threat of nuclear terrorism and illicit trafficking of radioactive materials highlights the urgent need for effective detection systems. However, Sudan's efforts are hindered by political instability, weak regulatory infrastructure, limited technical capacity, and a significant shortage of qualified personnel.

This dissertation addresses critical challenges in nuclear security, with a primary focus on the threat of nuclear terrorism. Preventing unauthorized access to nuclear and radioactive materials requires effective detection measures, yet many African countries lack the necessary infrastructure to prevent, detect, and respond to malicious acts involving such materials. Inadequate technological capabilities, limited resource allocation, and weak border controls make these states vulnerable to illicit nuclear trafficking.

A key challenge is the lack of trained personnel and restricted access to advanced detection technologies, which further compromises the ability to intercept unauthorized nuclear material movements. Additionally, regional political instability complicates the establishment of a coherent and effective nuclear security framework. Strengthening nuclear security requires a continuous process of planning, evaluating, and improving legal and regulatory frameworks. This includes assessing the effectiveness of detection systems for nuclear materials that are not under regulatory control and addressing gaps in human resources.

This study examines the detection architecture for nuclear security in Sudan and human resource development, identifying existing vulnerabilities and proposing strategies to strengthen detection systems. A robust detection framework is essential for ensuring the secure operation of nuclear facilities and the protection of nuclear materials. However, several challenges hinder the effective implementation of detection systems in these countries. The excessive cost and maintenance requirements of advanced technologies pose financial constraints, making their adoption difficult within limited national budgets. Additionally, resistance from local governments or institutions stemming from a lack of awareness or understanding of nuclear security measures can further delay progress. Logistical challenges, such as inter-agency coordination and personnel training, also present significant barriers to the successful deployment and operation of nuclear detection systems. By addressing these challenges, this research aims to provide actionable recommendations to enhance nuclear security detection capabilities in Sudan, contributing to a more robust and resilient regional security framework.

6. Research Questions

The study is guided by the following key research questions, which aim to clarify the challenges and strategies associated with nuclear security detection architectures in Sudan:

1. What are the challenges of developing nuclear security regimes and detection architectures?
2. Does the current system of detection and regulatory framework prevent illicit trafficking and misuse of nuclear materials?
3. How does international cooperation contribute to strengthening nuclear security in Sudan?
4. What strategies can be implemented in the region to strengthen detection architecture and regulatory measures?
5. What are the roles and responsibilities of stakeholders at national and international levels?
6. What is the international legal framework for strengthening nuclear security?
7. What capacity is needed for human resource development in nuclear security detection architecture?

7. The Hypothesis

Hypothesis 1 (H1):

The current nuclear security detection architecture in Sudan, is insufficient to prevent illicit trafficking and misuse of nuclear materials due to significant challenges such as resource constraints, outdated technology, and gaps in human resource development. This

hypothesis posits that the existing systems and infrastructures in place for nuclear security within these countries are fundamentally inadequate. One primary factor is the limited availability of financial and material resources, which constrains the procurement, deployment, and maintenance of state-of-the-art detection equipment.

Consequently, these countries often rely on outdated technological systems that lack the sensitivity and adaptability necessary to counter evolving smuggling tactics and emerging threats effectively. Moreover, the effectiveness of any detection system is heavily dependent on the expertise of its operators. Currently, there are notable deficiencies in the education, training, and capacity-building initiatives available to the relevant personnel, including border security officers, law enforcement, and customs officials. These human resource gaps further compound the challenges posed by insufficient and outdated technological measures. Together, these factors suggest that the current nuclear security detection architecture falls short in its ability to deter or intercept the unauthorized movement and potential misuse of nuclear materials, thereby elevating the risk profile for the region.

Hypothesis 2 (H2):

Strengthening nuclear security through targeted enhancements such as upgrading detection technologies, implementing comprehensive training programs, and improving regional and international cooperation will significantly mitigate the risks associated with illicit nuclear material trafficking and bolster overall security in the region.

This hypothesis outlines a potential pathway to address the vulnerabilities identified in H1. It argues that a multifaceted and targeted approach is necessary to fortify nuclear security in Sudan. Upgrading detection technologies is paramount; modern systems with enhanced sensitivity and real-time monitoring capabilities can better identify and respond to illicit trafficking attempts. Alongside technological improvements, the implementation of comprehensive training programs is critical. Such programs ensure that border control officers, law enforcement personnel, and customs officials are well-equipped with the skills required to operate advanced detection systems and to respond efficiently to nuclear security threats. Furthermore, enhancing both regional and international cooperation is indispensable.

Collaboration with global institutions, such as the International Atomic Energy Agency (IAEA), can facilitate the sharing of best practices, technical expertise, and financial resources, thereby creating a more harmonized and effective security framework. By addressing technological, human resources, and cooperative dimensions concurrently, it is anticipated that these targeted enhancements will significantly reduce the vulnerabilities

associated with nuclear material trafficking and strengthen the overall security architecture in the region.

8. Limitations of the study

The research was conducted under some limitations within specific parameters to systematically examine nuclear security challenges and detect architecture developments across Sudan. Among them are Sudan and its neighboring countries. The primary objective of this study is to identify and analyze the challenges faced by nuclear security regimes and detection systems in this region and to propose actionable strategies to address them. The study relies on publicly available data sources, including open, unclassified, and accessible information, to ensure credibility and comprehensibility.

Nuclear security is an overly sensitive topic with implications for both national and international security, making access to original, classified, or highly specific information limited. While secondary data can provide valuable insights, it limits the ability to gather real-time or highly contextualized information tailored to regional challenges. Considering the security concerns surrounding nuclear materials and systems, this research does not involve direct surveys or interviews with nuclear security experts or stakeholders. To provide a comprehensive analysis, it synthesizes available literature, legal frameworks, and international best practices. It is important to maintain confidentiality while addressing broader regional issues. This study focuses on Sudan, nuclear security challenges. Through this regional focus, we can explore shared vulnerabilities, collaboration opportunities, and national contexts. This study is framed by recent advances in nuclear security policies and practices, especially between **2017** and **2024**, a period of significant national and international discourse and developments in nuclear security frameworks. Especially Sudan approves the nuclear law in 2017. This research is highly relevant to strengthening nuclear security across Sudan. It emphasizes the interconnected roles of national agencies responsible for border control, material transport, import-export monitoring, and radioactive waste management. Moreover, strengthening nuclear security in the region contributes significantly to global nuclear security efforts in addition to protecting individual nations.

II. DISSERTATION VOLUME AND STRUCTURE

This dissertation is comprised of 184 pages and includes a table of contents, a bibliography, as well as a total of [104] references. The bibliography provides a

comprehensive list of sources pertinent to the communication and detection architecture and security of nuclear materials.

The dissertation has the following structure:

ABSTRACT

TABLE OF CONTENTS

LIST OF SYMBOLS OR ABBREVIATIONS

LIST OF TABLES.

LIST OF FIGURES

INTRODUCTION

Chapter 1: Sudan Nuclear Security: Theoretical Framework and The Current Status

- 1.1 Nuclear Security and Nuclear Security Regime – Theoretical Overview
- 1.2 Creating A National Nuclear Regulatory Authority
- 1.3 Overview of Nuclear Developments in Northeast Africa
- 1.4 international nuclear security regime
- 1.5 Nuclear Security Detection Architecture
- 1.6 Nuclear Security Detection Architecture and Human Resource Development

Chapter 2: Methodological Aspects of the Study and Analysis of the Nuclear Security in Sudan

2.1 The Research and Methodological Framework

- 2.1.1 Case Studies
- 2.1.2 Document Analysis
- 2.1.3 Comparative Analysis with Australia
- 2.1.4 Justification for Country Selection Egypt, And Ethiopia
- 2.1.5 Data Collection and Design
- 2.1.6 Description of Information Sources
- 2.2 Analysis of Nuclear Security in Sudan
- 2.3 Human Resource Development in Sudan
- 2.4 Nuclear Security Education, And Training in Sudan
- 2.5 Regional Frameworks: African Nuclear-Weapon-Free Zone (Nw fz) - The Pelindaba Treaty
- 2.6 Global Trends in Nuclear Security Detection
- 2.7 Best Practices in Nuclear Security
- 2.8 A Complementary Case for Regional Comparison: Egypt and Ethiopia

Chapter 3: Empirical Findings and Comparative Analysis

3.1 Findings

3.1.1 Challenges in Developing Nuclear Security Regimes and Detection Architectures in Sudan

3.1.2 Opportunities for Enhancing Nuclear Security Detection in Sudan

3.2 Comparative Analysis of Nuclear Security in Sudan,

- 3.3 Comparative Analysis with Best International Practices
- 3.4 Lessons For, Sudan
- 3.7. Summary And Conclusion of Chapter 3

Recommendations For Cooperation and Communication

Recommendations To Strengthening Physical Protection

Recommendations For Enhancing Nuclear Security Education and Training.

Recommendations For Nuclear Security Detection Architecture

References

Appendices

III. BRIEF DESCRIPTION OF THE CONTENTS OF THE DISSERTATION

In the **Introduction**, the relevance and significance of the researched issue is substantiated. The object, subject, thesis, tasks, research questions, methodology, limitations, are presented.

The **First** chapter provides the context and development of nuclear security in Sudan, offering a detailed literature review and analysis of key theoretical frameworks.

Nuclear Security and Nuclear Security Regime – Theoretical Overview

Definition of Nuclear Security

Nuclear security is defined as the prevention of criminal or unauthorized acts involving nuclear or other radioactive material, associated facilities, or related assets. This definition encompasses protecting nuclear weapons, fissile materials, and radioactive sources from theft, sabotage, or malicious use. Over time, the concept has evolved in response to emerging threats such as nuclear terrorism and the proliferation of weapons of mass destruction (WMDs). Preventing crimes is the main goal of nuclear security systems. The best cost-benefit ratio is often thought to be achieved via preventative measures.

In accordance with the IAEA, these are three pillars of nuclear security:

- First, prevention
- Second detection
- Third Response

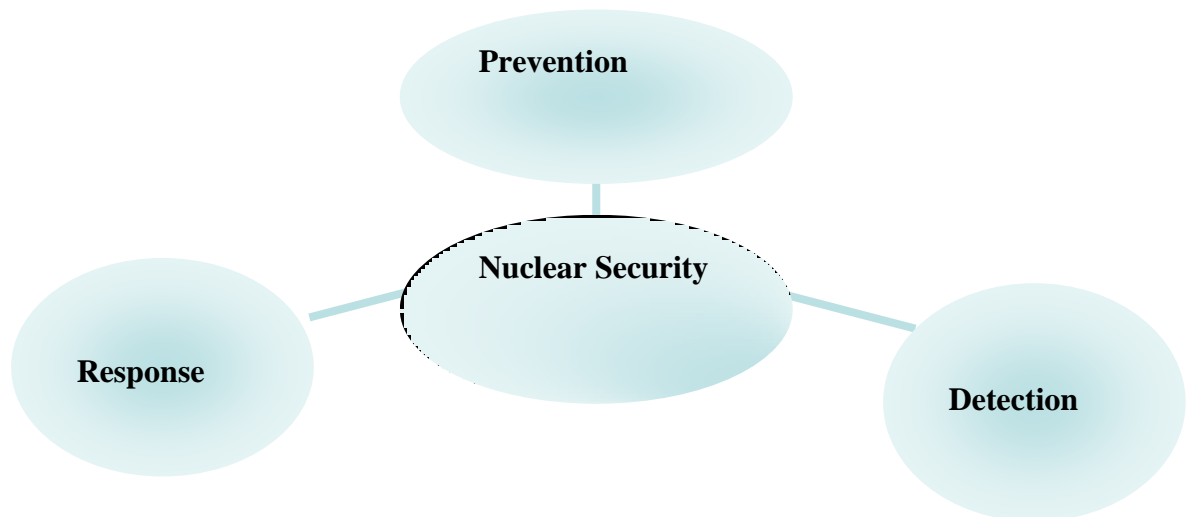


Figure 1. Three essentials of nuclear security

Sources: IAEA-2013

The Essential Elements of the Nuclear Security system

The State responsibility should establish, implement, and maintain an effective national legislative and regulatory framework to regulate the nuclear security of radioactive material, associated facilities and associated activities, which are Consider the risk of malicious acts involving radioactive material that could cause unacceptable radiological consequences; A nuclear security regime consists of three major components. The first is the national law and regulation that governs security on a nation's territory. The second is the international agreements, instruments, and UN Resolutions that supplement domestic security laws. Thirdly, collaboration and cooperation with national competent authorities as well as applying IAEA nuclear security recommendations (IAEA-2011).

Hence, to achieve nuclear security goals the government needs to ensure all stakeholders that have responsibilities within the State's nuclear security regime are competent. Achieving clarity of responsibility in the way recommended by the IAEA is not an easy task. It needs much effort, particularly because the number of potential stakeholders with responsibilities for security is large. In fact, it is much larger than the number of stakeholders who manage nuclear safety on a licensed nuclear site where legal accountability rests exclusively with the licensee. For these reasons, it is particularly important that all stakeholders take initiative-taking steps to understand the limits of their legal accountability. nuclear security, the essential nuclear security regime includes:

- State responsibility.
- Identification and definition of nuclear security responsibilities.

- Legislative and regulatory framework.
- International transport of nuclear material and other radioactive material.
- Offences and penalties including criminalization.
- International cooperation
- Identification and assessment of nuclear security threats.
- Identification and assessment of targets and potential consequences.
- Use of risk-informed approaches.
- Detection of nuclear security events.
- Planning for, preparedness for, and response to a nuclear security event.
- Sustaining a nuclear security regime. (IAEA-2013).



Figure 2. Illustrating Essential nuclear security regime.

Sources: IAEA-2013

Embarking Countries and Human Resource Development

Embarking countries are countries with no nuclear power infrastructure and who are currently developing or planning to develop nuclear power commercially, organization like the International Atomic Energy Agency (IAEA) often use this term to describe countries that plan to build nuclear energy projects but do not currently have a nuclear infrastructure. This term is often used by organizations like the International Atomic Energy Agency (IAEA) to describe countries that have plans to build new nuclear energy projects but do not have a current nuclear infrastructure. Nuclear program development in these countries presents a unique set of challenges and opportunities. These include ensuring robust regulatory frameworks, securing financing for high initial costs, and building public trust in nuclear energy. Additionally, they must develop the necessary technical expertise and infrastructure to operate nuclear facilities safely. Addressing concerns about nuclear safety and waste management is also critical for these countries. Many countries have regulations for controlling the use of radioactive materials for industrial and medical purposes, but most embarking countries do not have comprehensive nuclear licensing programs. A full-range nuclear regulatory body requires either substantial domestic technical expertise or the financial resources to bring in outside technical support. Many of the embarking countries are developing countries, which means that financing the development of new nuclear programs will be a challenge. In spite of the fact that host countries may be able to rely on outside financial support in the form of vendor financing to help build new facilities, the support for setting up nuclear regulatory capabilities is very limited. It is expensive to establish domestic university programs and send students overseas.

Detection of Radioactive and Nuclear Material

Advancements in radiation detection technologies significantly enhance the monitoring of nuclear activities in Sudan, particularly in uranium exploration and security against radioactive contamination. For instance, the implementation of Internet of Things (IoT) technology in remote radiation monitoring systems allows for real-time data visualization and alerts regarding radiation levels at mining sites, thereby improving safety and environmental protection (Conferences, 2023). Additionally, the development of radiation portal monitors (RPMs) facilitates the automatic detection of gamma radiation in various contexts, ensuring early identification of radioactive materials that could pose security threats (Santosa et al., 2022). Furthermore, innovative methods such as alpha-induced radio-luminescence imaging enable remote detection of alpha emitters with high

sensitivity, reducing risks to personnel and enhancing monitoring efficiency (Kong et al., 2024).

The security system should also include security management measures for the integration of people, procedures and equipment through the application of administrative measures.

Nuclear Security Detection Architecture and Human Resource Development

The key finding feature of nuclear and other radioactive material is that it emits ionizing radiation. Although ionizing radiation cannot be seen, felt, or touched, its presence can be detected with the use of specialized equipment (IAEA-2007). Developing humans in nuclear security detection architecture is important and should be developed and kept over time to do so require detailed planning and investment of resources including nuclear security, awareness, including security culture and trustworthiness.

Moreover, another part of HRD is nuclear security education, training, and exercise. Regulatory authority to the introduction of radiation detection techniques and threat pictures for nuclear and other radioactive materials to the law enforcement and customs. Other training on how to use instruments for their effective use in detection and training includes tabletop and field exercises.

Essential of the Capacity Building in Detection Architecture

When the devolving capacity of human resources is important to understand the essentials of capacity. IAEA explains several key elements, including education, training, exercises, awareness development, workforce management, knowledge management, and knowledge networks. Education, training, and exercise activities build the capacity of human resources by facilitating the acquisition of expertise and skills for new and existing professionals to master the principles and technologies associated with the security of nuclear and radioactive materials. (IAEA-2015)

The elements of building capacity are four as follows:

- Education and training.
- Human resource development.
- Knowledge management.
- Knowledge networks.

Importance of HRD in Nuclear Security

Human resources in nuclear security need to be of a particularly high standard, both in terms of competence and performance. Developing the specialists needed in this field

requires considerable effort and time (IAEA-2012a). It is important that professionals with responsibility for the security of nuclear and other radioactive materials should have a basic understanding of the many aspects of nuclear security, including how materials are created, stored, recycled and reprocessed threat assessment and Design Basis Threat (DBT), the physical protection and the regulation and laws that controlled this activity. They also need to know and appreciate some of the contributions that nuclear technology makes to industry, medicine, agriculture, and research.

The absence of an exciting analytical and experimental program and a growing career in the field of nuclear security. Once lost, it would require massive input of resources from the State to attempt to re-establish the infrastructure, as was done to establish it when nuclear technology was new. In this context, the amendment of Convention on the Physical Protection of Nuclear Material enters in force 2016 is committed to taking “*The State should establish or designate a competent authority which is responsible for the implementation of the legislative and regulatory framework and is provided with adequate authority, competence and financial and human resources to fulfil its assigned responsibilities*”. CPPNM also described the State should take steps to ensure effective independence between the functions of the State’s competent authority and those of any other body in charge of the promotion or utilization of nuclear energy. However, hiring the wrong person as a nuclear security officer or guard can have serious and far-reaching consequences that extend far beyond the organization to local and international communities, the environment, and the nuclear industry itself.

The customer and border police with nuclear security are responsible for protecting and detecting any threats to the country or the organization’s assets (including nuclear materials and information security), staff, the environment, and the local community from security events. Thus, this organization must always be ready and able to respond to defined threats and be capable of confidently performing tactical response duties of great difficulty without delay. (WINS-2017).

Overview of Nuclear Developments in Northeast Africa

In North Africa, radioactive materials such as technetium-99m, iodine-131, and cobalt-60 are commonly used. The materials are used in diagnostic and therapeutic procedures such as nuclear imaging and radiotherapy. Radiological sources are used in industry for non-destructive testing (NDT) and radiography. Currently, eleven research reactors are in eight countries across the continent, but governments throughout the continent

are increasingly interested in developing nuclear reactor facilities (IAEA, 2020), where sixteen of the twenty-nine new reactors are being built in developing countries

The **Table** below explains the countries and the types of Research Reactors in Africa States and the name of the facilities some countries without RRs such as Sudan and Ethiopia are also interested in cultivating a nuclear infrastructure centered on their ongoing RR projects as the first step to commercial nuclear power (IAEA, 2011)

Table 1. Types of Research Reactors in Africa

Country	Facility Name	Type	(kW)
Egypt	ETRR-1	Tank WWR	2000
Egypt	ETRR-2	Pool	22 000
Libya,	IRT-1	Pool IRT	10 000
Algeria	Nur	Pool	1000
Algeria	Es-Salam	Heavy water	15 000
Democratic Rep. of the Congo *	TRICO II	TRIGA Mark II	1000
Ghana	GHARR-1	MNSR	30
Morocco	MA-R1 TRIGA	Mark II	2000
South Africa	SAFARI-1	Tank in pool	20 000
Nigeria	NIRR-1	MNSR	30

* At present on extended shutdown status. *Sources: IAEA -2020.*

Nuclear Security Threat in Northeast Africa

Nuclear terrorism encompasses three kinds of actions by non-state actors. These include the use by a non-state actor of a ready-made nuclear weapon from an existing national nuclear arsenal; sabotage of a nuclear facility; and acts of terrorism that threaten the continuation of nuclear weapons production. Nuclear terrorism can involve the use of fissile/radiological substances, radiological dispersion devices, or dirty bombs. Of the three, the possibility of the first kind is the most difficult given that nuclear weapons are well accounted for and protected. A terrorist organization cannot easily steal or pilfer entire nuclear weapons, including delivery systems and knowledge of electronic codes that can be used to launch them, unless the state is complicit in the theft or pilferage. Given that nations with nuclear facilities are sensitive

According to the IAEA Incident and Trafficking Database (ITDB), the number of incidents involving unauthorized activities and events involving nuclear and other radioactive material continued to follow historical trends in 2023. 31 States in 2023, an

increase of twenty-two incidents from 2022, reported 168 incidents to the ITDB. There have been 4243 confirmed incidents reported by participating states since 1993 (ITDB-2024). This data reflects the increasing number of reported incidents, emphasizing the need for strengthened nuclear security measures and enhanced detection capabilities worldwide.

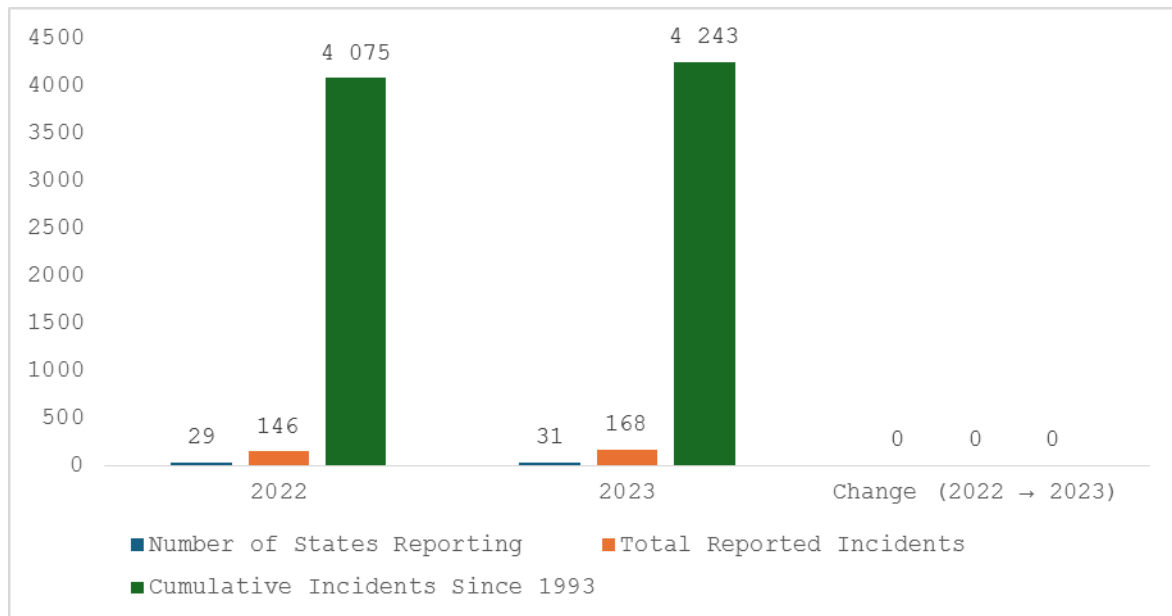


Figure 3. Reported Incidents in the IAEA ITDB (2023 vs. 2022)

Source: ITDB-2024

International Nuclear Security Regime

This section describes international regime will critically assess the application and impact of the International Nuclear Security Regime and its Key legislative frameworks, such as UN Security Council Resolutions 1373 and 1540, the CPPNM and its amendments, and the Nuclear Terrorism Convention, have been instrumental in these efforts. Additionally, initiatives like the Proliferation Security Initiative, the Global Initiative against Nuclear Terrorism, and the Nuclear Security Summits have played a significant role. examining its legal foundations, collaborative efforts, and progress achieved,

CHAPTER 2: METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE STUDY AND ANALYSIS OF THE NUCLEAR SECURITY IN SUDAN

This chapter provides a comparative analysis of nuclear security systems in Sudan, with reference to regional counterparts Egypt, and Ethiopia and international best practices, particularly those of Australia. The objective is to analyses Sudan’s nuclear security

detection architecture and human resources through a structured, research-based approach, while identifying context-specific challenges and opportunities for improvement.

Research Methodologies

This chapter provides a comparative analysis of nuclear security systems in Sudan, with reference to regional counterparts Egypt, and Ethiopia and international best practices, particularly those of Australia. The objective is to evaluate Sudan's nuclear security detection architecture through a structured, research-based approach, while identifying context-specific challenges and opportunities for improvement.

This study adopts a qualitative research approach to explore the complexities of nuclear security detection architecture in Sudan. The chosen methodology enables an in-depth understanding of the challenges and developments in the region and facilitates the triangulation of data from multiple sources, thereby enhancing the reliability and validity of the findings. The research employs the following methodologies:

Case Studies:

It examines nuclear security frameworks in Sudan, in detail, focusing on regulatory structures, technological advancements, and operational challenges and development HRD. In these countries, this method allows for a detailed analysis of specific nuclear activities and security detections, policy responses, and institutional readiness. An interdisciplinary case study approach is useful for identifying patterns, vulnerabilities, and best practices for improving nuclear security. Case studies provide real-world insights that can inform policy development by highlighting successful strategies and common pitfalls. They offer a comprehensive understanding of how different regulatory and operational frameworks function in practice, enabling policymakers to craft more effective and context-specific policies.

Comparative Analysis countries in the region Egypt, and Ethiopia

This study adopts a comparative case study approach focusing on Egypt and Ethiopia to provide a regional perspective and identify best practices relevant to Sudan's nuclear security detection architecture. The countries selected were geographically close, politically relevant, and at varying stages of nuclear development. In each case, emerging or developing nations offer a unique perspective on nuclear security, detection architecture, and human resource development.

Justification for Country Selection Egypt, and Ethiopia

Egypt and Ethiopia were selected for the comparative analysis based on their strategic relevance, nuclear development status, and regional positioning within Northeast Africa region marked by increasing energy demand, geopolitical volatility, and transboundary security challenges. These two countries represent diverse stages of nuclear infrastructure development and varying degrees of engagement with international nuclear security frameworks.

Having built the El Dabaa Nuclear Power Plant, Egypt serves as a benchmark in the region due to its advanced nuclear program. The country also collaborates with international nuclear governance bodies on a wide range of issues. A model of legal and regulatory practices that can inform Sudan's development can be found in Egypt's relative institutional maturity.

It is active in capacity-building and international cooperation, even though Ethiopia is still in the early stages of planning nuclear energy. Ethiopia is a fellow member of the African Union and an emerging stakeholder in nuclear science, so it provides valuable insight into the challenges embarking states face.

By selecting these two countries, a comparative regional analysis can be conducted that captures both the diversity and the commonality of approaches to nuclear security detection systems. Based on regional and international lessons, it also reflects the study's broader objective to identify adaptable and context-sensitive strategies for strengthening nuclear security in Sudan.

Document Analysis:

A critical component of this research involves scrutinizing policy documents, legal frameworks, and international treaties relevant to nuclear security in Sudan. The study extensively examines secondary data sources. More importantly, for the study the secondary sources include journal articles and books published on nuclear and radiological security, as well as databases available at various universities, research organizations and government websites. The following sources of secondary literature were examined and collected from records books, academic journals, professional body websites, industry-based publications, official documents and statistical information. Moreover, a wide range of information was collected domestically related to the security of nuclear and radiological materials, as well as regulation and guidelines issued by relevant agencies in Sudan Atomic Energy Commission (SAEC) and the Sudanese Nuclear and Radiological Regulatory Authority (SNRRA). Other important secondary resources are used international publications and books on the International Atomic Energy Agency (IAEA) website, an organization for economic co-

operation and Nuclear Industry Association (NIA), International Nuclear Information System (INIS), World Institute for Nuclear Security (WINS) and other regulations from regulatory authorities.

Secondary research information was collected from many sources, to provide a cost-effective way of gaining a broad understanding of research questions to maximize the quality of the data. It is important to check the reliability of the websites prior to using them as data sources.

Comparative Analysis with Australia:

This study benchmarks the nuclear security frameworks of Sudan, against Australia's robust and internationally recognized ones. By drawing lessons from Australia's established nuclear security systems, this approach will identify gaps, challenges, and opportunities for improving nuclear security in Sudan. Employing multiple methodologies facilitates a comprehensive understanding of intricate issues through the triangulation of data. This approach bolsters the reliability and validity of research findings, as diverse methods can corroborate and complement one another. Furthermore, it provides a more nuanced perspective, capturing diverse dimensions and contexts of nuclear security in Sudan. This decision aligns with the sensitivity and critical importance of nuclear security. As a result, confidentiality is protected and potential risks associated with access to classified information are avoided. Researchers can access a wide range of information that has already been reviewed and verified when they use documented evidence. Furthermore, this approach minimizes the ethical and logistical challenges associated with gathering new data in sensitive areas, such as nuclear security. In addition, relying on existing documents ensures that the research is grounded in well-established facts and provides a reliable basis for analysis. It emphasized the opportunities for regional adaptation and collaboration based on these international practices in the African context.

Analysis of Nuclear Security in Sudan

A national nuclear security regime in Sudan has been gradually established through the establishment of the Sudanese Nuclear and Radiological Regulatory Authority (SNRRA), responsible for regulating nuclear and radioactive activities. In spite of this, the overall framework is still in its infancy, and challenges remain regarding implementation, coordination, infrastructure, and workforce development.

The purpose of this section is to provide an in-depth analysis of Sudan's nuclear security landscape by examining the legal and regulatory framework, radioactive source regulation, national coordination in detection architecture, alignment with international

norms, participation in global agreements, and the current status of Sudan's detection systems and gaps. It provides an understanding of Sudan's nuclear security infrastructure as well as areas requiring urgent attention and international assistance and is a valuable contribution to the understanding of the country's strengths and weaknesses.

Nuclear Security Education, and Training in Sudan

Table 2. Education on nuclear in Sudan

University	Program	Started date
University of Sudan University of Sciences and Technology (SUST)	BSc in nuclear engineering	2009
Sudan Academy of Sciences (SAS)		2004
Karari University	Purpose master in nuclear security	

Source: the author

As shown in the figure below, one of the most important functional pillars for developing HRD will be generating a competent individual through the provision of layers of education and training.

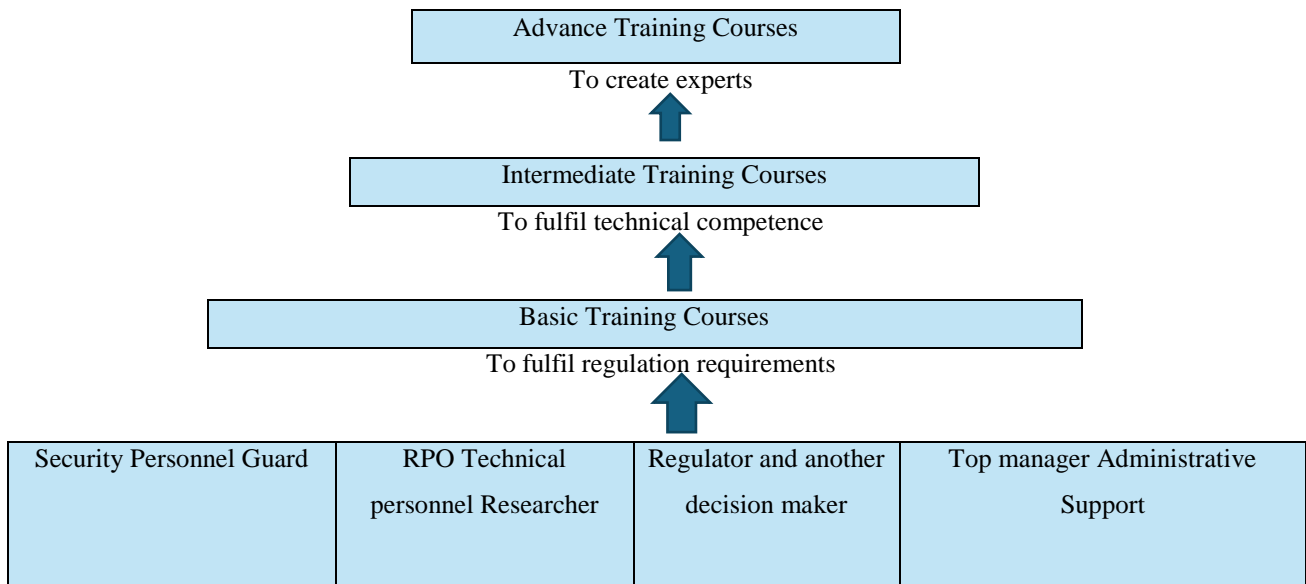


Figure 4. Proposing Training Scheme in Nuclear Security

Source: the author

CHAPTER 3. EMPIRICAL FINDINGS AND COMPARATIVE ANALYSIS

Findings

A number of steps have been taken by Sudan to align its national nuclear security system with international standards, particularly through cooperation with the International Atomic Energy Agency (IAEA).

Although these developments have been positive, there are still some gaps. In areas such as nuclear security culture, personnel trustworthiness, and detection and response mechanisms, Sudan's legal and regulatory systems lack comprehensive coverage. As discussed further in this chapter, these gaps underscore the need for a sustained, coordinated human resources development strategy that aligns with the IAEA's guidance and facilitates long-term institutional development.

Challenges in Developing Nuclear Security Regimes and Detection Architectures in Sudan

The nuclear security detection architecture of Sudan faces many complex challenges due to its political instability, limited technical capabilities, and evolving threat landscape in the world. As a result of the country's vastness and porous borders, as well as its fragmentation of institutions, these challenges are compounded, making it extremely challenging to monitor, detect, and interdict illicit nuclear and radiological material.

Political and Regional Instability

The security environment in Sudan and neighbouring regions remains fragile due to ongoing internal conflicts and governance challenges. As highlighted by Mfr (2016), these instabilities can undermine efforts to secure nuclear materials and create vulnerabilities that non-state actors may exploit. Sudan's political instability stems from decades of internal conflict, frequent changes in government, and widespread civil unrest. In the absence of effective control over its territory and weak governance structures, these factors have contributed to its weakness. Consequently, efforts to address the challenges in its detection architecture are further complicated by the difficulty in implementing and enforcing robust nuclear security measures.

Limited Financial and Technical Capacity

The deployment of essential nuclear technologies and detection infrastructure is hindered significantly by financing and investment obstacles (Orikpete et al., 2023). With

new threats emerging, Sudan's nuclear detection architecture is hindered by outdated or insufficient equipment, a lack of modern surveillance systems, and gaps in cybersecurity protections.

Threat of Nuclear Smuggling and Non-State Actors

The risk of nuclear smuggling remains a critical concern, particularly in areas where materials are outside regulatory control. As Broodryk & Stott (2011) and other analysts have noted, terrorist groups have demonstrated interest in acquiring radiological materials for use in radiological dispersal devices (RDDs), also known as “dirty bombs.”

Coordination Deficiencies

Effective nuclear security necessitates seamless coordination among various agencies—customs, law enforcement, intelligence, border protection, and regulatory authorities. In Sudan, this coordination remains fragmented, hindering the country’s ability to implement a cohesive, multilayered detection system. Fragmented coordination can lead to significant delays in the detection and response to nuclear security threats. This lack of synergy among agencies may result in critical information being overlooked or miscommunicated, increasing the risk of nuclear materials falling into the wrong hands. Ultimately, these coordination deficiencies could undermine national and regional security, posing a grave threat to public safety and stability.

Underdeveloped Regional Mechanisms

Regional frameworks like FNRBA have made some strides in nuclear-related security cooperation, but coordination with external actors and integration of detection-specific protocols remain limited (Brosig, 2014). To enhance regional security frameworks, there is a need for increased collaboration and information sharing among neighbouring countries. Establishing joint training programs and exercises can significantly improve the capabilities of regional entities to detect and respond to nuclear threats. Additionally, developing standardized protocols and integrating them into existing frameworks can streamline efforts and ensure a more coordinated and effective approach to nuclear security.

Technological Gaps and Cyber Threats

There is a promising future in emerging technologies such as radiation portal monitors, mobile detection systems, and AI-powered surveillance systems. While it is often difficult to implement advanced technologies due to a lack of funding, infrastructure, and human resources, the implementation of such technologies is a crucial part of their success (Shubayr, 2022). Human resources are crucial to the successful implementation of these

technologies. There is a need for skilled personnel to operate and maintain high-tech equipment, such as radiation portal monitors and artificial intelligence-driven systems. In addition, staff must undergo ongoing training and development programs in order to stay knowledgeable about the latest technological advancements and be able to respond effectively to threats to nuclear security.

Opportunities for Enhancing Nuclear Security Detection in Sudan

There are several opportunities for Sudan and other Northeast African countries to enhance nuclear security detection systems despite persistent challenges.

Leveraging international support and assistance

It is clear that the Sudan can greatly benefit from partnerships with international institutions such as the International Atomic Energy Agency (IAEA), the United Nations, and other specialized bodies dedicated to nuclear security. These institutions offer:

- Knowledge of detection and regulatory systems as well as technical expertise in these areas,
- The development of capacity-building programs for training and education,
- Support for the construction of detection infrastructure and border monitoring systems, as well as financial assistance.

INSSP implementation and regional training events, along with IAEA's advisory missions, are all of particular value in supporting Sudan's efforts to improve its detection capabilities and human resource development (IAEA, 2019).

Adopting Advanced Technologies and Best Practices

Adopting modern technologies and best practices from more developed nuclear programs can significantly improve Sudan's nuclear detection capabilities. Key areas include:

- Handheld detectors and radiation portal monitors (RPMs),
- Real-time analytics and data integration for anomaly detection,
- Machine learning and AI-based detection systems.

Sudan can develop context-appropriate solutions by adopting lessons from countries with more advanced infrastructure, such as Australia and Egypt (Chivers et al., 2017).

Improving Radiation Detection Coverage in Resource-Constrained Environments

Optimization of radiation detection systems is an important challenge when it comes to nuclear security in Sudan. The extensive geographical areas within states, including vast borders, remote regions, and multiple points of entry and transit, make it impractical to

deploy radiation detection equipment everywhere. A detection system typically monitors specific, controlled areas, such as border crossings, seaports, or critical infrastructures. The lack of resources, however, often limits their deployment, necessitating the need to prioritize strategies.

Strengthening Legal and Regulatory Frameworks

National laws should be aligned with international instruments when it comes to combating nuclear terrorism to combat the threat of nuclear weapons. Both binding and non-binding legal documents should be included in these documents' instruments. In alignment with CPPNM Principal C, states are responsible for establishing and maintaining a robust legislative and regulatory framework for physical protection. This includes setting physical protection requirements, licensing and evaluation systems, and mechanisms for enforcing compliance through inspections and sanctions. It is expected that these steps will allow us to detect and apprehend adversaries committing malicious acts (criminal or unauthorized acts) that include implications for nuclear security.

Significant challenges persist in establishing such frameworks, particularly in aligning them with international standards and obligations. For instance, the implementation of nuclear security detection architectures (NSDA) across the region varies significantly, influenced by national priorities, resources, and technical capacities. Countries like Sudan, under the Nuclear Act of 2017, have made progress in mandating the Sudanese Nuclear and Radiological Regulatory Authority (SNRRA) to implement nuclear security measures. However, gaps remain in the enforcement of regulations, particularly in securing radioactive materials and ensuring facilities comply with licensing conditions. Additionally, providing regular training and awareness programs for relevant personnel can help reinforce the importance of these regulations. International cooperation and information-sharing can also play a crucial role in identifying potential threats and ensuring a unified response.

These initiatives have significantly contributed to reducing the likelihood of nuclear materials falling into the wrong hands.

To enhance nuclear security detection systems in the region, Sudan should:

- Develop comprehensive legal frameworks that clearly define roles and responsibilities of national authorities.
- Establish guidelines for detecting and mitigating nuclear and radiological security threats.

- Strengthen mechanisms for monitoring compliance with international nuclear security conventions and standards.

Coordination Among Competent Authorities in Sudan

Coordination among various national and regional authorities is crucial for effective nuclear security. Competent entities include law enforcement, national security agencies, border control authorities, regulatory bodies, and technical organizations. Challenges in fostering effective information-sharing and intelligence collaboration. Fragmented communication, lack of standard operating procedures, and limited cross-border cooperation hinder the effectiveness of detection systems. A coordinated regional approach is essential to address these issues. States in the region should participate in multilateral agreements and regional programs focused on nuclear security detection. For example, leveraging technical support from international partners such as the IAEA and engaging in joint training and capacity-building initiatives can strengthen coordination mechanisms.

Adoption of Advanced Detection Technologies

Detection equipment that is effective and modern is necessary when dealing with illicit trafficking of nuclear and radioactive materials, such as Radiation Portal Monitors (RPMs), which can detect both radioactive and nuclear materials. It is important to keep nuclear and other radioactive material under regulatory control to prevent advisories from acquiring the material for malicious purposes. A storage facility must be secured by security measures to prevent unauthorized access to the source. In addition to physical barriers like fences and security cameras, access control systems like key cards and biometric scanners are also included. As well as installing intrusion detection systems, motion sensors can also improve security within a facility. Protecting digital systems from hacking attempts also requires modern cybersecurity measures. Additionally, regular security audits and personnel training are essential to ensure that staff are equipped to respond to potential threats. Implementing these measures helps to deter unauthorized access and enhance the overall security of the facility.

Comparative Analysis of Nuclear Security in Sudan,

Table 3. National Measures Comparative Analysis

Indicator	Source	Egypt	Sudan	Ethiopia
Regulatory Oversight	Does the country/area support a radioactive source regulatory oversight body?	IAEA Yes	Yes	Yes
Security Measures	"Are there regulations that require security measures to be in place to protect radioactive sources?"	IAEA yes	Yes	Yes
State Registry	Does the state maintain a registry of radioactive sources?	IAEA	No data available	Yes
Inspection Authority	Does the state have authority to inspect facilities with radioactive sources?	Stimson Center	Yes	Yes
Export Licenses	Are there licensing requirements for exporting IAEA Category 1 sources	NIT-2023	Yes	Yes

Source: the author

Comparative Analysis with International Best Practices

The Australian nuclear security regime sets a standard for effective governance due to its strong international cooperation, well-established regulatory framework, and advanced detection systems. There are notable differences between the three Northeast African countries and Australia. According to the comparison, Sudan and Ethiopia still face significant challenges that hinder the implementation of robust security measures, while Egypt shows relative progress

Table 4. Comparative Analysis with International Best Practices (Australia’s Model)

Aspect	Australia (Benchmark)	Egypt	Sudan	Ethiopia
Regulatory Framework	Independent agencies (ASNO & ARPANSA) under clear legal mandates (Nuclear Non-Proliferation (Safeguards) Act 1987) (ASNO, 2022)	ENRRA is established and functional (ENRRA, 2022)	SNRRA is established but lacks full authority (Girma Kibatu, 2023)	Institutional structure under development; lacks independent regulatory authority (Girma Kibatu, 2023)
Inter-Agency Coordination	Strong collaboration among regulatory bodies, customs, and international partners (IAEA, 2017)	Moderate coordination; effective in implementing projects like El Dabaa NPP	Limited coordination; fragmented enforcement due to political instability	Limited coordination: efforts are underway to improve integration
Detection Architecture	Advanced detection systems including “no alone zones” and electronic access controls (IAEA, 2017)	Developing detection systems, exemplified by the El Dabaa project	Basic detection infrastructure with significant gaps (Girma Kibatu, 2023)	Early-stage detection infrastructure requiring technological upgrades
Human Resource Development (HRD)	Comprehensive training programs and regular simulation exercises (ASNO, 2022)	Developed through international collaboration and training programs	Limited specialized training programs; loss of qualified personnel due to instability	HRD initiatives are emerging, but significant capacity gaps remain
International Cooperation	Active participation in IAEA, FNCA, ICSANT, and other initiatives (FNCA, 2018)	Actively engaged with international treaties and cooperation agreements (ENRRA, 2022)	Limited engagement and information sharing; needs stronger integration	Engagement with the IAEA exists, but further integration is needed

Source: the author

Recommendations for Enhancing Cooperation and Communication in Nuclear Security

Strengthening National-Level Cooperation

Enhancing nuclear security requires effective coordination and communication among national authorities. A comprehensive national programme focused on the prevention of criminal or unauthorized acts involving nuclear and other radioactive material should integrate the responsibilities of all competent agencies, including regulatory bodies, customs, police, intelligence services, and emergency responders. Such a programme is most effective when it addresses both nuclear security and radiation protection (IAEA, 2018).

Formal Agreements and Responsibilities:

Formal Agreements and Responsibilities: Establishing Memorandums of Understanding (MoUs) between the national regulatory authority and relevant stakeholders to clarify roles and to ensure institutional accountability (IAEA, 2015). It is important to establish clear

lines of communication and expectations between parties through memoranda of understanding, reducing the likelihood of misunderstandings between them. By defining specific responsibilities and goals, MoUs can also facilitate cooperation and coordination. Furthermore, they can serve as a foundation for building trust and strengthening relationships among the stakeholders involved in regulatory processes.

Establishment of Contact Networks

Establish a network of contact points to facilitate communication during emergencies and national coordination. Having contact networks in place during emergencies ensures quick dissemination of crucial information, enabling timely responses and resource allocation. These networks help coordinate efforts across different agencies and organizations, minimizing confusion and duplication of efforts. Additionally, they foster collaboration and trust among stakeholders, which is essential for effective crisis management.

Shared Intelligence and Operational Cooperation

Intelligence sharing allows countries to exchange vital information about potential threats, enabling them to act more swiftly and effectively. By pooling resources and intelligence, nations can find trafficking networks more accurately and disrupt their operations. This collaborative approach also helps in predicting future threats and implementing preventative measures. For example, the Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism (GICNT) fosters international cooperation by sharing ability and conducting joint exercises to enhance detection and interdiction capabilities. Sudan and their neighbors could work in joint efforts to combat illicit trafficking of radioactive materials.

Recommendations To Strengthening Physical Protection

Physical protection measures are the first line of defense against unauthorized access to nuclear materials and facilities. These measures should include the use of advanced technologies, such as biometric identification systems and motion detectors, to ensure the integrity of facility perimeters.

Cybersecurity Measures

The increasing reliance on digital systems in nuclear facilities necessitates the implementation of robust cybersecurity measures. This includes the use of advanced firewalls, intrusion detection systems, and encryption technologies to protect against cyber threats (Hulak et al., 2021). The establishment of a cybersecurity center, as proposed in the

methodological principles for cybersecurity in nuclear facilities, can provide a centralized platform for monitoring and responding to cyber threats (Hulak et al., 2021).

Human Reliability Programs (HRP)

The human factor is a critical component of nuclear security. The implementation of Human Reliability Programs (HRP) can help identify and mitigate risks associated with insider threats. These programs should include background checks, psychological evaluations, and training to ensure that personnel are dependable and trustworthy (Dahunsi et al., 2017). The integration of HRP with other security measures can further enhance the overall security of nuclear facilities.

Planning and Implementation of Detection Systems:

A key responsibility of the regulatory authority is to develop and oversee strategic plans for deploying radiation detection systems. It is imperative that these systems are strategically located at borders, ports of entry, and high-risk transit areas to intercept any illegal nuclear material trafficking. The IAEA advises that detection efforts be based on layered architectures so that threats are identified at multiple stages before they can be used maliciously. (IAEA-2024). To establish a cohesive, multifaceted defense in Northeast Africa, where transnational borders are often porous, agencies including customs, law enforcement, and border security—must coordinate efforts. The transport, acquisition, or deployment of nuclear or radiological materials is made more difficult by layered approaches.

Technology and Equipment Deployment

Regulatory authorities or other government authorities responsible for detection need to invest in advanced detection technologies, including radiation portal monitors, mobile detection units, and spectroscopic equipment, to detect nuclear materials effectively. Nuclear materials can not only be detected but also characterized in real time thanks to these technologies. Additionally, sustained investment in research and development is necessary to keep pace with technological advancements and adversary capabilities. (Pozzi et al., 2023).

This investment would also support the development of more portable and user-friendly devices, making it easier for personnel to operate in diverse environments. Enhanced detection capabilities would not only deter illicit activities but also strengthen global security frameworks, fostering greater trust and cooperation among nations.

Sustainability And Continuous Development of Detection Systems

A sustainable nuclear security detection system is essential to its long-term effectiveness. For detection devices to function properly, they need to be maintained, calibrated, and managed throughout their lifecycle. Furthermore, collaboration between government agencies, academia, and private sector stakeholders can drive detection system innovation and efficiency.

Recommendations to Enhancing Nuclear Security Education and Training

To strengthen national capabilities in nuclear security, a comprehensive strategy should be implemented through education, training, and institutional support:

1. Curriculum Development

- Assess higher education needs and develop a specific nuclear security curriculum.
- Define technical expertise and competencies for graduates.
- Incorporate nuclear security courses into existing B.Sc. and M.Sc. programs and launch full M.S. and Ph.D. programs.

2. Program Evaluation

- Conduct both internal and external reviews of training plans.
- Evaluate and revise curricula with stakeholder feedback and ensure alignment with job-market needs.

3. Institutional Strengthening

- Support existing institutions or establish new ones to meet demand.
- Standardize training curricula across institutions and sectors.

4. International Collaboration & Funding

- Participate in international nuclear security education efforts and secure relevant funding.
- Promote private-public partnerships for program development, trainer education, and resource provision.

5. Training and Materials

- Provide appropriate training materials, reference documents, and visual aids.
- Ensure adequate facilities for the classroom, computer-based, and individual training.

6. Stakeholder Involvement

- Foster collaboration between academia, industry, and regulators to develop a common language and taxonomy for nuclear security competencies.
- Require training for all licenses security personnel and ensure contractors meet security competency standards.

7. Specialized Training Programs

- Deliver focused training for customs personnel using radiation detection equipment.
- Maintain a stable educational system to ensure a continuous supply of skilled personnel and researchers in nuclear security fields.

Recommendations Enhancing Nuclear Security Detection Architecture

To effectively prevent and respond to illicit trafficking and the smuggling of nuclear and radioactive materials, the following strategic recommendations are proposed:

I. Regulatory Framework Development

- Establish and strengthen a clear national regulatory framework for detection, defining the roles and responsibilities of the competent authorities.

II. Collaborative Detection Architecture

- Involve all relevant authorities (customs, border security, law enforcement, nuclear regulators) in the development of a cohesive detection architecture.

III. Border Security Enhancements

- Deploy fixed Radiation Portal Monitors (RPMs) at borders to detect illicit trafficking of nuclear/radioactive materials.
- Equip customs officials with advanced radiation detectors and provide specialized training.

IV. Detection Strategy and Information Security

- Develop a comprehensive detection strategy, including policies on handling sensitive information.
- Clearly assign information security responsibilities among authorities.

V. Import/Export Control Integration

- Use the detection system as a basis for enforcing national import/export controls, including dual-use item regulations.

VI. Capability Sustainability and Preparedness

- Maintain and enhance detection readiness through regular performance testing, equipment maintenance, staff training, and continuous process improvements.

VII. **Law Enforcement Support**

- Ensure engagement of national and local law enforcement agencies in the detection system, even if they do not directly use detection instruments.

IV. SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONTRIBUTIONS

This dissertation offers significant theoretical and practical contributions to the field of nuclear security, specifically within the domains of education and training, detection architecture, based on the research findings and methodological approach used in this study. The dissertation contributes both to the theoretical and practical aspects of nuclear security, especially for developing nations such as Sudan. The original contributions of this research are outlined below.

Scientific Contributions

Development of a Comprehensive Framework for Nuclear Security Education and training

As part of this study, we propose a comprehensive and scalable model for nuclear security education and training that contributes to the academic field and extends existing literature. It provides a taxonomy of nuclear security competencies designed to be integrated into academic curricula at all levels, including undergraduate, postgraduate, and doctoral education. Nuclear security education is a field that encompasses not only technical skills, but also policy, regulatory, and operational dimensions, which enhances the theoretical understanding about how nuclear security education can address current and emerging threats to nuclear security.

Development of an Integrated Nuclear Security Detection Framework

The study revealed significant gaps in the competencies and preparedness of key personnel involved in nuclear security operations. Therefore, a comprehensive framework was developed to address these weaknesses and build the capacity of key personnel involved in nuclear security operations. The framework is designed to provide specialized training modules to law enforcement, customs officers, healthcare professionals, and regulatory authorities. By enhancing human resource capability, Sudan can strengthen the operational effectiveness of its nuclear security detection architecture by strengthening the capabilities

for detecting, preventing, and responding to incidents involving radioactive and nuclear materials. This will contribute to the academic discourse on the strategic incorporation of HRD within national nuclear security architectures.

Comparative Regional Analysis as a Benchmarking Framework

The comparative analysis involving Egypt and Ethiopia represents a practical tool for identifying realistic and regionally grounded pathways for Sudan. Egypt's progress in institutionalising nuclear security education, international partnerships in detection technologies, and Ethiopia's efforts in developing regulatory oversight mechanisms all serve as instructive models. By evaluating the strengths and challenges in these countries, this research enables Sudan to adopt aspirational and attainable strategies. The analysis also contributes to the broader academic understanding of how regional dynamics and shared challenges can shape nuclear security policy in Africa. Sudan faces several specific nuclear security challenges that require tailored solutions. To effectively monitor and secure nuclear materials, there is a lack of infrastructure and technical expertise. Furthermore, the country must contend with political instability and limited resources, which can impede the implementation of comprehensive security measures. For a robust nuclear security regime to be implemented, a coordinated effort must be made to build local capacity, enhance regulatory frameworks, and foster international collaboration to address these challenges.

Contribution to the global dialogue about nuclear security

Finally, this work contributes to the global nuclear security discourse by offering a replicable case study of an embarking country. It provides policy recommendations grounded in empirical evidence and demonstrates the relevance of human-centred strategies in securing radioactive materials and facilities. It may inform future IAEA guidance documents, regional capacity-building programs, implementing these strategies could significantly enhance regional security dynamics by fostering collaboration and trust among neighboring countries. It could lead to the establishment of joint training programs and shared resources, strengthening collective capabilities to detect and respond to nuclear threats. Additionally, the improved security infrastructure may deter illicit trafficking and proliferation activities, contributing to a safer and more stable regional environment.

Practical Contributions

Development of a Robust Detection Architecture for Border Security

Sudan's borders, airports, and ports were identified as critical vulnerabilities due to limited detection capabilities. In this research, an integrated detection architecture integrating

advanced radiation detection technologies and standard operating procedures is proposed. By improving monitoring and control of nuclear and radioactive materials, this architecture reduces the risk of illicit trafficking. Creating a robust and sustainable detection system requires a multi-layered approach that combines technology deployment, personnel training. By leveraging both human resource development and technological advancement, these scientific-applied contributions support the dissertation's overarching goal of building a resilient nuclear security infrastructure in Sudan.

Development and implementation of a National Implementation Roadmap

On a practical level, the dissertation presents a details and actionable implementation roadmap that guides Sudan through the short, medium, and long-term phases of building its nuclear security detection capabilities HRD ,The roadmap can be used not only by Sudan, but also by other embarking countries facing similar development challenges.

Formulation of a Context-Specific Human Resource Development (HRD) Model

A major scientific contribution of this research is the development of a tailored HRD model specifically designed to support the creation and sustainability of a nuclear security detection architecture in Sudan. Unlike generalised capacity-building frameworks, this model accounts for the unique political, economic, and institutional challenges facing post-conflict and resource-limited environments. It draws on international standards, such as the IAEA's Nuclear Security Series (NSS) and the International Nuclear Security Education Network (INSEN) but adapts them for local implementation. The model emphasizes the need for establishing dedicated nuclear security education programs, vocational training for frontline officers, and knowledge-sharing networks that integrate academic institutions with regulatory and operational bodies. The HRD model is a significant advancement, offering a tailored approach to nuclear security in Sudan, addressing unique challenges, and integrating international standards with local needs.

The first step is to identify existing gaps across institutions, such as regulatory bodies, border security forces, and academic institutions, through systematic needs assessment. Capacity-building tracks are developed based on these findings, offering tailored education and training programs. Curriculum development, which aims to integrate nuclear security into higher education and vocational training, is also a central pillar. Furthermore, the model incorporates mechanisms for certification and qualification standards, alongside strategies for gender equity and inclusivity. A proposed national coordination unit will oversee implementation, ensuring a unified and sustainable approach. This structured model

provides a practical, scalable framework for Sudan and other emerging countries aiming to strengthen their human capital in nuclear security.

Table 5. Context-Specific Human Resource Development (HRD) Model for Nuclear Security in Sudan

Component	Description
Needs Assessment	Identify existing gaps in nuclear security knowledge, skills, and workforce capacity across key institutions (regulators, border agencies, customer, national security etc.).
Capacity Building Tracks	Develop structured programs including academic education, technical training, and hands-on workshops based on role-specific competencies as mentioned in this dissertation some training model
Institutional Collaboration	Promote coordination among national stakeholders (e.g., SNRRA, universities) and international partners (IAEA, INSEN, US-DoE).
Curriculum Development	Introduce nuclear security topics into higher education curricula (physics, engineering, policy) and vocational education systems.
Certification and Standards	Establish qualification frameworks and national standards for nuclear security-related professions, including certification systems. Use international organization professions (WINS)
Gender and Inclusivity	Ensure equal opportunities and targeted support for women and underrepresented groups in nuclear security education and career development.
National Coordination Unit	From a centralized HRD task force (e.g., under SNRRA) to oversee implementation, monitoring, and sustainability of the HRD strategy.

Source: the author

V. PUBLICATIONS ON THE DISSERTATION TOPIC

- I. Bokhari Ahmed (2024). *Nuclear Security Challenges and Detection Architecture Developments in Northeast Africa: A Comprehensive Analysis*. (“NUCLEAR SECURITY CHALLENGES AND DETECTION ARCHITECTURE DEVELOPMENTS IN ...”) YEARBOOK OF UNWE ACADEMIC PUBLISHING HOUSE – UNWE ISSN (print): 1312-5486; ISSN (online): <https://www.unwe.bg/doi/yearbook/2024.2/YB.2024.2.08.pdf>
- II. Bokhari Ahmed (2024) paper published under title (*Information Management and Protection of Sensitive Nuclear Information for Strengthened Nuclear Security*) 14 Th International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE – 2024), December 2 - 3, 2024, Unwe, Sofia, Bulgaria
- III. Bokhari Moneir (2020). Title: *Human Resource Development in Nuclear Security Detection architecture– Case of Sudan* [International Conference on Nuclear Security 2020](#)
- IV. Bokhari Ahmed (2019). *The National Legal Framework for Strengthening Nuclear Security Regime in Sudan* Third International Regulators Conference on Nuclear Security Marrakech, Morocco(printed).

VI. DECLARATION OF ORIGINALITY AND ACCURACY OF THE DISSERTATION

I declare that the dissertation on the topic " *Approaches to Strengthen Nuclear Security Detection Architecture to Embarking Countries Through Human Resources Development – Sudan Case*" presented in connection with the procedure for obtaining the educational and scientific degree "doctor" at the University of National and World Economy (UNWE) is mine.

Citations of all sources of information, text, tables, figures and others are indicated according to the standards.

The results and contributions of the dissertation research conducted are original and have not been derived from other research or publications.



UNIVERSITY OF NATIONAL AND WORLD ECONOMY
The Spirit Makes The Power

Катедра „Национална и регионална сигурност“

**ПОДХОДИ ЗА УКРЕПВАНЕ НА АРХИТЕКТУРА ЗА ОТКРИВАНЕ
НА СЪБИТИЯ В ОБЛАСТТА НА ЯДРЕНАТА СИГУРНОСТ В
СТРАНИ, КОИТО ОБМИСЛЯТ ДА РАЗРАБОТЯТ ИЛИ РАЗШИРЯТ
СВОИТЕ ПРОГРАМИ ЗА ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА ЧРЕЗ РАЗВИТИЕ
НА ЧОВЕШКИТЕ РЕСУРСИ - ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ КАЗУС
„СУДАН“**

АВТОРЕФЕРАТ

за присъждане на образователна и научна степен „доктор“ по научна специалност
„Икономика и управление (Отбрана и сигурност) ”

от

Бокхари Ахмед Монир Ахмед

© 2025 Bokhari

Научен ръководител:

Доцент д-р Константин Христов Пудин

Научно жури

Проф. д-р Цветан Георгиев Цветков

Доц. д-р Георги Георгиев Пенчев

Проф. д-р Тилчо Колев Иванов

Доц. д-р Даниела Добрева Пастармаджиева

Доц. д-р Захари Венциславов Горанов

София, 2025 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от катедра „Национална и регионална сигурност“ при Университета за национално и световно стопанство – София на 27.05.2025 г. Изследванията и разработките, представени в дисертационния труд са извършени в Университета за национално и световно стопанство – София. Дисертационният труд е с обем от 184 страници и съдържа: съдържане, списък със съкращения: увод, пет глави, заключение, списък на научните публикации и списък използваната литература. Основният документ съдържа 9 фигури и 14 таблици: Публикациите по темата на дисертацията са 4.

Защитата на дисертацията ще бъде на 07.10.2025 г. в 10:00 в Зала „Научни съвети“ на Университет за национално и световно стопанство - София. Материалите на защитата са на разположение в Дирекция „Наука“ и на уебсайта на Университет за национално и световно стопанство - София: www.unwe.bg.

I. ОБЩИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

• Актуалност и значимост на темата

Судан спешно се нуждае от стабилна втора линия на защита срещу заплахи за ядрената сигурност, а укрепването на архитектурите за откриване на събития в областта на ядрената сигурност е от решаващо значение за осигуряване на обществената безопасност и запазване на целостта на околната среда чрез откриване и залавяне на нерегламентирани движения на ядрени и радиоактивни материали през граници и в рамките на националните територии (МААЕ, 2011 г.). Обширните и често недостатъчно защитените граници на страни като Судан представляват значителен риск от контрабанда и нелегален трафик. Предизвикателствата, свързани с тези проблеми, се изострят допълнително от ограничените ресурси, недостатъчните средства за откриване на заплахи, недофинансираните агенции за граничен контрол и слабо обучените служители, участващи в прилагането на закона. Тези фактори правят изключително трудно предотвратяването на неправомерно транспортиране и злоупотреба при използване на ядрени и радиоактивни материали.

За да се преодолеят тези пропуски в сигурността от съществено значение е въвеждането на съвременни технологии за откриване на събития в областта на ядрената сигурност, като например портални монитори за радиационен контрол (ПМРК), и да се подобрят оперативните възможности на съответните органи. Една устойчивата и ефективна рамка за ядрена сигурност изисква ясно дефинирани отговорности на агенциите, участващи при откриване на събития в областта на ядрената сигурност, заедно с една комплексна архитектура за сигурност. Ефективното предотвратяване на разпространението на ядрени оръжия и тероризма включва редица стъпки, включително прилагане на най-добрите международни практики, насърчаване на трансграничното сътрудничество и използване на иновативни технологии.

Нарастващите амбиции на Судан по отношение на ядрената енергетика и необходимостта от разработване на стабилна и устойчива рамка за ядрена сигурност са мотивите за това изследване. Като част от процеса за стартиране на програма по ядрена енергетика Судан трябва да развива както техническата инфраструктура за ядрена енергетика, така и системите за сигурност, които ще предотвратяват, откриват и реагират на неправомерни действия, включващи ядрени и радиоактивни материали. Архитектурата на откриване събития в областта на ядрената сигурност играе основна роля в този процес, но нейната ефективност не зависи единствено от технологиите, а и

от квалифицирана и компетентна работна сила, способна да управлява сложни системи, да интерпретира сигнали и да управлява инциденти по един прецизен и отговорен начин.

Развитието на човешките ресурси е важен компонент на ядрената сигурност, но често не му обръща достатъчно внимание. Докато международният диалог често набляга на правните инструменти и технологичните системи за откриване на събития в областта на ядрената сигурност, по-малко внимание се обръща на развитие на потенциала, необходим за поддържане на тези системи в среда с ограничени ресурси. Липсата на квалифициран персонал, междуведомствена координация и специализирани програми за обучение е основна пречка за устойчивостта на ядрената сигурност на Судан.

За определяне на практични, съобразени със ситуацията подходи за преодоляване на явни различия между възможности и цели, това изследване анализира потенциала за откриване на заплахи в сферата на ядрената сигурност на Судан в контекста на международните стандарти, както и най-добрите практики от страни като Австралия.

Сравнителният анализ на база Египет и Етиопия, засилват актуалността на този дисертационен труд, като поставят Судан в регионална рамка. Разбирането на това как съседните държави управляват своите отговорности по ядрена сигурност, помага да се определят общите предизвикателства и дава възможности за сътрудничество и хармонизиране на нормативната база.

Това изследване е важно, защото предлага практическа пътна карта, основана на международни стандарти, като например „Поредицата за ядрена сигурност (ПЯС) на МААЕ“, и успешни модели от страни като Австралия. Тези препоръки не са теоретични модели, а са адаптивни, които отчитат социално-политическите реалии на Судан, както и в по-широк контекст.

По този начин, изследването разглежда критични и оперативни пропуски в областта на ядрената сигурност, като акцентът се поставя върху това как развитието на човешките ресурси (РЧР) може да укрепи архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в страните, стартиращи програми за ядрена енергетика и, използва Судан като изследователски казус. Освен това изследването допринася за развитието на ядрената сигурност като една споделена международна отговорност и глобалните мерки за сигурност.

Ето защо изследването е важно както за академичните, така и за политическите среди. Понеже Судан планира да разшири използването на ядрени технологии за мирни цели, създаването на стабилна архитектура за откриване на събития в областта на ядрената сигурност, подпомогната от добре обучени специалисти, е не само приоритет за националната сигурност, но и крайъгълен камък на безопасното, сигурно и устойчиво развитие на ядрената енергетика.

Това изследване дава практически препоръки и комплексна пътна карта, насочена към подобряване на потенциала за откриване на заплахи в сферата на ядрената сигурност на Судан, с особен акцент върху развитието на човешките ресурси. Това изследване подпомага глобалните усилия за предотвратяване на злоупотребата с ядрени материали, като допринася за по-широки инициативи за укрепване на ядрената сигурност в региони след конфликти, както и развиващите се региони.

- **Обект на изследването**

Настоящият дисертационен труд се фокусира върху ядрената сигурност в Судан и анализа на различните аспекти, които допринасят за развитието и прилагането на ядрената сигурност, като предмет на изследването е архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност (АОСЯС) и развитието на човешките ресурси. Развитието на човешките ресурси (РЧР) е един от най-ефективните инструменти за изграждане и поддържане на ефективен режим за ядрена сигурност. В резултат на продължаващата политическа и инфраструктурна нестабилност, дисертационният труд разглежда състоянието на рамката за ядрена сигурност на Судан, възможностите на неговите институции и предизвикателствата, свързани с техническите, образователните и квалификационните дейности.

- **Предмет на изследването**

Основната цел на настоящият дисертационен труд е да се проучат и предложат ефективни подходи за укрепване на архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в страните, стартиращи програми за ядрена енергетика, като се използва Судан като изследователски казус. Изследването се стреми да определи как развитието на човешките ресурси (РЧР) може да подпомогне създаването, функционирането и устойчивостта на системите за ядрена сигурност, особено в

региони, засегнати от ограничена инфраструктура, политическа нестабилност и нови ядрени програми.

В по-широк контекст дисертационният труд прави сравнения с Египет и Етиопия, за да се предложи регионална перспектива, демонстрирайки как РЧР може да бъде съобразено с националните и регионалните цели на ядрената сигурност в Судан, като същевременно дава и препоръки.

- **Цел на изследването и основни научноизследователски задачи:**

Настоящият дисертационен труд има за цел да допринесе за разработването на устойчива и ефективна архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан, като се фокусира върху ролята на развитието на човешките ресурси (ЧРР), дава практически препоръки за това как да се засилят възможностите на ядрената сигурност в Судан, да се приведат националните рамки в съответствие с международните стандарти и да се подобрят механизмите за откриване и реагиране на събития в областта на ядрената сигурност.

В рамките на настоящето изследване ще се изпълнят няколко ключови **задачи** за постигане на тези цели.

- Общ преглед на концепциите за ядрена сигурност;
- Анализ на настоящите архитектури за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан;
- Разглеждане на съществуващите правни и регулаторни рамки, институционални договорености и техническа инфраструктура за откриване на събития в областта на ядрената сигурност;
- Сравняване на подхода на Судан с този на Египет и Етиопия, като това се разглежда в регионален контекст и се набляга на допълващи се и отличаващите се практики;
- Като се използват международните стандарти и най-добрите практики като еталон, регионалните рамки могат да бъдат подобрени. Австралийският модел за ядрена сигурност ще служи като сравнителен изследователски казус поради своя комплексен и надежден подход за откриване на събития в областта на ядрената сигурност и съответствие с насоките на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ);

- Като част от изследването ще се направи оценка на ефективността на настоящите усилия за развитие на ядрената сигурност и човешките ресурси. Наличието на специализирани програми за обучение, ролята на академичните и професионалните институции и устойчивостта на развитието на работната сила също са включени в тази оценка
- Настоящото изследване ще разработи препоръки за укрепване на системите за откриване на събития в областта на ядрената сигурност въз основа на анализа. Като част от тези препоръки ще бъде подобрена техническата инфраструктура, ще бъде засилена комуникацията между агенциите и ще бъде заздравено регионалното и международното сътрудничество, за да се вземат мерки по отношение на трансграничните заплахи.
- Накрая, изследването ще предложи подробна пътна карта за прилагане на предложените мерки. Тази пътна карта ще очертае краткосрочните и дългосрочните приоритети, включително реформа на нормативната база, инвестиции в технологии за откриване на събития в областта на ядрената сигурност, засилване на организационните структури и развиване на компетенциите на човешкия ресурс.
- **Изследователски проблем**

Судан, като страна, стартираща програма за мирното използване на ядрени технологии, е изправен пред сериозни предизвикателства при изграждане на стабилна и устойчива архитектура за откриване на събития в областта на ядрената сигурност. Нарастващата глобална заплаха от ядрен тероризъм и нелегален трафик на радиоактивни материали извежда на преден план спешната нужда от ефективни системи за откриване на събития в областта на ядрената сигурност. Усилията на Судан обаче са възпрепятствани от политическа нестабилност, слаба регулаторна инфраструктура, ограничени технически възможности и значителен недостиг на квалифициран персонал.

Настоящият дисертационен труд разглежда критични предизвикателства пред ядрената сигурност, като основният акцент е поставен на заплахата от ядрен тероризъм. Предотвратяването на неоторизиран достъп до ядрени и радиоактивни материали изисква ефективни мерки за откриване, но много африкански страни нямат необходимата инфраструктура за предотвратяване, откриване и реагиране на злонамерени деяния при използване на такива материали. Неадекватните

технологични възможности, ограниченото разпределение на ресурсите и слабият граничен контрол правят тези държави уязвими по отношение на незаконен трафик на ядрени материали.

Ключово предизвикателство е липсата на обучен персонал и ограниченият достъп до съвременни технологии за откриване на събития в областта на ядрената сигурност, което допълнително поставя под заплаха способността за установяване на нерегламентирано движение на ядрени материали. Освен това, регионалната политическа нестабилност усложнява създаването на последователна и ефективна рамка за ядрена сигурност. Укрепването на ядрената сигурност изисква непрекъснат процес на планиране, оценка и подобряване на правните и регулаторните рамки. Това включва оценка на ефективността на системите за откриване на ядрени материали, които не са под регулаторен контрол, и разглеждане на пропуските по отношение на човешките ресурси.

Настоящото изследване разглежда архитектурата на откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан и развитието на човешките ресурси, като определя съществуващите слаби места и предлага стратегии за засилване на системите за откриване на заплахи. Надеждната рамка за откриване на заплахи е от съществено значение за осигуряване на сигурната експлоатация на ядрените съоръжения и защитата на ядрените материали. Редица предизвикателства обаче възпрепятстват ефективното внедряване на системи за откриване на заплахи в тези страни. Прекомерните разходи и изисквания за поддръжка на съвременните технологии създават финансови ограничения, което прави тяхното използване трудно в рамките на ограничени национални бюджети. Освен това, съпротивата от страна на местните власти или институции, произтичаща от липса на осведоменост или разбиране на мерките за ядрена сигурност, може допълнително да забави напредъка. Логистичните предизвикателства, като например междуведомствената координация и обучението на персонала, също представляват значителни пречки пред успешното разполагане и експлоатация на системите за откриване на ядрени материали. Като разглежда тези предизвикателства, това изследване има за цел да предостави практически препоръки за подобряване на потенциала за откриване на заплахи в сферата на ядрената сигурност в Судан, допринасяйки за по-стабилна и устойчива регионална рамка за сигурност.

- **Изследователски въпроси**

Изследването се ръководи от следните ключови изследователски въпроси, които целят да изяснят предизвикателствата и стратегиите, свързани с архитектурите за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан:

8. Какви са предизвикателствата при разработването на режими за ядрена сигурност и архитектури за откриване на събития в областта на ядрената сигурност?
9. Предотвратява ли настоящата система за откриване на заплахи и регулаторната рамка незаконния трафик и злоупотребата с ядрени материали?
10. Как международното сътрудничество допринася за укрепване на ядрената сигурност в Судан?
11. Какви стратегии могат да бъдат приложени в региона за укрепване на архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност и регулаторните мерки?
12. Какви са ролите и отговорностите на заинтересованите страни на национално и международно ниво?
13. Каква е международната правна рамка за укрепване на ядрената сигурност?
14. Какъв капацитет е необходим за развитие на човешките ресурси в архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност?

- **Хипотези**

Хипотеза 1 (X1):

Настоящата архитектура за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан е недостатъчна за предотвратяване на незаконния трафик и злоупотребата с ядрени материали поради значителни предизвикателства, като например ограничения на ресурсите, остарели технологии и пропуски в развитието на човешките ресурси. Тази хипотеза предполага, че съществуващите системи и инфраструктури за ядрена сигурност в тези страни са изцяло неадекватни. Един от основните фактори е ограничената наличност на финансови и материални ресурси, което възпрепятства снабдяването с, разполагането и поддръжката на най-съвременно оборудване за откриване на ядрени материали.

Следователно, тези страни често разчитат на остарели технологични системи, на които им липсва чувствителността и адаптивността, необходими за ефективно противодействие на развиващите се контрабандни тактики и новопоявили се заплахи. Освен това, ефективността на всяка система за откриване на ядрени материали е силно зависима от експертния опит на нейните оператори. Понастоящем съществуват

значителни недостатъци по отношение на инициативите за образование, обучение и развиването на компетенции, достъпни за съответния персонал, включително служителите по гранична сигурност, правоприлагащи органи и митнически служители. Тези пропуски в човешките ресурси допълнително допринасят за утежняване на предизвикателствата, породени от недостатъчните и остарели технологични мерки. Взети заедно, тези фактори показват, че настоящата архитектура за откриване на събития в областта на ядрената сигурност не е в състояние да възпира или пресича неразрешеното движение и потенциалната злоупотреба с ядрени материали, като по този начин повишава рисковия профил за региона.

Хипотеза 2 (Х2):

Укрепването на ядрената сигурност чрез целенасочени подобрения, като например модернизиране на технологиите за откриване на събития в областта на ядрената сигурност, прилагане на комплексни програми за обучение и подобряване на регионалното и международното сътрудничество, значително ще намали рисковете, свързани с незаконния трафик на ядрени материали, и ще засили цялостната сигурност в региона.

Тази хипотеза очертава потенциален начин за справяне със слабите страни, установени от Хипотеза 1. В нея се твърди, че е необходим многостранен и целенасочен подход за укрепване на ядрената сигурност в Судан. Модернизирането на технологиите за откриване на ядрени материали е от първостепенно значение; съвременните системи с повишена чувствителност и възможности за наблюдение в реално време могат по-добре да открият и реагират на опити за нелегален трафик. Наред с технологичните подобрения, прилагането на комплексни програми за обучение е от решаващо значение. Такива програми гарантират, че служителите на граничния контрол, служителите на правоприлагащите органи и митническите служители са усвоили добре уменията, необходими за работа с усъвършенствани системи за откриване на ядрени материали и за ефективно реагиране на заплахи, свързани с ядрената сигурност. Освен това, засилването както на регионалното, така и на международното сътрудничество е задължително.

Сътрудничеството с глобални институции, като Международната агенция за атомна енергия (МААЕ), може да улесни споделянето на най-добри практики, технически опит и финансови ресурси, като по този начин се създаде една по-хармонизирана и ефективна рамка за сигурност. Чрез едновременното разглеждане на измеренията на технологичните, човешките ресурси и кооперативните аспекти се

очаква, че тези целенасочени подобрения значително ще намалят слабите страни, свързани с трафика на ядрени материали, и ще укрепят цялостната архитектура за откриване на събития в областта на ядрена ата сигурност в региона.

- **Ограничения на изследването**

Изследването е проведено при някои ограничения в рамките на конкретни параметри, за да се проучат систематично предизвикателствата пред ядрената сигурност и да се открият разработки на архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан. Освен това са разгледани и съседните на Судан страни. Основната цел на това изследване е да се определят и анализират предизвикателствата, пред които са изправени режимите за ядрена сигурност и системите за откриване на ядрени материали в този регион, и да се предложат приложими стратегии за тяхното разглеждане. Изследването разчита на публично достъпни източници на данни, включително свободна, неklasифицирана и достъпна информация, за да се гарантира достоверност и разбираемост.

Ядрената сигурност е свръхчувствителна тема с последици както за националната, така и за международната сигурност, което прави достъпа до оригинална, класифицирана или много специфична информация ограничен. Въпреки че вторичните данни могат да предоставят ценна информация, те ограничават възможността за събиране на информация в реално време или силно специализирана информация, съобразена с регионалните трудности. Отчитайки проблемите на сигурността, свързани с ядрените материали и системи, това изследване не включва директни анкети или интервюта с експерти или заинтересовани страни по ядрена сигурност. За целите на един цялостен анализ, то синтезира наличната литература, правни рамки и най-добри международни практики. Важно е да се запази поверителност, докато се разглеждат по-широки регионални проблеми. Това изследване се фокусира върху предизвикателствата пред ядрената сигурност в Судан. Чрез този регионален фокус може да се изследват общите слаби страни, възможностите за сътрудничество и националните особености. Това проучване е в рамките на последните постижения в нормативната база и методи на работа по отношение на ядрената сигурност, особено между 2017 и 2024 г., период на значителни национални и международни дебати и разработки в рамките на ядрената сигурност. Особено след като Судан одобрява ядрения закон през 2017 г. Това изследване е от голямо значение за укрепването на ядрената сигурност в целия Судан.

То подчертава взаимосвързаните функции на националните агенции, отговарящи за граничния контрол, транспорта на материали, контрола на вноса и износа и управлението на радиоактивните отпадъци. Освен това, укрепването на ядрената сигурност в региона допринася значително за глобалните мерки за ядрена сигурност, в допълнение към защитата на отделните държави.

II. ОБЕМ И СТРУКТУРА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационният труд е с обем от 184 страници и включва съдържание, използвана литература, както и списък на използваната литература [105 броя] . Използваната литература съдържа подробен списък на източниците, свързан с комуникацията, архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност и сигурността на ядрените материали.

Дисертационният труд има следната структура:

РЕЗЮМЕ

СЪДЪРЖАНИЕ

СПИСЪК НА СИМВОЛИ И СЪКРАЩЕНИЯ

СПИСЪК НА ТАБЛИЦИТЕ

СПИСЪК НА ФИГУРИТЕ

ВЪВЕДЕНИЕ

Глава 1: Ядрена сигурност на Судан: Теоретична рамка и текущо състояние

- 1.1 Ядрена сигурност и режим за ядрена сигурност – теоретичен преглед
- 1.2 Създаване на национален орган за ядрено регулиране
- 1.3 Общ преглед на разработките в областта на ядрената сигурност на Североизточна Африка
- 1.5 Архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност
- 1.6 Архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност и развитие на човешките ресурси

Глава 2: Методология на изследването и анализ на ядрената сигурност в Судан

- 2.1 Обзор на научни методи и похвати
 - 2.1.1 Изследователски казуси
 - 2.1.2 Документален анализ
 - 2.1.3 Сравнителен анализ с Австралия
 - 2.1.4 Обосновка за избор на страни - Египет и Етиопия
 - 2.1.5 Събиране и проект на данни
 - 2.1.6 Описание на информационните източници
- 2.2. Анализ на ядрената сигурност в Судан
- 2.3 Развитие на човешките ресурси в Судан
- 2.4 Образование и обучение по ядрена сигурност в Судан

2.5 Регионални рамки: Зони, свободни от ядрени оръжия в Африка - Договор от Пелиндаба

2.6 Глобални тенденции по отношение на откриване на събития в областта на ядрената сигурност

2.7 Най-добри практики по ядрена сигурност

2.8 Допълнителен изследователски казус за регионално сравнение: Египет и Етиопия

Глава 3 Емпирични изводи и сравнителен анализ

3.1 Резултати

3.1.1 Предизвикателства през режимите за ядрена сигурност и архитектурите за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан

3.1.2 Възможността за подобряване на откриване на ядрени материали в Судан

3.2 Сравнителен анализ на ядрената сигурност в Судан

3.3 Сравнителен анализ с най-добрите международни практики

3.4 Поуки за Судан

3.7 Обобщение и заключение на Глава 3

Препоръки за засилване на сътрудничеството и комуникацията в областта на ядрената сигурност

Препоръки за засилване на физическата защита

Препоръки за подобряване на образованието и обучението в областта на ядрената сигурност

Препоръки по отношение на архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност

Използвана литература

Приложения

III. КРАТКО ИЗЛОЖЕНИЕ НА СЪДЪРЖАНИЕТО НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

В увода е обоснована актуалността и значимостта на изследваната проблематика. Представени са обектът, предметът, тезата, задачите, изследователските въпроси, методологията и ограниченията

В Първа глава се представя обща характеристика и развитието на ядрената сигурност в Судан, като се предлага подробен преглед на литературата и анализ на ключови теоретични рамки.

- **Ядрена сигурност и режим за ядрена сигурност – теоретичен преглед**

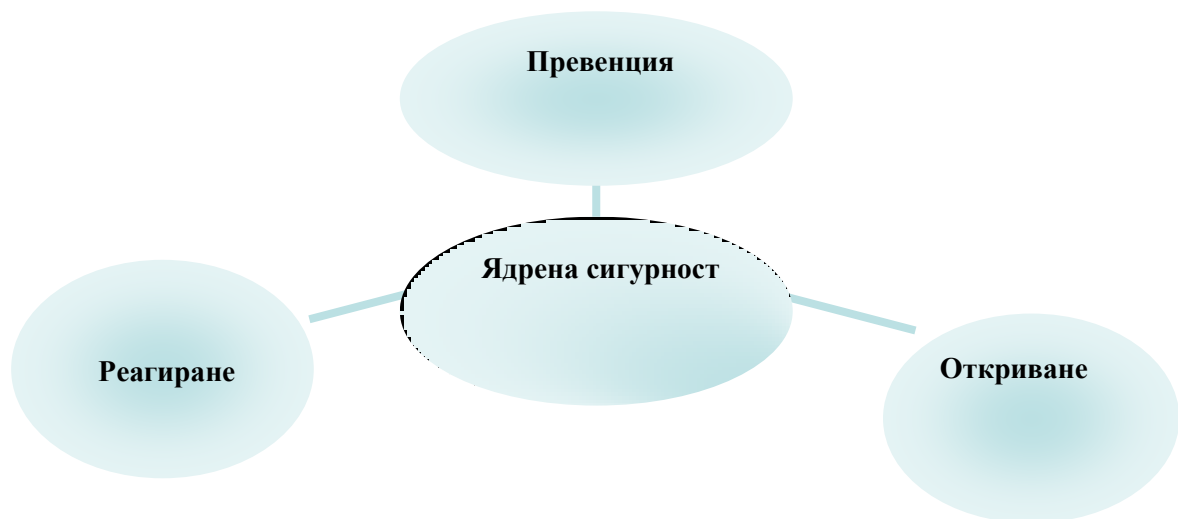
Определение на ядрената сигурност

Ядрената сигурност се определя като предотвратяване на престъпни или нерегламентирани действия, включващи ядрени или други радиоактивни материали, съответните съоръжения или съответните активи. Това определение обхваща защитата

на ядрени оръжия, материали, получени при ядрено делене и радиоактивни източници от кражба, саботаж или злонамерена употреба. С течение на времето концепцията се е развила в отговор на новопоявили се заплахи като ядрения тероризъм и разпространението на оръжия за масово унищожение (ОМУ). Предотвратяването на престъпления е основната цел на системите за ядрена сигурност. Често се смята, че най-доброто съотношение цена-полза се постига чрез превантивни мерки

Съгласно МААЕ, това са три стълба на ядрената сигурност:

- Първо - превенция;
- Второ - откриване;
- Трето - реагиране



Фигура 4. Три основни компоненти от съществено значение за ядрената сигурност

Източник: IAEA-2013

Основни компоненти от съществено значение за системата за ядрена сигурност

Държавата е отговорна за установяването, прилагането и поддържането на ефективна национална законодателна и регулаторна рамка за регламентиране на ядрената сигурност на радиоактивните материали, свързаните с тях съоръжения и дейности, които са: отчитане на риска от злонамерени деяния, включващи радиоактивни материали, които биха могли да са с неприемливи радиологични последици.

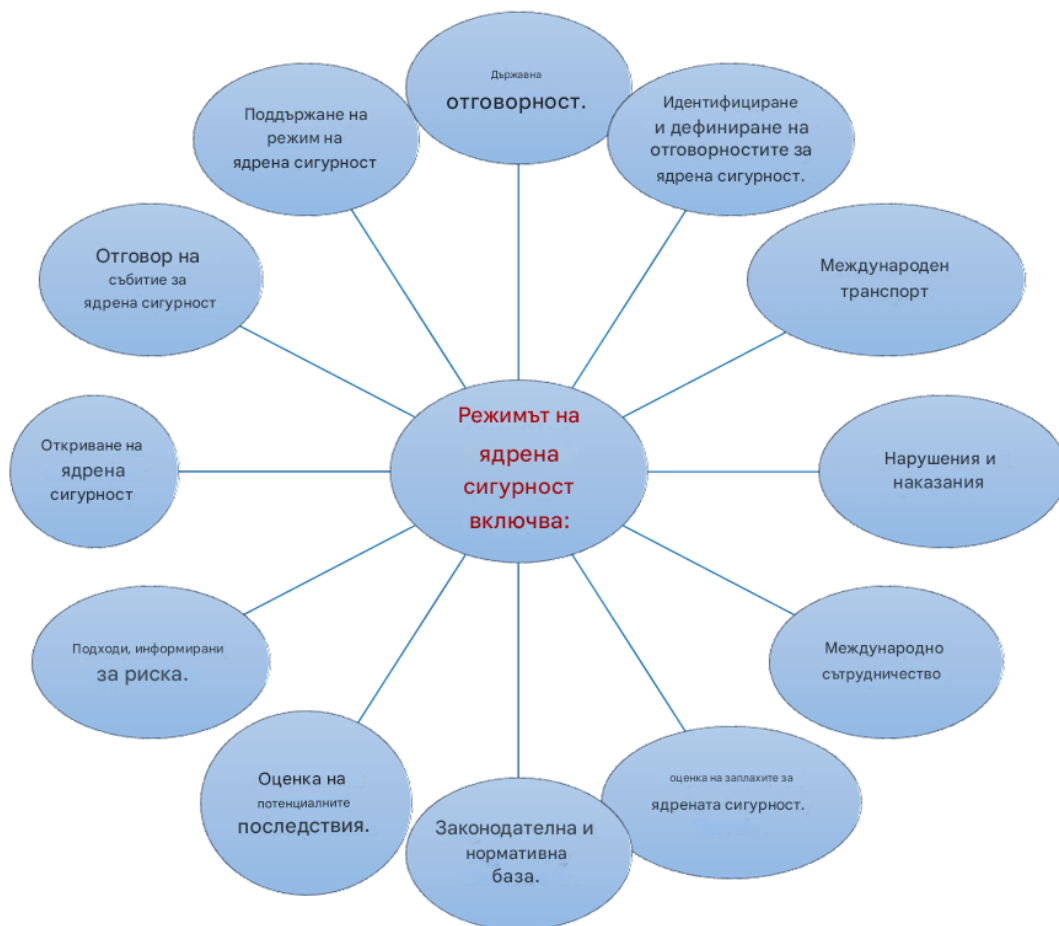
Режимът за ядрена сигурност се състои от три основни компонента. Първият е националното законодателство и разпоредби, които регламентират сигурността на

територията на дадена държава. Вторият са международните споразумения, инструменти и резолюции на ООН, които допълват законите за вътрешна сигурност. Третият - сътрудничество и взаимодействие с националните компетентни органи, както и прилагане на препоръките на МААЕ за ядрена сигурност (МААЕ-2011).

Следователно, за да се постигнат целите за ядрена сигурност, правителството трябва да гарантира, че всички заинтересовани страни, които имат отговорности в рамките на режима за ядрена сигурност на държавата, са компетентни. Постигането на яснота относно отговорностите по начина, препоръчан от МААЕ, не е лесна задача. Необходими са много усилия, особено защото броят на потенциалните заинтересовани страни с отговорности по отношение на сигурността е голям. Всъщност той е много по-голям от броя на заинтересованите страни, които управляват ядрената безопасност на лицензиран ядрен обект, където правната отговорност се поема изцяло от лицензополучателя. Поради тези причини е особено важно всички заинтересовани страни да предприемат инициативни стъпки, за да разберат границите на своята правна отговорност.

Ядрената сигурност, основният режим за ядрена сигурност включва:

- Отговорност на държавата;
- Определяне и дефиниране на отговорностите по отношение на ядрената сигурност;
- Законодателна и регулаторна рамка;
- Международен транспорт на ядрен материал и други радиоактивни материали;
- Престъпления и наказания, включително криминализиране;
- Международно сътрудничество;
- Определяне и оценка на заплахите за ядрената сигурност;
- Определяне и оценка на цели и потенциални последици;
- Използване на риск-ориентирани подходи;
- Откриване на събития в областта на ядрената сигурност;
- Планиране, подготовка и реагиране на събитие, свързано с ядрената сигурност;
- Поддържане на режим за ядрена сигурност. (МААЕ-2013).



Фигура 5. Примерен модел на режим за ядрена сигурност

Източник: МААЕ-2013

Страните, стартиращи програми по ядрена енергетика и развитие на човешките ресурси

Страни, стартиращи програми по ядрена енергетика, са страни без ядрена енергийна инфраструктура, които в момента разработват или планират да развият ядрена енергия за мирни цели. Този термин често се използва от организации като Международната агенция за атомна енергия (МААЕ), за да опишат страни, които имат планове за изграждане на нови проекти за ядрена енергия, но нямат съществуваща ядрена инфраструктура. Развитието на ядрената програма в тези страни представлява уникален набор от предизвикателства и възможности. Те включват осигуряване на стабилни регулаторни рамки, осигуряване на финансиране за големи първоначални разходи и изграждане на обществено доверие по отношение на ядрената енергия. Освен това, те трябва да развият необходимите технически експертни ресурси и

инфраструктура за безопасна експлоатация на ядрените съоръжения. Разглеждане на въпросите в областта на ядрената безопасност и управлението на отпадъците също е от решаващо значение за тези страни. Много страни имат нормативна база за контрол на използването на радиоактивни материали за промишлени и медицински цели, но повечето страни, стартиращи програми по ядрена енергетика и, нямат комплексни програми за лицензиране на ядрена енергия. Един орган за ядрено регулиране изисква или значителен вътрешен технически опит, или финансови ресурси за привличане на външна техническа подкрепа. Много от страните, стартиращи програми по ядрена енергетика, са развиващи се страни, което означава, че финансирането на разработването на нови ядрени програми ще бъде предизвикателство. Въпреки факта, че страните домакини може да разчитат на външна финансова подкрепа под формата на финансиране от доставчици, за да помогнат за изграждането на нови съоръжения, помощта за развиване на компетенции за ядрено регулиране е силно ограничена. Скъпо е да се създават местни университетски програми и да се изпращат студенти в чужбина.

Откриване на радиоактивни и ядрени материали

Напредъкът в технологиите за радиационен контрол значително подобрява мониторинга на ядрените дейности в Судан, особено при експлоатирането на уран и защитата от радиоактивно замърсяване. Например, внедряването на технологията „Интернет на нещата“ - известна още като интернет на обектите - концепция за компютърна мрежа от физически обекти (устройства, превозни средства, сгради и други предмети и вещи), притежаващи вградени електронни устройства за взаимодействие помежду си или с външната среда в системите за дистанционен радиационен мониторинг позволява визуализация на данни в реално време и предупреждения относно нивата на радиация в мините, като по този начин подобрява безопасността и опазването на околната среда (Conferences, 2023). Освен това, инсталирането на портални монитори за радиационен контрол (РМРК) улеснява автоматичното откриване на гама радиация в различни среди, осигурявайки ранно откриване на радиоактивни материали, които биха могли да представляват заплахи за сигурността (Santosa et al., 2022). В допълнение, иновативни методи за визуализиране с използване на алфа-индуцирано радиоосветяване позволяват дистанционно откриване на алфа-излъчватели с висока чувствителност, като се намаляват рисковете за персонала и се повишава ефективността на контрол (Kong et al., 2024).

Системата за сигурност трябва също да включва мерки за управление на сигурността, като включва персонал, процедури и оборудване чрез прилагането на административни мерки.

- **Архитектура за откриване на ядрена сигурност и развитие на човешките ресурси**

Ключовата характеристика на ядрените и други радиоактивни материали е, че те излъчват йонизиращо лъчение. Въпреки че йонизиращото лъчение не може да се види, усети или докосне, неговото наличие може да се открие с помощта на специализирано оборудване (IAEA-2007). Развитието на компетенциите на човешките ресурси в рамките на архитектурата за откриване в областта на ядрената сигурност е важно и трябва да се извършва и поддържа с течение на времето. Това изисква подробно планиране и инвестиране на ресурси, включително ядрена сигурност, осведоменост, култура на сигурност и благонадеждност.

Освен това, друга част от развитието на човешките ресурси (РЧР) е образованието, обучението и упражненията в областта на ядрената сигурност. Това включва техники за откриване на радиация, както и изображения на заплахи за ядрени и други радиоактивни материали, които да бъдат използвани от правоприлагащи и митническите органи. Друг вид обучения са за това как да се използват ефективно прибори откриване, като обучението включват дискусии около кръглата маса и полеви упражнения.

Значение на развиването на компетенциите по отношение на архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност

Когато се развиват компетенциите на човешките ресурси е важно да се разбират основните му характеристики. МААЕ обяснява редица ключови елемента, включително образование, обучение, учения, повишаване на информираността, управление на работната сила, управление на знанията и мрежи от знания. Образование, обучение и учения развиват компетенциите на човешките ресурси, като улесняват придобиването на експертен опит и умения от нови и съществуващи специалисти за овладяване на принципите и технологиите, свързани със сигурността на ядрените и радиоактивните материали. (IAEA-2015)

Елементите за развиване на компетенциите са четири, както следва:

- Образование и обучение;

- Развитие на човешките ресурси;
- Управление на знанията;
- Мрежи от знания.

Значение на развитието на човешките ресурси в ядрената сигурност

Човешките ресурси в областта на ядрената сигурност трябва да бъдат на особено високо ниво, както по отношение на компетентност, така и на изпълнението. Развитието на специалистите, необходими в тази област, изисква значителни усилия и време (IAEA-2012a). Важно е специалистите, отговарящи за сигурността на ядрените и други радиоактивни материали, да имат основно разбиране за различните аспекти на ядрената сигурност, включително как се създават, съхраняват, преработват и обработват материалите, оценката на заплахите и проектната заплаха, физическата защита, както и нормативна база и законите, които контролират тази дейност. Те също така трябва да познават и оценяват какъв е приносът на ядрените технологии за промишлеността, медицината, селското стопанство и научните изследвания.

Липсата на вълнуваща аналитична и експериментална програма и развиваща се кариера в областта на ядрената сигурност. След като бъде загубена, ще е необходимо огромно вложение на ресурси от страна на държавата, която да се опита да се възстанови инфраструктурата, такава каквато е била, когато ядрените технологии са били нови. В този контекст, изменението на Конвенцията за физическа защита на ядрените материали, влязло в сила през 2016 г., е ангажирано с приемането на *„Държавата следва да създаде или определи компетентен орган, който е отговорен за прилагането на законодателната и регулаторна рамка и има съответните правомощия, компетентност и финансови и човешки ресурси, за да изпълнява възложените му отговорности“*. Конвенцията за физическа защита на ядрените материали също така описва, че държавата трябва да предприеме стъпки за осигуряване на ефективна независимост между функциите на компетентния орган на държавата и тези на всеки друг орган, отговарящ за насърчаването или използването на ядрената енергия. Наемането на погрешно лице за служител или охранител по ядрена сигурност обаче може да има сериозни и дългосрочни последици, които се простират далеч отвъд организацията до местните и международните общности, околната среда и самата ядрена индустрия.

Митницата и граничната полиция, отговарящи за ядрената сигурност, носят отговорност за защитата и откриването на всякакви заплахи за страната или

материалните активи на организацията (включително ядрени материали и информационна сигурност), персонала, околната среда и местната общност от събития, свързани със сигурността. Следователно, тази организация трябва винаги да бъде готова и способна да реагира на определени заплахи и да бъде способна уверено да изпълнява тактически задачи за реагиране с голяма трудност без забавяне. (WINS-2017).

- **Преглед на ядрените разработки в Североизточна Африка**

В Северна Африка радиоактивни материали като технеций-99m, йод-131 и кобалт-60 са често използвани. Материалите се използват в диагностични и терапевтични процедури като ядрено-магнитен резонанс и лъчетерапия. Радиологичните източници се използват в промишлеността за безразрушителен контрол (БРК) и радиографски контрол. В момента в осем страни на континента има единадесет изследователски реактора, но правителствата на целия континент проявяват все по-голям интерес към разработването на ядрени съоръжения (IAEA, 2020), като шестнадесет от двадесет и деветте нови реактора са в процес на изграждане в развиващите се страни.

Таблица по-долу показва страните и видовете изследователски реактори в Африка и имената на съоръженията. Някои страни без ядрени реактори, като Судан и Етиопия, също са заинтересовани от изграждането на ядрена инфраструктура, съсредоточена върху текущите им проекти за ядрени реактори, като първа стъпка към ядрена енергия за мирни цели (IAEA, 2011).

Таблица 1. Видове изследователски реактори в Африка

Страна	Наименование на съоръжението	Вид	(kW)
Египет	ETRR-1 (експериментален учебен изследователски реактор)	Корпусен ВВЕР	2000
Египет	ETRR-2	Басейнов реактор	22 000
Либия	IRT -1	Басейнов реактор, тип ИРТ	10 000
Алжир	Nur	Басейнов реактор	1000
Алжир	ES-SALAM	Тежка вода	22 000
Демократична	TRICO II	TRIGA Mark II	1000

република Конго*			
Гана	GHARR -1	Малък реактор - източник на неутрони	30
Мароко	MA-R1 TRIGA	Mark II	2000
Южна Африка	SAFARI -1	Басейнов тип като активната зона се намира в оболочка	22 000
Нигерия	NIRR -1	Малък реактор - източник на неутрони	30

*По настоящем в продължителен период на спиране.

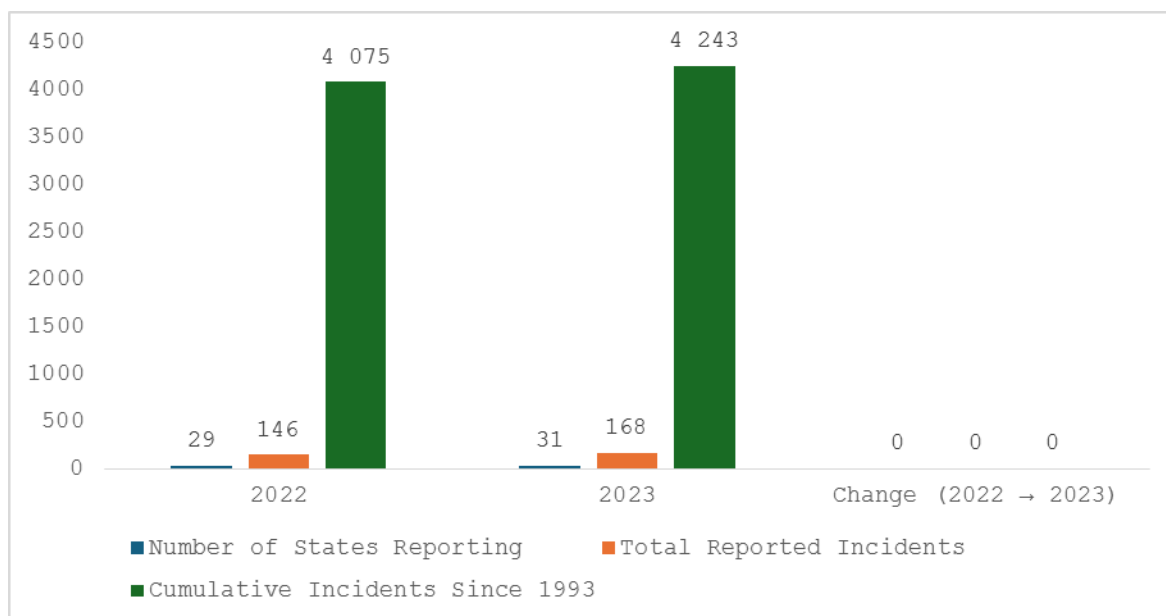
Източници: МААЕ -2020

Заплаха за ядрената сигурност в Североизточна Африка

Ядреният тероризъм обхваща три вида действия от недържавни субекти. Те включват използването от недържавен субект на готово ядрено оръжие от съществуващ национален ядрен арсенал; саботаж на ядрено съоръжение; и терористични актове, които заплашват продължаването на производството на ядрени оръжия. Ядреният тероризъм може да включва използването на делящи се/радиологични вещества, устройства за радиологично разпръскване или „мръсни бомби“. От трите, възможността за първия вид е най-трудна, като се има предвид, че при ядрените оръжия има добра отчетност и защита. Терористична организация не може лесно да открадне или придобие цели ядрени оръжия, включително системи за предаване и таблици с електронни кодове, които могат да бъдат използвани за изстрелването им, освен ако държавата не е съучастник в кражбата или придобиването.

Според базата данни на МААЕ за информация във връзка с инциденти и незаконен трафик, броят на инцидентите, включващи нерегламентирани дейности и събития, включващи ядрени и други радиоактивни материали, продължава да следва историческите тенденции през 2023 г. В базата данни на МААЕ за информация във връзка с инциденти и незаконен трафик са докладвали 168 инцидента от 31 държави през 2023 г., което е увеличение с двадесет и два инцидента спрямо 2022 г. От 1993 г. насам страните са докладвани 4243 потвърдени инцидента (ITDB-2024).

Тези данни отразяват нарастващия брой докладвани инциденти, подчертавайки необходимостта от засилени мерки за ядрена сигурност и подобрен потенциал за откриване на заплахи в сферата на ядрената сигурност в световен мащаб.



Фигура 6. Докладвани инциденти в базата данни за инциденти на МААЕ (2023 г. спрямо 2022 г.)

Източник: ITDB-2024

- **Международен режим за ядрена сигурност**

Този раздел описва международния режим и ще направи критична оценка на прилагането и въздействието на Международния режим за ядрена сигурност и неговите ключови законодателни рамки, като резолюции 1373 и 1540 на Съвета за сигурност на ООН, Конвенцията за ядрените оръжия и нейните изменения, както и Конвенцията за ядрения тероризъм, които са изиграли важна роля в тези усилия. Освен това, инициативи като „Инициативата за сигурност по отношение на разпространението на ядрени оръжия“, „Глобалната инициатива срещу ядрения тероризъм“ и срещите на върха по въпросите на ядрената сигурност са изиграли значителна роля при разглеждането на неговите правни основи, съвместни усилия и постигнат напредък.

ГЛАВА 2: МЕТОДОЛОГИЧНИ АСПЕКТИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО И АНАЛИЗА НА ЯДРЕНАТА СИГУРНОСТ В СУДАН

Тази глава предоставя сравнителен анализ на системите за ядрена сигурност в Судан, с позоваване на регионалните им аналози Египет и Етиопия, както и на най-

добрите международни практики, особено тези на Австралия. Целта е да се анализира архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност и човешките ресурси на Судан чрез структуриран, научно обоснован подход, като същевременно се определят специфични за региона предизвикателства и възможности за подобрене.

- **Методологии на изследване**

Тази глава предоставя сравнителен анализ на системите за ядрена сигурност в Судан, с позоваване на регионалните им аналози Египет и Етиопия, както и на най-добрите международни практики, особено тези на Австралия. Целта е да се анализира архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност и човешките ресурси на Судан чрез структуриран, научно обоснован подход, като същевременно се определят специфични за региона предизвикателства и възможности за подобрене.

Това проучване възприема качествен изследователски подход, за да изследва сложността на архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан. Избраната методология позволява задълбочено разбиране на предизвикателствата и развитието в региона и улеснява триангулацията на данни от множество източници, като по този начин повишава надеждността и валидността на констатациите. Изследването използва следните методологии:

Казуси:

Разглежда подробно рамките за ядрена сигурност в Судан, като се фокусира върху регулаторните структури, технологичния напредък, оперативните предизвикателства и развитието на човешките ресурси. В тези страни този метод позволява подробен анализ на конкретните ядрени дейности и пречки, свързани със сигурността, правителствените мерки и готовността на институциите. Интердисциплинарният подход, основан на казуси, е полезен за определяне на модели, слаби страни и най-добри практики за подобряване на ядрената сигурност. Казусите предоставят реални ситуации, които могат да допринесат за разработването на нормативна база, като наблягат на успешни стратегии и често срещани затруднения. Те предлагат цялостно разбиране за това как различните регулаторни и оперативни рамки функционират на практика, което позволява да се разработи по-ефективна и съобразена с нуждите нормативна база.

Сравнителен анализ на страните в региона Египет и Етиопия

Това проучване използва сравнителен подход на казуси, фокусирани върху Египет, Египет и Етиопия, за да даде регионалната представа и определи най-добри

практики, свързани с архитектурата откриване на събития в областта на ядрената сигурност заплахи в Судан. Избраните страни са географски близки, политически свързани, но на различни етапи от своето ядреното развитие. Във всеки случай, страните, стартиращи ядрени технологии, предлагат уникална картина по отношение на ядрената сигурност, архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност и развитието на човешките ресурси.

Обосновка за избора на държава Египет и Етиопия

Египет и Етиопия са избрани за сравнителния анализ въз основа на тяхното стратегическо значение, статут на ядреното развитие и регионално позициониране в региона на Североизточна Африка, характеризиращ се с нарастващо търсене на енергия, геополитическа нестабилност и трансгранични предизвикателства пред сигурността. Тези две страни са на различни етапи на развитие на ядрената инфраструктура и с различна степен на ангажираност по отношение на международните рамки за ядрена сигурност.

След като построява АЕЦ „Ел Дабаа“, Египет служи като еталон в региона благодарение на своята напреднала ядрена програма. Страната също така си сътрудничи с международни ядрени регулаторни органи в рамките на един широк кръг от въпроси. Относителната институционална зрялост на Египет може да послужи като образец на правни и нормативни практики, които могат да служат като основа за п за развитието на Судан.

Той е активен в развиването на компетенции и международното сътрудничество, въпреки че Етиопия все още е в ранните етапи на планиране на ядрената енергия. Етиопия е член на Африканския съюз и заинтересована страна, стартираща ядрена програма по отношение на ядрената наука, което предоставя ценна информация за предизвикателствата, пред които са изправени страните, стартиращи ядрени програми.

Чрез избора на тези две държави може да се проведе сравнителен регионален анализ, който обхваща както различието, така и общите черти на подходите към системите за откриване на събития в областта на ядрената сигурност. Въз основа на регионалните и международните поуки, това отразява и по-широката цел на изследването да се установят адаптивни и отчитащи политическите реалии стратегии за укрепване на ядрената сигурност в Судан.

Анализ на документи:

Критичен компонент на това изследване включва внимателно проучване на нормативни документи, правни рамки и международни договори, свързани с ядрената

сигурност в Судан. Изследването разглежда обстойно вторични източници на данни. По-важното е, че за целите на изследването вторичните източници включват статии в списания и книги, публикувани за ядрената и радиационна сигурност, както и бази данни, достъпни в различни университети, изследователски организации и правителствени уебсайтове. Следните източници на вторична литература са разгледани и събрани от регистри, академични списания, уебсайтове на професионални организации, индустриални публикации, официални документи и статистическа информация. Освен това е събран широк спектър от информация на местно ниво, свързана със сигурността на ядрените и радиологичните материали, както и разпоредби и насоки, издадени от съответните агенции в Суданската комисия по атомна енергия (SAEC) и Суданския регулаторен орган за ядрена безопасност и радиационна защита (SNRRA). Други важни вторични ресурси са използваните международни публикации и книги на уебсайта на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ), Организацията за икономическо сътрудничество и Асоциация на ядрената индустрия (NIA), Международната система за ядрена информация (INIS), Световния институт за ядрена сигурност (WINS) и други разпоредби от регулаторните органи.

Вторична изследователска информация е събрана от много източници, за да се намери икономически ефективен способ за получаване на широко разбиране на изследователските въпроси и за максимално повишаване на качеството на данните. Важно е да се провери надеждността на уебсайтовете, преди да се използват като източници на данни.

Сравнителен анализ с Австралия:

Това проучване сравнява рамките за ядрена сигурност на Судан със стабилните и международно признати рамки на Австралия. Чрез извличане на поуки от установените системи за ядрена сигурност на Австралия, този подход ще установи пропуски, предизвикателства и възможности за подобряване на ядрената сигурност в Судан. Използването на множество методологии улеснява цялостното разбиране на сложни въпроси чрез триангулация на данни. Този подход засилва надеждността и валидността на резултатите от изследванията, понеже различните методи могат да се потвърждават и допълват взаимно. Освен това, той предоставя по-разнородна гледна точка, обхващайки различни измерения и план на ядрената сигурност в Судан. Това решение е в съответствие с чувствителността и критичното значение на ядрената сигурност. В резултат на това поверителността е защитена и се избягват

потенциалните рискове, свързани с достъпа до класифицирана информация. Изследователите могат да получат достъп до широк спектър от информация, която вече е била прегледана и проверена, когато използват документирани доказателства. Освен това, този подход свежда до минимум етичните и логистичните предизвикателства, свързани със събирането на нови данни в чувствителни области, като например ядрената сигурност. В допълнение разчитането на съществуващи документи гарантира, че изследването е основано на добре установени факти и осигурява надеждна основа за анализ. В него са подчертани възможностите за регионална адаптация и сътрудничество, основани на тези международни практики с оглед на ситуацията в Африка.

Анализ на ядрената сигурност в Судан

Национален режим за ядрена сигурност в Судан постепенно се установява чрез създаването на Судански регулаторен орган за ядрена безопасност и радиационна защита (SNRRA), който отговаря за регулирането на ядрените и радиоактивните дейности. Въпреки това, цялостната рамка е все още в начален етап и остават предизвикателства по отношение на прилагането, координацията, инфраструктурата и развитието на работната сила.

Целта на този раздел е да предостави задълбочен анализ на състоянието на ядрената сигурност в Судан, като разгледа правната и регулаторна рамка, нормативната база за радиоактивните източници, националната координация в архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност, съответствието с международните норми, участието в глобални споразумения и текущото състояние и пропуските на системите за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан. Анализът предоставя разбиране за инфраструктурата за ядрена сигурност на Судан, както и за областите, изискващи спешно внимание и международна помощ и е ценен принос за разбирането на силните и слабите страни на страната.

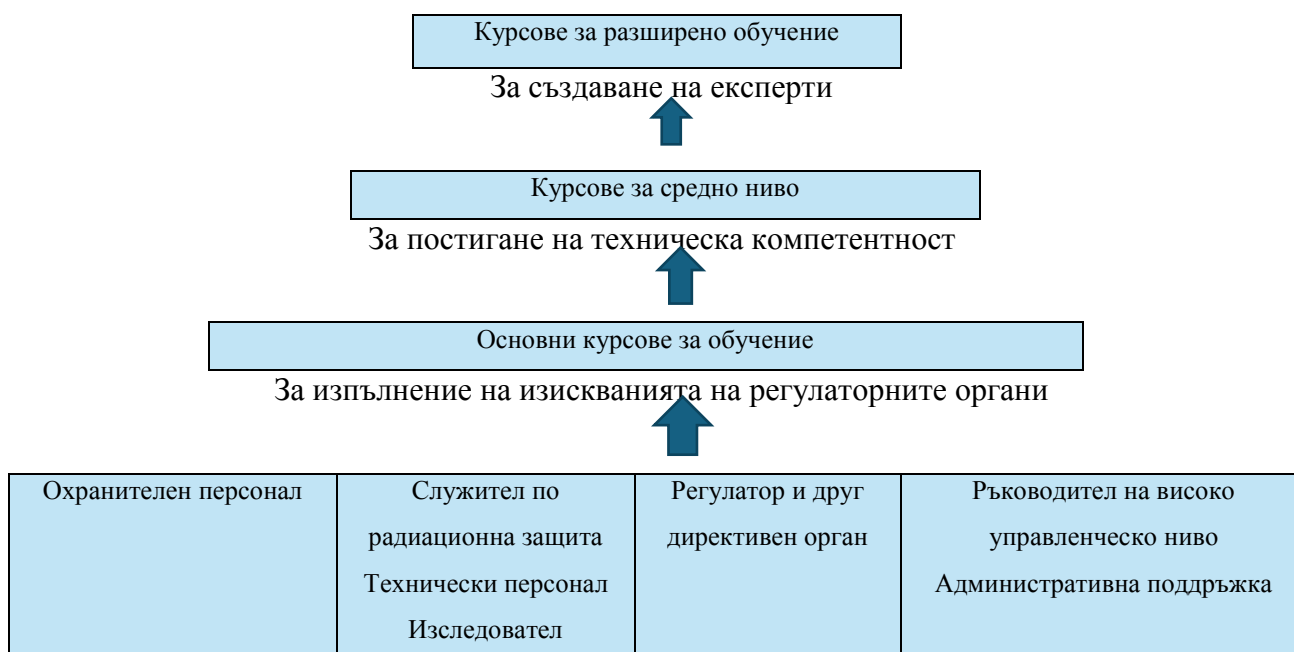
- **Образование и обучение по ядрена сигурност в Судан**

Таблица 2. Образование по ядрена енергия в Судан

Университет	Програма	Дата на начало
Судански научно-технологичен университет (SUST)	Бакалавърска степен по ядрена енергетика и технология	2009 г.
Суданска академия на науките (SAS)		2004 г.
Университет на Карари	Цел на магистърска програма по ядрена сигурност	

Източник: авторът

Както е показано на фигурата по-долу, един от най-важните функционални стълбове за развитие на човешките ресурси ще бъде създаване на компетентно лице чрез образователни нива и обучение.



Фигура 7. Предложение за схема за обучение по ядрена сигурност

Източник: авторът

ГЛАВА 3 ЕМПИРИЧНИ ИЗВОДИ И СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ

Резултати

Судан предприема редица стъпки за привеждане на националната си система за ядрена сигурност в съответствие с международните стандарти, по-специално чрез сътрудничество с Международната агенция за атомна енергия (МААЕ).

Въпреки че това развитие е положително, все още има някои пропуски. В области като култура на ядрена сигурност, надеждност на персонала и механизми за откриване и реагиране, правните и регулаторни системи на Судан нямат пълно покритие. Както е обсъдено по-нататък в тази глава, тези пропуски подчертават необходимостта от устойчива, координирана стратегия за развитие на човешките ресурси, която е в съответствие с насоките на МААЕ и улеснява дългосрочното институционално развитие.

Предизвикателства при разработването на режими за ядрена сигурност и архитектури за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан

Архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан е изправена пред много сложни предизвикателства поради политическата си нестабилност, ограничените технически възможности и променящия се облик на заплахите в световен мащаб. В резултат на обширните и често недостатъчно защитените граници на страната, както и на фрагментацията на институциите, тези предизвикателства се усложняват, което прави изключително трудно наблюдението, откриването и задържането на нелегални ядрени и радиологични материали.

Политическа и регионална нестабилност

Средата за сигурност в Судан и съседните региони остава крехка поради продължаващите вътрешни конфликти и трудности пред управлението. Както се подчертава от Mfr (2016), тази нестабилност може да подкопаят усилията за осигуряване на сигурността на ядрените материали и доведе до слабости, които недържавни субекти могат да използват. Политическата нестабилност на Судан произтича от десетилетия на вътрешни конфликти, чести промени в правителството и широко разпространени граждански вълнения. При липсата на ефективен контрол над територията му и слаби структури на управление, тези фактори са допринесли за неговата слабост. Следователно, усилията за справяне с предизвикателствата пред архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност се

усложняват допълнително от трудността при въвеждането и прилагането на надеждни мерки за ядрена сигурност.

Ограничени финансови и технически възможности

Използването на основни ядрени технологии и инфраструктура за откриване на събития в областта на ядрената сигурност се възпрепятства значително от финансови и инвестиционни пречки (Orikpete et al., 2023). Във връзка с появата на нови заплахи, архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност се възпрепятства от остаряло и недостатъчно оборудване, липса на модерни системи за наблюдение и пропуски на защитите за киберсигурност.

Заплаха от контрабанда на ядрени материали и недържавни субекти

Рискът от контрабанда остава критичен проблем, особено в райони, където материалите са извън регулаторния контрол. Както отбелязват Broodryk & Stott (2011) и други анализатори, терористичните групи са проявили интерес към придобиването на радиологични материали за използване в устройства за радиологично разпръскване (URP), известни още като „мръсни бомби“.

Недостатъци на координацията

Ефективната ядрена сигурност изисква безпроблемна координация между различните агенции – митнически, правоприлагащи, разузнавателни, гранични и регулаторни органи. В Судан тази координация остава фрагментирана, което възпрепятства способността на страната да внедри единна и многопластова система за откриване. Фрагментираната координация може да доведе до значителни забавяния при откриването и реагирането на заплахи за ядрената сигурност. Тази липса на взаимодействие между агенциите може да доведе до пренебрегване или неправилно съобщаване на критична информация, което увеличава риска ядрените материали да попаднат в неподходящи ръце. В крайна сметка тези недостатъци в координацията биха могли да подкопаят националната и регионалната сигурност, представлявайки сериозна заплаха за обществената безопасност и стабилност.

Недоразвити регионални механизми

Регионални рамки като „Форумът на ядрените регулатори в Африка (FNRBA)“ са постигнали известен напредък в сътрудничеството по отношение на ядрената сигурност, но координацията с външни участници и включването на конкретни протоколи за откриване на събития в областта на ядрената сигурност остават ограничени (Brosig, 2014). За да се подобрят регионалните рамки за сигурност, е

необходимо засилено сътрудничество и споделяне на информация между съседните държави. Създаването на съвместни програми за образование и обучение може значително да подобри възможностите на регионалните организации за откриване и реагиране на ядрени заплахи. Освен това, разработването на стандартизирани протоколи и включването им в съществуващите рамки може да канализира усилията и да осигури по-координиран и ефективен подход към ядрената сигурност.

Технологични пропуски и киберзаплахи

Бъдещето на новопоявилите се технологии като портални монитори за радиационен контрол, мобилни системи за откриване и системи за наблюдение, задвижвани от изкуствен интелект е обещаващо.

Въпреки че често е трудно да се внедрят напреднали технологии поради липса на финансиране, инфраструктура и човешки ресурси, въвеждането на такива технологии е ключова част от техния успех (Shubayr, 2022). Човешките ресурси са от решаващо значение за успешното внедряване на тези технологии. Има нужда от квалифициран персонал за работа и поддръжка на високотехнологично оборудване, като портални монитори за радиационен контрол и системи, управлявани от изкуствен интелект. Освен това персоналят трябва да преминава през текущи програми за обучение и развитие, за да бъде информиран за най-новите технологични постижения и да може да реагира ефективно на заплахи за ядрената сигурност.

Възможности за подобряване на откриването на събития в областта на ядрената сигурност в Судан

Има няколко възможности за Судан и други страни от Североизточна Африка да подобрят системите за откриване на събития в областта на ядрената сигурност, въпреки постоянните предизвикателства.

Използване на международна подкрепа и помощ

Ясно е, че Судан може да се възползва значително от партньорства с международни институции като Международната агенция за атомна енергия (МААЕ), Организацията на обединените нации и други специализирани организации, посветени на ядрената сигурност. Тези институции предлагат:

- Познания за системите за откриване и регулиране, както и техническа експертиза в тези области,
- Разработване на програми за развиване на компетенциите с цел обучение и образование,

- Подкрепа за изграждането на инфраструктура за откриване и системи за наблюдение на границите, както и финансова помощ.

Изпълнението на интегрираният план за устойчивост на ядрената сигурност и регионалните обучения, заедно с консултативните мисии на МААЕ, са от особено значение в подкрепа на усилията на Судан за подобряване на потенциала за откриване на заплахи в сферата на ядрената сигурност и развитието на човешките ресурси (МААЕ, 2019 г.)

Прилагане на съвременни технологии и най-добри практики

Прилагането на съвременни технологии и най-добри практики от по-развити ядрени програми може значително да подобри потенциала за откриване на заплахи в сферата на ядрената сигурност на Судан. Ключови области включват:

- Ръчно преносими детектори и портални монитори за радиационен контрол (ПМРК);
- Анализ в реално време и интегриране на данни за откриване на отклонения;
- Машинно обучение и системи за откриване, базирани на изкуствен интелект.

Судан може да разработи подходящи за ситуацията решения, като се поучи от страни с по-напреднала инфраструктура, като Австралия и Египет (Chivers et al., 2017).

Подобряване на покритието за радиационен контрол в среда с ограничени ресурси

Оптимизирането на системите за радиационен контрол е важно предизвикателство, когато става въпрос за ядрена сигурност в Судан. Големите географски области в рамките на държавите, включително обширни граници, отдалечени региони и множество точки на влизане и транзит, правят непрактично разполагането на оборудване за радиационен контрол навсякъде. Системата за радиационен контрол обикновено наблюдава конкретни контролирани зони, като гранични пунктове, морски пристанища или критична инфраструктура. Липсата на ресурси обаче често ограничава тяхното разполагане, което налага необходимостта стратегиите да се степенуват по важност.

Укрепване на правните и регулаторни рамки

Националните закони следва да бъдат приведени в съответствие с международните инструменти, когато става въпрос за борба със заплахата от ядрени оръжия. Както обвързващи, така и необвързващи правни документи следва да бъдат включени в инструментите на тези документи. В съответствие с Принцип „С“ от

КФЗЯМ, държавите са отговорни за създаването и поддържането на стабилна законодателна и регулаторна рамка за физическа защита. Това включва определяне на изисквания за физическа защита, системи за лицензиране и оценка, както и механизми за прилагане на спазването чрез инспекции и санкции. Очаква се тези стъпки да позволят откриване и задържане на нарушители, извършващи злонамерени действия (престъпни или нерегламентирани действия), които имат последици за ядрената сигурност.

Продължават да съществуват значителни предизвикателства при създаването на такива рамки, особено при привеждането им в съответствие с международните стандарти и задължения. Например, прилагането на архитектури за откриване на събития в областта на ядрената сигурност (АОСЯС) в региона варира значително, ато е повлияно от националните приоритети, ресурси и технически възможности. Държави като Судан, съгласно Закона за ядрената енергия от 2017 г., постига напредък в упълномощаването на Суданския регулаторен орган за ядрена безопасност и радиационна защита (SNRRA) да прилага мерки за ядрена сигурност. Въпреки това, остават пропуски при прилагането на разпоредбите, особено по отношение на осигуряването на сигурността на радиоактивните материали и съответствие на съоръженията с лицензионните условия. Освен това, предоставяне на редовни програми за обучение и повишаване на информираността на съответния персонал може да помогне за засилване на значението на тези разпоредби. Международното сътрудничество и споделянето на информация също могат да играят ключова роля в определянето на потенциални заплахи и осигуряването на единна реакция.

Тези инициативи допринасят значително за намаляване на вероятността ядрените материали да попаднат в неподходящи ръце.

За да подобри системите за откриване на ядрена сигурност в региона, Судан трябва:

- Да разработи комплексни правни рамки, които ясно определят ролята и отговорностите на националните органи;
- Да създаде насоки за откриване и намаляване на заплахи за ядрената и радиационна сигурност;
- Да подобри механизмите за наблюдение на спазването на международните конвенции и стандарти за ядрена сигурност.

Координация между компетентните органи в Судан

Координацията между различните национални и регионални органи е от решаващо значение за ефективната ядрена сигурност. Компетентните организации включват правоприлагащи, агенции за национална сигурност, органи за граничен контрол, регулаторни органи и технически организации.

Предизвикателствата при насърчаването на ефективен обмен на информация и сътрудничество в областта на разузнаването.

Фрагментираната комуникация, липсата на стандартни оперативни процедури и ограниченото трансгранично сътрудничество възпрепятстват ефективността на системите за откриване. Един координиран регионален подход е от съществено значение за справянето с тези проблеми. Държавите в региона следва да участват в многостранни споразумения и регионални програми, фокусирани върху откриването на събития в областта на ядрената сигурност. Например, използването на техническа подкрепа от международни партньори като МААЕ и участието в съвместни инициативи за обучение и развиване на компетенциите може да засили механизмите за координация.

Въвеждане на усъвършенствани технологии за откриване

Ефективно и модерно оборудване за откриване е необходимо при справяне с незаконния трафик на ядрени и радиоактивни материали, като например портални монитори за радиационен контрол (ПМРК), които могат да откриват както радиоактивни, така и ядрени материали. Важно е ядрените и другите радиоактивни материали да са под регулаторен контрол, за да се предотврати придобиването им от неприятели за злонамерени цели. Съоръжението за съхранение трябва да бъде обезопасено с мерки за сигурност, за да се предотврати неоторизиран достъп до източника. В допълнение към физическите бариери като огради и охранителни камери, са включени и системи за контрол на достъпа, като карти с ключове и биометрични скенери. Освен инсталирането на системи за откриване на проникване, сензорите за движение също могат да подобрят сигурността в съоръжението. Защитата на цифровите системи от опити за хакерски атаки изисква и съвременни мерки за киберсигурност. Освен това, редовните проверки по сигурността и обучението на персонала са от съществено значение, за да се гарантира, че персоналът е подготвен да реагира на потенциални заплахи. Прилагането на тези мерки помага за

предотвратяване на неоторизиран достъп и повишаване на цялостната сигурност на съоръжението.

Сравнителен анализ на ядрената сигурност в Судан

Таблица 3. Национални мерки Сравнителен анализ

Показател:		Източник	Египет	Судан	Етиопия
Регулаторен надзор	Поддържа ли страната/регионът орган за регулаторен надзор на радиоактивните източници?	МААЕ	Да	Да	Да
Мерки за сигурност	„Има ли разпоредби, които изискват мерки за сигурност за защита на радиоактивните източници?“	МААЕ	Да	Да	Да
Държавен регистър	Държавата поддържа ли регистър на радиоактивните източници?	МААЕ	Няма налични данни	Да	Да
Инспектиращ орган	Има ли държавата правомощия да инспектира съоръжения с радиоактивни източници?	Център Стимсън	Да	Да	Да
Лицензи за износ	Има ли изисквания за лицензиране за износ на източници от категория 1 на МААЕ?	НПТ-2023	Да	Да	Да

Източник: авторът

Сравнителен анализ с най-добрите международни практики

Австралийският режим за ядрена сигурност задава стандарт за ефективно управление благодарение на силното си международно сътрудничество, добре установената регулаторна рамка и усъвършенстваните системи за откриване. Съществуват съществени разлики между трите държави от Североизточна Африка и Австралия. Според сравнението, Судан и Етиопия все още са изправени пред значителни предизвикателства, които възпрепятстват прилагането на надеждни мерки за сигурност, докато Египет показва относителен напредък.

Таблица 4. Сравнителен анализ с най-добрите международни практики (австралийски модел)

Аспект	Австралия (сравнителен анализ)	Египет	Судан	Етиопия
Регулаторна рамка	Независими агенции (ASNO - Австралийска бюро за гаранции и неразпространение на ядрени оръжия) и ARPANSA - Австралийска агенция за радиационна защита и ядрена безопасност с ясни законови мандати (Закон за неразпространение на ядрени оръжия (гаранции) от 1987 г.) (ASNO, 2022 г.)	Египетският регулаторен орган за ядрена безопасност и радиационна защита (ENRRA) е създаден и функционира (ENRRA, 2022 г.)	Суданският регулаторен орган за ядрена безопасност и радиационна защита е създаден, но няма пълни правомощия (Girma Kibatu, 2023 г.)	Институционалната структура е в процес на разработване; липсва независим регулаторен орган (Girma Kibatu, 2023 г.)
Междуведомствена координация	Силно сътрудничество между регулаторните органи, митническите служби и международните партньори (МААЕ, 2017 г.)	Умерена координация; ефективна при изпълнението на проекти като АЕЦ, „Ел Дабаа“	Ограничена координация; фрагментирано прилагане поради политическа нестабилност	Ограничена координация: полагат се усилия за подобряване на интеграцията
Архитектура за откриване на събития, в областта на ядрената сигурност	Усъвършенствани системи за откриване, включително „зони без надзор“ и електронен контрол на достъпа (МААЕ, 2017 г.)	Разработване на системи за откриване, пример за което е проектът „Ел Дабаа“.	Основна инфраструктура за откриване със значителни пропуски (Гирма Кибату, 2023 г.)	Инфраструктура за откриване в ранен етап, изискваща технологични подобрения
Развитие на човешките ресурси	Всеобхватни програми за обучение и редовни симулаторни упражнения (ASNO, 2022)	Разработени чрез международно сътрудничество и програми за обучение	Ограничени специализирани програми за обучение; загуба на квалифициран персонал поради нестабилност	Появяват се инициативи за развитие на човешките ресурси, но остават значителни пропуски в капацитета
Международно сътрудничество	Активно участие в МААЕ, FNCA (Форум за ядрено сътрудничество в Азия), ICSANT (Международна конвенция за ядрен тероризъм) и други инициативи (FNCA, 2018)	Активно ангажиране с международни договори и споразумения за сътрудничество (ENRRA, 2022)	Ограничено ангажиране и споделяне на информация; необходима е по-силна интеграция;	Съществува ангажираност с МААЕ, но е необходима по-нататъшна интеграция.

Източник: авторът

Препоръки за засилване на сътрудничеството и комуникацията в областта на ядрената сигурност

Укрепване на сътрудничеството на национално ниво

Засилването на ядрената сигурност изисква ефективна координация и комуникация между националните органи. Една комплексна национална програма, насочена към предотвратяването на престъпни или нерегламентирани действия,

включващи ядрени и други радиоактивни материали, следва да обединява отговорностите на всички компетентни агенции, включително регулаторни органи, митници, полиция, разузнавателни служби и служби за реагиране при извънредни ситуации. Такава програма е най-ефективна, когато е насочена както към ядрената сигурност, така и към радиационната защита (МААЕ, 2018 г.).

Официални споразумения и отговорности:

Официални споразумения и отговорности: Подписване на меморандуми за разбирателство (МР) между националния регулаторен орган и съответните заинтересовани страни за уточняване на ролите и за обезпечаване на отчетност на институциите (МААЕ, 2015 г.). Важно е да се установят ясни начини за комуникация и очаквания между страните чрез меморандуми за разбирателство, като се намалява вероятността от недоразумения между тях. Чрез определяне на конкретни отговорности и цели, меморандумите за разбирателство могат също да улеснят сътрудничеството и координацията. Освен това, те могат да служат като основа за изграждане на доверие и заздравяване на взаимоотношенията между заинтересованите страни, участващи в регулаторните процеси.

Създаване на контактни мрежи

Създаване на мрежа от контактни точки, за да се улесни комуникацията по време на извънредни ситуации и координация на национално ниво. Наличието на контактни мрежи по време на извънредни ситуации осигурява бързо разпространение на важна информация, което позволява навременни реакции и разпределение на ресурсите. Тези мрежи спомагат за координиране на усилията между различните агенции и организации, като свеждат до минимум объркването и дублирането на усилия. Освен това, те насърчават сътрудничеството и доверието между заинтересованите страни, което е от съществено значение за ефективното управление на кризи.

Обмен на разузнавателна информация и оперативно сътрудничество:

Споделянето на разузнавателна информация позволява на държавите да обменят жизненоважна информация за потенциални заплахи, което им дава възможност да действат по-бързо и ефективно. Чрез обединяване на ресурси и разузнаване, държавите могат да откриват трафикантски мрежи по-точно и да прекъсват операциите им. Този съвместен подход помага също да се прогнозира бъдещи заплахи и прилагат превантивни мерки. Например, „Глобалната инициатива за борба с ядрения тероризъм (ГИБЯТ)“ насърчава международното сътрудничество чрез

споделяне на възможности и провеждане на съвместни учения за подобряване на потенциала за откриване и пресичане на заплахи. Судан и неговите съседи биха могли да полагат съвместни усилия за борба с незаконния трафик на радиоактивни материали.

- **Препоръки за засилване на физическата защита**

Мерките за физическа защита са първата линия на защита срещу неоторизиран достъп до ядрени материали и съоръжения. Тези мерки следва да включват използването на съвременни технологии, като например биометрични идентификационни системи и детектори за движение, за да се гарантира целостта на периметъра на съоръженията.

Мерки за киберсигурност

Нарастващата зависимост от цифровите системи в ядрените съоръжения налага прилагането на надеждни мерки за киберсигурност. Това включва използването на усъвършенствани компютърни „защитни стени“, системи за откриване на проникване и технологии за криптиране за защита от киберзаплахи (Hulak et al., 2021). Създаването на център за киберсигурност, както е предложено в методологичните принципи за киберсигурност в ядрените съоръжения, може да осигури една централизирана платформа за наблюдение и реагиране на киберзаплахи (Hulak et al., 2021)

Програми за благонадеждност на човешкия фактор (ПБЧФ)

Човешкият фактор е критичен компонент на ядрената сигурност. Прилагането на програми за благонадеждност на човешкия фактор (ПБЧФ) може да помогне за определяне и намаляване на рисковете, свързани със заплахи от вътрешен враг. Тези програми трябва да включват проверки за благонадеждност, проверка на психическото състояние и обучение, за да се гарантира, че персоналът е надежден и заслужава доверие (Dahunsi et al., 2017). Комбиниране на развитие на човешките ресурси с други мерки за сигурност може допълнително да подобри цялостната сигурност на ядрените съоръжения.

Планиране и внедряване на системи за откриване:

Ключова отговорност на регулаторния орган е да разработва и контролира стратегически планове за разполагане на системи за радиационен контрол. Наложително е тези системи да бъдат стратегически разположени на границите, точките на влизане и транзитните зони с висок риск, за да се пресече всеки незаконен

трафик на ядрени материали. МААЕ съветва усилията за откриване на заплахи да се основават на многопластови архитектури, така че заплахите да бъдат установявани на няколко етапа, преди да могат да бъдат използвани злонамерено. (IAEA-2024). С цел установяване на единна и комплексна отбрана в Североизточна Африка, където държавните граници често не са добре защитени, агенциите, включително митнически, правоприлагащи и гранични служби, трябва да координират усилията си. Транспортирането, придобиването или разполагането на ядрени или радиологични материали се затруднява от йерархични подходи.

Използване на технологии и оборудване

Регулаторните органи или други държавни органи, отговорни за откриването на заплахи, трябва да инвестират в съвременни технологии за откриване, включително портални монитори за радиационен контрол, мобилни детектори и спектроскопско оборудване за ефективно откриване на ядрени материали. Ядрените материали могат не само да бъдат открити, но и охарактеризирани в реално време благодарение на тези технологии. Освен това, са необходими постоянни инвестиции в научноизследователска и развойна дейност в крак с техническите постижения и възможностите на нарушителите. (Pozzi et al., 2023).

Тази инвестиция би подпомогнала и разработването на по-преносими и лесни за употреба устройства, което би улеснило работата на персонала в различни среди. Подобрените възможности за откриване не само биха възпрепятствали незаконни дейности, но и биха заздравили глобалните рамки за сигурност, насърчавайки по-голямо доверие и сътрудничество между държавите.

Дългосрочна стабилност и непрекъснато развитие на системите за откриване на ядрени материали

Една устойчивата система за откриване на събития в областта на ядрената сигурност е от съществено значение за нейната дългосрочна ефективност. За да функционират правилно устройствата за откриване, трябва да се поддържат, калибрират и управляват през целия им жизнен цикъл. Освен това, сътрудничеството между правителствените агенции, академичните среди и заинтересованите страни от частния сектор може да стимулира иновациите и ефективността на системите за откриване.

Препоръки за подобряване на образованието и обучението в областта на ядрената сигурност

За да се повишат възможностите на национално ниво в областта на ядрената сигурност, следва да се приложи комплексна стратегия посредством образование, обучение и съдействие на институциите.

8. Разработване на учебна програма

- Оценка на нуждите на висшето образование и разработване на специализирана учебна програма по ядрена сигурност
- Определяне на професионалната компетентност и професионалните умения и знания на завършилите
- Включване на курсове по ядрена сигурност в съществуващите бакалавърски и магистърски програми и стартиране на пълни магистърски и докторски програми

9. Оценка на програмата

- Извършване както на вътрешни, така и на външни прегледи на учебните планове
- Оценка и редакция на учебните програми с обратна връзка от заинтересованите страни и осигуряване на съответствие с нуждите на пазара на труда

10. Подпомагане на институциите

- Подпомагане на съществуващите институции или създайте нови, за да отговорите на нуждите
- Стандартизиране на учебните програми в институциите и секторите

11. Международно сътрудничество и финансиране

- Участие в международни образователни инициативи в областта на ядрената сигурност и обезпечаване на съответното финансиране
- Насърчаване на частно-публичните партньорства за разработване на програми, обучение на преподаватели и предоставяне на ресурси

12. Обучение и материали

- Осигуряване на подходящи учебни материали, справочни документи и визуални учебни помагала
- Осигуряване на съответните съоръжения за обучение в класната стая, компютърно-базирано и индивидуално обучение

13. Участие на заинтересованите страни

- Насърчаване на сътрудничеството между академичните среди, индустрията и регулаторните органи за създаване на общ език и таксономия за компетенциите в областта на ядрената сигурност
- Изискване за обучение на всички лицензирани служители по сигурността и гарантиране, че изпълнителите отговарят на стандартите за компетентност в областта на сигурността

14. Специализирани програми за обучение

- Осигуряване на специализирано обучение за митническия персонал, използващ оборудване за радиационен контрол.
- Поддържане на стабилна образователна система, за да се осигури непрекъснат приток на квалифициран персонал и изследователи в областта на ядрената сигурност.

Препоръки за подобряване на архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност

Следните стратегически препоръки се предлагат за ефективно предотвратяване и реагиране на незаконния трафик и контрабандата на ядрени и радиоактивни материали:

VIII. Създаване на регулаторна рамка

- Създаване и укрепване на ясна национална регулаторна рамка за откриване на заплахи, определяща функциите и задълженията на компетентните органи

IX. Архитектура за съвместно откриване на събития в областта на ядрената сигурност

- Ангажираност на съответните органи (митници, гранична сигурност, правоприлагащи органи, ядрени регулатори) в разработването на единна архитектура за откриване.

X. Подобрения в охраняването на държавните граници

- Разполагане на стационарни портални монитори за радиационен контрол по границите за откриване на незаконен трафик на ядрени/радиоактивни материали
- Оборудване на митническите служители с усъвършенствани радиационни детектори и осигуряване на специализирано обучение

XI. Стратегия за откриване и информационна сигурност

- Разработване на цялостна стратегия за откриване на заплахи, включително нормативна база за работа с чувствителна информация

- Ясно разпределяне на отговорностите по отношение на информационна сигурност между органите

XII. Интеграция на контрола на вноса/износа

- Използване на системата за откриване на заплахи като основа за прилагане на националния контрол върху вноса/износа, включително нормативните изисквания за изделия с двойна употреба

XIII. Дългосрочна стабилност и готовност

- Поддържане и подобряване на готовността за откриване чрез редовни проверки на работата, поддръжка на оборудването, обучение на персонала и непрекъснати подобрения на процесите

XIV. Съдействие на правоприлагащите органи

- Осигуряване на участието на националните и местните правоприлагащи органи в системата за разкриване на заплахи, дори ако те не използват директно прибори за откриване на заплахи

IV. НАУЧНИ И ПРАКТИЧЕСКИ ПРИНОСИ

Тази дисертация предлага значителен теоретичен и практически принос в областта на ядрената сигурност, по-специално в областите на образованието и обучението, архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност. Въз основа на резултатите от изследването и методологичния подход, използван в това изследване, дисертацията допринася както за теоретичните, така и за практическите аспекти на ядрената сигурност, особено за развиващите се страни като Судан. Оригиналните приноси на това изследване са описани по-долу.

Научни приноси

Разработване на комплексна рамка за образование и обучение в областта на ядрената сигурност

Като част от това проучване се предлага комплексен и адаптируем модел за образование и обучение по ядрена сигурност, който може да се използва в академичната сфера и допълва съществуващата литература. Той предоставя таксономия на компетенциите в областта на ядрената сигурност, предназначена да бъде включена в академичните учебни програми на всички нива, включително бакалавърска степен, следдипломно обучение и докторска степен. Образованието по ядрена сигурност е област, която обхваща не само технически умения, но и политически, регулаторни и оперативни измерения, което подобрява теоретичното

разбиране за това как образованието по ядрена сигурност може да отговори на настоящите и нововъзникващите заплахи за ядрената сигурност.

Разработване на интегрирана рамка за откриване на събития в областта на ядрената сигурност

Изследването разкрива значителни пропуски в компетенциите и подготовката на ключовия персонал, участващ в операциите по ядрена сигурност. Поради това е разработена комплексна рамка за разглеждане на тези слаби страни и развиване на компетенциите на ключовия персонал, участващ в операциите по ядрена сигурност. Рамката е предназначена да предоставя специализирани модули за обучение на правоприлагащи органи, митнически служители, здравни специалисти и регулаторни органи. Чрез подобряване на възможностите на човешките ресурси, Судан може да повиши оперативната ефективност на своята архитектура за откриване на събития в областта на ядрената сигурност, като подобри възможностите за откриване, предотвратяване и реагиране на инциденти, включващи радиоактивни и ядрени материали. Това ще допринесе за академичния диалог по отношение на стратегическото включване на развитието на човешките ресурси (РЧР) в националните архитектури за откриване на събития, свързани с ядрената сигурност.

Сравнителен регионален анализ като рамка за сравнение

Сравнителният анализ, включващ Египет и Етиопия, представлява практичен инструмент за определяне на реалистични и регионално обосновани решения за Судан. Напредъкът на Египет в институционализирането на образованието по ядрена сигурност, международните партньорства в технологиите за откриване на заплахи и усилията на Етиопия за разработване на механизми за регулаторен надзор служат като нагледни модели. Чрез оценка на силните страни и предизвикателствата в тези страни, това изследване дава възможност на Судан да използва амбициозни и постижими стратегии. Анализът също така допринася за по-широкото академично разбиране за това как динамиката в региона и общите предизвикателства могат да формират политиката за ядрена сигурност в Африка. Судан е изправен пред няколко конкретни предизвикателства пред ядрената сигурност, които изискват конкретни решения. За да се контролират и обезопасяват ефективно ядрените материали, липсва инфраструктура и професионална компетентност. Освен това страната трябва да се справи с политическа нестабилност и ограничени ресурси, което може да възпрепятства прилагането на комплексни мерки за сигурност. За да се приложи стабилен режим за ядрена сигурност, трябва да се положат координирани усилия за развиване на

компетенциите на местно ниво, подобряване на регулаторните рамки и насърчаване на международното сътрудничество за изправяне пред тези предизвикателства.

Принос към глобалния диалог за ядрената сигурност

И накрая, настоящият дисертационен труд допринася за глобалния диалог по ядрената сигурност, като предлага възпроизводим изследователски казус на страна, която стартира програма по ядрена енергетика. Той дава препоръки по отношение на политиката, основани на емпирични доказателства, и демонстрира значението на стратегиите, базирани на човешки ресурси, за осигуряване на сигурността на радиоактивните материали и съоръжения. Може да е от полза за бъдещи ръководни документи на МААЕ и регионални програми за развиване на компетенциите, а прилагането на тези стратегии би могло значително да подобри динамиката на регионалната сигурност чрез насърчаване на сътрудничеството и доверието между съседните страни. Това би могло да доведе до създаването на съвместни програми за обучение и споделени ресурси, укрепвайки колективните способности за откриване и реагиране на ядрени заплахи. Освен това, подобрената инфраструктура за сигурност може да възпрепятства незаконния трафик и разпространението на оръжия, допринасяйки за по-безопасна и по-стабилна регионална среда.

Практически приноси

Разработване на стабилна архитектура за откриване на събития в областта на ядрената сигурност за охрана на държавните граници

Границите, летищата и пристанищата на Судан се определят като критични слаби места поради ограничените възможности за откриване на заплахи. В това изследване се предлага интегрирана архитектура за откриване, обединяваща усъвършенствани технологии за радиационен контрол и стандартни оперативни процедури. Чрез подобряване на мониторинга и контрола на ядрени и радиоактивни материали, тази архитектура намалява риска от незаконен трафик. Създаването на стабилна и устойчива система за откриване на заплахи изисква многопластов подход, който съчетава използването на технологии и обучение на персонала. Чрез използване както на развитието на човешките ресурси, така и на технологичния напредък, тези научно-приложими приноси подкрепят основната цел на дисертационния труд за изграждане на устойчива инфраструктура за ядрена сигурност в Судан.

Разработване и прилагане на национална пътна карта за изпълнение

На практическо ниво дисертационният труд представя подробна и приложима пътна карта за изпълнение, която води Судан през краткосрочните, средносрочните и

дългосрочните фази на развиване на компетенциите по отношение на ядрена сигурност и откриване на заплахи. Пътната карта може да бъде използвана не само от Судан, но и от други страни, които се присъединяват към ЕС и са изправени пред подобни предизвикателства в своето развитие.

Формулиране на модел за развитие на човешките ресурси (РЧР) в зависимост от нуждите

Основен научен принос на това изследване е разработването на конкретен модел за РЧР, специално разработен в помощ на създаването и устойчивостта на архитектурата за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в Судан. За разлика от обобщените рамки за развиване на компетенции, този модел отчита уникалните политически, икономически и институционални предизвикателства, пред които са изправени страни след конфликти и органични по отношение на ресурсите. Той се основава на международни стандарти, като например „Поредицата за ядрена сигурност (ПЯС) на МААЕ“ и Международната мрежа за образование в областта на ядрената сигурност (INSEN), но ги адаптира за локално приложение. Моделът подчертава необходимостта от създаване на специални образователни програми за ядрена сигурност, професионално обучение за служители на първа линия и мрежи за споделяне на знания, които обединяват академичните институции, регулаторните и изпълнителни органи. Моделът за развитие на човешките ресурси (РЧР) е значително постижение, като предлага персонализиран подход към ядрената сигурност в Судан, разглежда уникални предизвикателства и обединява международните стандарти с местните нужди.

Първата стъпка е да се определят съществуващите пропуски в работата на институциите, като регулаторни органи, гранични сили за сигурност и академични институции посредством систематична оценка на нуждите. Въз основа на тези заключения се разработват програми за развиване на компетенциите, предлагащи конкретни образователни и учебни програми. Разработването на учебни програми, които имат за цел да включат ядрената сигурност във висшето образование и професионалното обучение, също е основен принцип. Освен това моделът включва механизми за сертифициране и стандарти за квалификация, заедно със стратегии за равенство между половете и приобщаване. Предложено национално координационно звено ще наблюдава изпълнението, като гарантира единен и устойчив подход. Този структуриран модел предоставя практична, адаптируема рамка за Судан и други

развиващи се страни, целящи да повишат качеството на човешкия си капитал в областта на ядрената сигурност.

Таблица 5. Модел за развитие на човешките ресурси (РЧР) според нуждите на ядрена сигурност в Судан

Компонент	Описание
Оценка на нуждите	Определяне на съществуващите пропуски в знанията, уменията и възможностите на работната сила в областта на ядрената сигурност в ключови институции (регулатори, агенции за граничен контрол, митница, национална сигурност и др.).
Начини за развиване на компетенции	Разработване на структурирани програми, включително академично образование, техническо обучение и практически семинари, базирани на компетенции, съобразени с функциите, както е посочено в този дисертационен труд модел за обучение
Съдействие между институциите	Насърчаване на координацията между националните заинтересовани страни (например SNRRA, университети) и международните партньори (МААЕ, Международна образователна мрежа по ядрена сигурност (INSEN), Департамент по енергетика на САЩ).
Разработване на учебна програма	Включване на теми за ядрена сигурност в учебните програми на висшето образование (физика, инженерство, политика) и системите за професионално образование.
Сертифициране и стандарти	Създаване на квалификационни рамки и национални стандарти за професии, свързани с ядрената сигурност, включително системи за сертифициране. Използване на международни професионални организации (WINS)
Пол и приобщаване	Осигуряване на равни възможности и целенасочена подкрепа за жените и недостатъчно представените групи в образованието и кариерното развитие по ядрена сигурност.
Национално координационно звено	От централизирана работна група за развитие на човешките ресурси (например под егидата на SNRRA) до надзор на изпълнението, контрола и устойчивостта на стратегията за развитие на човешките ресурси.

Източник: авторът

V. ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Bokhari Ahmed (2024). *Nuclear Security Challenges and Detection Architecture Developments in Northeast Africa: A Comprehensive Analysis*. (“NUCLEAR SECURITY CHALLENGES AND DETECTION ARCHITECTURE DEVELOPMENTS IN ...”) YEARBOOK OF UNWE ACADEMIC PUBLISHING HOUSE – UNWE ISSN (print): 1312-5486; ISSN (online): <https://www.unwe.bg/doi/yearbook/2024.2/YB.2024.2.08.pdf>
2. Bokhari Ahmed (2024) paper published under title (*Information Management and Protection of Sensitive Nuclear Information for Strengthened Nuclear Security*) 14 Th International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE – 2024), December 2 - 3, 2024, Unwe, Sofia, Bulgaria
3. Bokhari Moneir (2020). Title: *Human Resource Development in Nuclear Security Detection architecture– Case of Sudan* [International Conference on Nuclear Security 2020](#)
4. Bokhari Ahmed (2019). *The National Legal Framework for Strengthening Nuclear Security Regime in Sudan* Third International Regulators Conference on Nuclear Security Marrakech, Morocco(printed).

VI. ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОРИГИНАЛНОСТ И ДОСТОВЕРНОСТ НА ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

Декларирам, че дисертационният труд на тема *„Подходи за укрепване на архитектура за откриване на събития в областта на ядрената сигурност в страни, които обмислят да разработят или разширят своите програми за ядрена енергетика чрез развитие на човешките ресурси - изследователски казус „Судан“*, представена във връзка с процедурата за присъждане на образователна и научна степен „доктор“ в Университета за национални и световно стопанство (УНСС), е мой труд.

Цитиранията на всички източници на информация, текст, таблици, фигури и други са обозначени според стандартите.

Резултатите и приносите на проведеното дисертационно изследване са оригинални и не са заимствани от изследвания и публикации, в които нямам участие.