

УДК: 681.5.011

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-2-50-56

М.А. Берберова, В.В. Чуенко, О.В. Золотарев, О.Л. Трефилова, М.А. Грудев  
В.В. Аничкин, Е.В. Разина.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ МОНИТОРИНГА (КОНТРОЛЯ) ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*Атомные электростанции (АЭС), являясь сложными технологическими системами, представляют собой источник повышенного риска, в частности, специфического риска радиационного воздействия. Получение количественных оценок радиационного риска является критичным для проведения мероприятий по снижению риска и предотвращению последствий аварий. Существующие методы оценки радиационного риска не учитывают влияние внешних факторов, таких как состав населения, географические особенности, антропогенное изменение среды и т.д. [1].*

*С 1997 года в связи с изменениями в нормах и правилах в области использования атомной энергии, на всех АЭС России стало необходимым выполнить вероятностный анализ безопасности (ВАБ). В дальнейшем был разработан типовой паспорт безопасности опасного объекта. Для заполнения второго раздела паспорта безопасности необходимо выполнить оценку риска рассматриваемых объектов. Начиная с этого момента, были выполнены оценки риска для всех энергоблоков всех действующих АЭС России. На сегодняшний день, в нашей стране действуют 14 атомных электростанций. В среднем, на каждую АЭС приходится по 3 энергоблока. Для систематизации и централизации данных по оценкам риска АЭС возникла необходимость разработки программы контроля обеспечения безопасности АЭС.*

*Целью работы является разработка программы мониторинга (контроля) обеспечения безопасности атомных электростанций, с применением современных технологий, позволяющих систематизировать и группировать данные паспортов безопасности АЭС, а также организовать быстрый доступ к информации.*

**Ключевые слова:** программа, мониторинг (контроль), безопасность, АЭС.

М.А. Berberova, V.V. Chuenko, O.V. Zolotarev, O.L. Trefilova, M.A. Grudev,  
V.V. Anichkin, E.V. Razina

## **DEVELOPMENT OF THE MONITORING (CONTROL) PROGRAM OF THE SAFETY OF NUCLEAR POWER PLANTS**

*Nuclear power plants (NPP), being complex technological systems, represent a source of increased risk, in particular, a specific risk of radiation exposure. Obtaining quantitative assessments of radiation risk is critical for risk reduction and accident prevention. Existing methods for assessing radiation risk do not take into account the influence of external factors, such as population composition, geographical features, anthropogenic environmental changes, etc. [1].*

*Since 1997, in connection with changes in the norms and rules in the field of the use of atomic energy, it became necessary to perform a probabilistic safety analysis (PSA) at all nuclear power plants in Russia. Subsequently, a standard safety data sheet for a hazardous facility was developed. To fill out the second section of the safety data sheet, it is necessary to carry out a risk assessment of the objects in question. From this moment on, risk assessments were performed for all power units of all operating nuclear power plants in Russia. Today, in our country there are 14 nuclear power plants. On average, there are 3 power units per nuclear power plant. In order to systematize and centralize data on NPP risk assessments, it became necessary to develop a program for monitoring NPP safety.*

*The aim of the work is to develop a monitoring (control) program for ensuring the safety of nuclear power plants, using modern technologies to systematize and group data on nuclear safety data sheets, as well as organize quick access to information.*

**Keywords:** program, monitoring (control), safety, NPP.

### **Введение**

Атомная электростанция (АЭС) - ядерная установка для производства энергии в заданных режимах и условиях применения, располагающаяся в пределах определённой проектом территории, на которой для осуществления этой цели используется ядерный

реактор (реакторы) и комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений с необходимыми работниками (персоналом) [2].

Первым в мире, в разработке АЭС, был Советский Союз. Атомная электростанция была построена в рамках программы развития мирного атома, инициированной в 1948 г. академиком И.В.Курчатовым.

Помимо прочего, в России был разработан реактор на быстрых нейтронах, позволяющий раскрыть больше потенциала ядерного топлива и использовать отходы АЭС и оружейный плутоний в качестве топлива.

Еще в 1940-х годах некоторые страны начали предпринимать попытки использования управляемой ядерной реакции для производства электроэнергии.

3 сентября 1948 года в США с помощью электричества, полученного на реакторе X-10 впервые удалось запитать электроприборы. В мае 1950 г. в Обнинске началось строительство АЭС. В том же году, в США был создан и запущен экспериментальный реактор, EBR-I в штате Айдахо. В ходе эксперимента реактор смог выработать 800 Вт энергии, после чего была повышена мощность реактора для обеспечения электричеством станции, на который был построен реактор. Но АЭС так и не была подключена к электрической сети [2].

27 июня 1954 года была запущена и подключена к общей сети Обнинская АЭС мощностью 5 МВт. В 1958 году в эксплуатацию была введена 1-я очередь Сибирской АЭС мощностью 100 МВт, в дальнейшем мощность была увеличена до 600 МВт. 26 апреля 1965 г. 1-я очередь Белоярской АЭС дала ток потребителям. В сентябре 1964 г. был запущен 1-й блок Нововоронежской АЭС с мощностью 210 МВт, а в декабре 1969 г. был запущен второй блок, мощностью 365 МВт.

В 1956 г. в эксплуатацию была введена первая АЭС за пределами СССР, она находилась в Великобритании, в городе Колдер-Холле и имела мощность 46 МВт. Первая АЭС в США была запущена в 1957 г., во Франции - в 1959 г., в Германии - в 1961 г., в Канаде - в 1962 г., в Швеции - в 1964 г., в Японии - в 1966 г.

В 2018 г. все АЭС мира суммарно выработали 2560 ТВт.ч электроэнергии - это 10,7% всемирной генерации электричества. В середине 2019 года в мире действовало 453 ядерных энергоблока.

В первую тройку Мировых лидеров в производстве ядерной электроэнергии на 2018 год входили [2]:

1. США (805,3 млрд Вт·ч/г.), 99 реакторов.
2. Франция (395,9 млрд Вт·ч/г.), 58 реакторов.
3. Китай (277,1 млрд Вт·ч/г.), 46 реакторов.

Россия в 2018 году была на четвертом месте по выработке электроэнергии в мире и имела 37 работающих реакторов, которые вырабатывали 17,9% от всей производимой в России электроэнергии.

Самая мощная АЭС в Европе - Запорожская АЭС в городе Энергодаре (Запорожская область, Украина) и имеет 6 энергоблоков, суммарной мощностью 6 ГВт.

Самая мощная АЭС в мире - АЭС Касивадзаки-Карива. Она находится в японском городе [Касивадзаки](#) и имеет 5 реакторов, суммарной мощностью 8,212 ГВт. Но с 2011 года АЭС Касивадзаки-Карива не вырабатывает электричество. Поэтому крупнейшей в мире действующей атомной электростанцией является канадская АЭС Брюс с восемью ядерными реакторами, общей мощностью 6,797 ГВт.

На сегодняшний день атомные электростанции использует 31 страна. Большинство АЭС находится на территории Европы, Северной Америки и Дальневосточной Азии. В мире действует 451 ядерный реактор, суммарно вырабатывающий мощность в 394 ГВт. В 2006 году был зафиксирован пик производства ядерной энергии. В докладе о состоянии индустрии ядерной энергетики [3], на 2016 год наблюдается спад в отрасли. 158 реакторов были остановлены. За последние 10 лет во всем мире было введено 47 энергоблоков, около полутора десятков стран стоят и развивают атомные электростанции.

Однако в мире наблюдаются и противоположные тенденции, такие как закрытие большего числа АЭС или вовсе полный отказ от ядерной энергетики. Италия стала единственной страной, которая полностью отказалась от использования АЭС.

В настоящее время разрабатываются международные проекты ядерных реакторов нового поколения, например, ГТ-МГР, которые обещают повысить безопасность и увеличить КПД АЭС.

В 2007 г. Россия приступила к строительству первой в мире плавучей АЭС, позволяющей решить проблему нехватки энергии в отдалённых прибрежных районах страны. Первая плавучая АЭС заработала в 2019 г.

Несколько стран, включая США, Японию, Южную Корею, Россию, Аргентину, ведут разработки мини-АЭС с мощностью порядка 10-20 МВт для целей тепло- и электроснабжения отдельных производств, жилых комплексов, а в перспективе также индивидуальных домов. Предполагается, что малогабаритные реакторы могут создаваться с использованием безопасных технологий, многократно уменьшающих возможность утечки ядерного вещества. Первый опыт использования мини-АЭС получил СССР ([Билибинская АЭС](#)) [2].

### 1. Обзор аварий на ядерных объектах

На сегодняшний день в России 14 действующих («Академик Ломоносов», Балаковская, Белоярская, Билибинская, Калининская, Кольская, Курская, Курская-2, Ленинградская, Ленинградская-2, Нововоронежская, Нововоронежская-2, Ростовская, Смоленская) и 1 строящаяся АЭС (Балтийская). АЭС неоспоримо имеют множество плюсов, но также есть и специфичные особенности использования АЭС. Одной из них является очень сложный технический процесс работы и, вследствие этого, большая опасность в аварийных ситуациях. За безопасность на АЭС отвечает множество устройств, систем безопасности, которые неоднократно резервированы.

Для того, чтобы минимизировать риски населения и рабочего коллектива, необходимо задумываться о последствиях аварии, о возможных рисках ещё на момент постройки АЭС.

Сводка крупнейших аварий на ядерных объектах представлена в таблице 1.

Таблица 1. Сводка крупнейших аварий на ядерных объектах

Год	Название	Пострадавшие, чел.	Ущерб
1957	Кыштымская авария	270 тысяч	более 8,2 млрд рублей (1991 г.)
1967	ПО «Маяк»	40 тысяч	неизвестен
1986	Авария на Чернобыльской АЭС	2,6 млн.	более 7000 млрд. рублей
1999	Ядерный объект Токаймура	439 человек	неизвестен
2011	АЭС Фукусима-1	150 тысяч	322 млрд долларов

Все аварии, представленные в таблице 1, уже произошли, люди погибли, ущерб был нанесён. В таблице 2 приведены показатели возможного риска, полученные из гипотетических расчетов.

Гипотетические расчеты мы провели, благодаря большой проделанной работе на всех действующих в России АЭС, и сейчас мы можем провести сравнение произошедших и гипотетических аварий, оценить риски. А благодаря программе мониторинга (контроля) обеспечения безопасности атомных электростанций есть возможность систематизировать, и централизовать все гипотетические данные в одном месте. Более того, программа мониторинга (контроля) обеспечения безопасности атомных электростанций имеет очень удобный интерфейс, позволяющий быстро получать нужную информацию.

Таблица 2. Показатели возможного риска, полученные из гипотетических расчетов

Название АЭС	Пострадавшие(чел.)	Вторичный фактор (чел.)	Ущерб(руб.)
Балаковская	256	218 тыс	1,6 млрд
Белоярская	37	30 тыс	221 млн
Билибинская	0	0	702 тыс
Калининская - 1	63	34 тыс	545 млн
Калининская - 2	61	34 тыс	514 млн
Кольская - 1	252	1000	1,7 млрд
Кольская - 2	13	1000	631 млн
Курская - 1	53,4 тыс	77,3 тыс	511 млн
Курская - 2	53,4 тыс	77,3 тыс	511 млн
Нововоронежская	3530	49 тыс	22 млрд
Нововоронежская	8050	175 тыс	48,7 млрд
Ростовская	12	2180	82 млн
Смоленская - 1	6	33 тыс	42,9 млн
Смоленская - 2	17	33 тыс	105 млн

## 2. Проектирования информационно-технической инфраструктуры приложения

Программа мониторинга (контроля) обеспечения безопасности АЭС (далее - приложение) представляет собой Web-приложение, созданное для систематизации и группировки данных паспортов безопасности АЭС, а также организации быстрого доступа к информации, позволяющего легко дать оценку состоянию безопасности каждой из рассмотренных в работе АЭС[4].

### 2.1. Общие требования к приложению

Приложение должно:

1. Быть доступным в сети интернет. Для того, чтобы в любой момент, можно было воспользоваться функциональными возможностями приложения, необходимо выделить серверу, на котором будет работать приложение, статический IP-адрес и открыть порт, по которому можно будет обращаться к приложению. Обычно для таких приложений открывают 80 порт, так как он является стандартом и нет необходимости его указывать при переходе на страницу приложения [4].

2. Обеспечивать возможность предоставления актуальной информации. Необходимо реализовать интерфейс внесения изменений в базу данных, чтобы иметь возможность обновления, добавления информации о станциях [4].

3. Иметь интуитивно понятный интерфейс. Для быстрого поиска нужной информации и облегчения использования приложения необходимо учитывать нюансы разработки интуитивно понятного интерфейса [4].

4. Использовать систему контроля версий Git. Для удобства разработки и облегчения обновления исходного кода необходимо использовать систему контроля версий Git [4]. Git - распределённое программное обеспечение для облегчения работы с изменяющейся информацией. Система управления версиями позволяет хранить несколько версий одного и того же документа, при необходимости возвращаться к более ранним версиям, определять, кто и когда сделал то или иное изменение. Одно из преимуществ системы контроля версий Git - быстрая загрузка обновлений. Это возможно благодаря тому, что при изменении одного из файлов в репозиторий загружается не весь файл целиком, а только изменённая его часть. Это позволяет снизить затраты на трафик и значительно облегчить загрузку изменений.

5. Использовать систему изоляции Docker. Для изоляции выбранного для разработки инструментария с целью корректной работы необходимо использовать средство контейнеризации Docker. Помимо изоляции Docker позволяет быстро разворачивать всю среду разработки. Одно из больших преимуществ средства Docker- это модульность и поддержка идеи “инфраструктура как код”. Конфигурация всей инфраструктуры проекта содержится в файлах конфигурации, что позволяет избежать неоднократное повторение однотипных действий, по настройке инфраструктуры и даёт возможность легко подключать дополнительных разработчиков в проект [4].

6. Быть отказоустойчивым. Для обеспечения отказоустойчивости сервера, после завершения разработки приложения и его отладки, следует перевести приложение на веб-сервер Nginx, ввиду его простоты, скорости и надёжности. Nginx- это сервер, принимающий от пользователей HTTP-запросы и выдающий им HTTP-ответы с HTML-страницей, работающий на Unix-подобных операционных системах [4].

## 2.2. Требования к аппаратному обеспечению

Для разработки, а в последующем и работы приложения, необходимо иметь выделенный или специализированный компьютер (далее - сервер), с постоянным доступом в интернет и статическим IP адресом. Сервер должен иметь характеристики не ниже [4]:

- Количество ядер процессора – 1.
- Тактовая частота процессора - 2000 МГц.
- Тип оперативной памяти- DDR2.
- Объём оперативной памяти- 512 Мб.
- Скорость сетевого адаптера- 100 Мбит/с.
- Объём жесткого диска- 20 Гб.

## 2.3. Требования к программному обеспечению

Должны быть задействованы следующие программные средства[4]:

- Операционная система Linux CentOS 7. CentOS 7 - дистрибутив операционной системы Linux с открытым исходным кодом.
- Python3 - высокоуровневый язык программирования. Python ориентирован на повышение читаемости кода и ускорения разработки ПО благодаря минималистическому синтаксису. Плюсом этого языка является наличие большого количества удобных библиотек и подготовленных для разных задач фреймворков (инфраструктур).
- Django- фреймворк с открытым исходным кодом для Web-приложений на языке python. Django имеет множество встроенных функций, которые облегчают и ускоряют разработку Web-приложений.
- СУБД Sqlite3.
- Git - система контроля версий.
- Docker - система контейнеризации.
- Nginx - отказоустойчивый Web-сервер.

## 3. Результаты

Целью работы являлась разработка программы мониторинга (контроля) обеспечения безопасности атомных электростанций, с применением современных технологий, позволяющих систематизировать и сгруппировать данные паспортов безопасности АЭС, а также организация быстрого доступа к информации.

В ходе выполнения работы были разработаны и выполнены:

1. Общие требования к приложению.
2. Требования к аппаратному обеспечению.
3. Требования к программному обеспечению.

### Выводы

В дальнейшем необходимо продолжить разработку программы мониторинга (контроля) обеспечения безопасности атомных электростанций.

### Благодарность

Работа выполнена и опубликована при поддержке РФФИ, гранты 18-07-00225, 18-07-0909, 18-07-01111, 19-07-00445.

### Список литературы:

1. Berberova, M.A., NPP risk assessments results dependence study on the composition of the population living around the NPP (on the example of Rostov and Kalinin NPP), GraphiCon 2019 Computer Graphics and Vision. The 29th / M.A Berberova, Zolotarev S.S. // International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Proceedings (2019), Bryansk, Russia, September 23-26, 2019, Vol-2485, urn:nbn:de:0074-2485-1, ISSN 1613-0073, DOI: 10.30987/graphicon-2019-2-285-289, <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper66.pdf>, p. 285-289.
2. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15): [Нормы и правила НП-001-15: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522]. - М, 2015. - 74 с.
3. ASN. The nuclear safety and radiation protection situation is of major concern. ASN is remaining vigilant, Press Release, 22 January 2016, see <http://www.french-nuclear-safety.fr/Information/Newsreleases/The-nuclear-safety-and-radiation-protection-situation-is-of-major-concern>, accessed 1 July 2016.
4. Андреев, В.В. Разработка моделей, алгоритмов и программного комплекса для решения задач оценки риска на АЭС при запроектных авариях / В.В. Андреев, М.А. Берберова, О.В. Золотарев, В.В. Чуенко, Е.В. Карпушин, Д.В. Дьячков, А.В. Суворов // Вестник БГТУ, 2020. - С. 43-51. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-4-43-51>.

### References:

1. Berberova, M.A., NPP risk assessments results dependence study on the composition of the population living around the NPP (on the example of Rostov and Kalinin NPP), GraphiCon 2019 Computer Graphics and Vision. The 29th / M.A Berberova, Zolotarev S.S. // International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Proceedings (2019), Bryansk, Russia, September 23-26, 2019, Vol-2485, urn:nbn:de:0074-2485-1, ISSN 1613-0073, DOI: 10.30987/graphicon-2019-2-285-289, <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper66.pdf>, p. 285-289.
2. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii «Obshchie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnyh stancij» (NP-001-15): [Normy i pravila NP-001-15: utverzhdeny prikazom Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 17 dekabrya 2015 g. № 522]. - M, 2015. - 74 p.
3. ASN. The nuclear safety and radiation protection situation is of major concern. ASN is remaining vigilant, Press Release, 22 January 2016, see <http://www.french-nuclear-safety.fr/Information/Newsreleases/The-nuclear-safety-and-radiation-protection-situation-is-of-major-concern>, accessed 1 July 2016.
4. Andreev, V.V. Razrabotka modelej, algoritmov i programmno kompleksa dlya resheniya zadach ocenki riska na AES pri zaproektnykh avariayah / V.V. Andreev, M.A. Berberova, O.V. Zolotarev, V.V. CHuenko, E.V. Karpushin, D.V. D'yachkov, A.V. Suvorov // Vestnik BGTU, 2020. - Pp. 43-51. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-4-43-51>.

*Статья поступила в редколлегию 13.04.2020.*

*Рецензент: канд. биол. наук, доц.,*

*Брянский государственный технический университет*

*Кузьменко А.А.*

*Статья принята к публикации 25.04.2020.*

### Сведения об авторах

**Берберова Мария Александровна**  
к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и естественно-научных дисциплин АНО ВО «Российский новый университет»

### Information about authors:

**Berberova Maria Aleksandrovna**  
PhD, docent, Department of Information Technology and Natural Sciences, Researcher ANO International Nuclear Safety Center (Moscow, Russia), Deputy Director for

(Москва, Россия), научный сотрудник АНО  
Международный Центр по ядерной безопасности  
(Москва, Россия), заместитель директора по науке  
АНО «Научно-исследовательский Центр физико-  
технической информатики» (Нижний Новгород,  
Россия)  
E-mail: maria.berberova@gmail.com

Science ANO «Scientific and Research Center for  
Information in Physics and Technique» (Nizhny Novgorod,  
Russia)  
E-mail: maria.berberova@gmail.com

**Чуенко Владислав Васильевич**  
бакалавр, кафедра информационных систем в  
экономике и управлении АНО ВО «Российский  
новый университет» (Москва, Россия)  
E-mail: xetyrj22@gmail.com

**Chuenko Vladislav Vasilievich**  
bachelor, Department of Information Systems in Economics  
and Management ANO HE «Russian New University»  
(Moscow, Russia)  
E-mail: xetyrj22@gmail.com

**Золотарев Олег Васильевич**  
К.т.н., доцент, заведующий кафедрой  
информационных систем в экономике и  
управлении АНО ВО «Российский новый  
университет» (Москва, Россия)  
E-mail: ol-zolot@yandex.ru

**Zolotarev Oleg Vasilievich**  
Ph.D., Docent, Head of the Department of Information  
Systems in Economics and Management ANO HE «Russian  
New University» (Moscow, Russia)  
E-mail: ol-zolot@yandex.ru

**Трефилова Ольга Леонидовна**  
аспирант, кафедра информационных систем в  
экономике и управлении АНО ВО «Российский  
новый университет» (Москва, Россия)  
E-mail: olihka08@mail.ru

**Trefilova Olga Leonidovna**  
graduate student, Department of Information Systems in  
Economics and Management ANO HE «Russian New  
University» (Moscow, Russia)  
E-mail: olihka08@mail.ru

**Грудев Максим Андреевич**  
аспирант, кафедра информационных систем в  
экономике и управлении АНО ВО «Российский  
новый университет» (Москва, Россия)  
E-mail: m.grudev@playhard.agency

**Grudev Maksim Andreevich**  
graduate student, Department of Information Systems in  
Economics and Management ANO HE «Russian New  
University» (Moscow, Russia)  
E-mail: m.grudev@playhard.agency

**Аничкин Василий Владимирович**  
аспирант, кафедра информационных систем в  
экономике и управлении АНО ВО «Российский  
новый университет» (Москва, Россия)  
E-mail: kykara4a502@mail.ru

**Anichkin Vasilii Vladimirovich**  
graduate student, Department of Information Systems in  
Economics and Management ANO HE «Russian New  
University» (Moscow, Russia)  
E-mail: kykara4a502@mail.ru

**Разина Елена Владимировна**  
аспирант, кафедра информационных систем в  
экономике и управлении АНО ВО «Российский  
новый университет» (Москва, Россия)  
E-mail: s\_1\_1910@mail.ru

**Razina Elena Vladimirovna**  
graduate student, Department of Information Systems in  
Economics and Management ANO HE «Russian New  
University» (Moscow, Russia)  
E-mail: s\_1\_1910@mail.ru

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: (4832) 56-49-90. E-mail: aim-pu@mail.ru

*Вёрстка А.А. Алисов. Корректор К.Ю. Андросов.*

Сдано в набор 16.06.2020. Выход в свет 30.06.2020.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
"Брянский государственный технический университет"

241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

12+