

УДК 621.039.586

tsa-nhl@mail.ru

**АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ПРОИЗОШЕДШИЕ
НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ ЗА ПЕРИОД 1952–1991 ГГ.****EMERGENCY SITUATIONS THAT OCCURRED
AT NUCLEAR POWER PLANTS DURING THE PERIOD 1952–1991**

*Титов С. А., Барбин Н. М., доктор технических наук,
Кобелев А. М., кандидат технических наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Titov S., Barbin N., Kobelev A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье проанализированы аварийные ситуации на атомных электростанциях в мире за период 1952–1991 гг. В работе проведен системный и статистический анализ аварийных событий в атомной энергетике. Для проведения системного анализа были выделены основные факторы: количество аварий и инцидентов, год, страны, в которых происходили аварийные события (СССР, США, Германия, Канада, Франция, Великобритания, Япония, Финляндия, Швейцария, Словакия, Аргентина, Испания, Индия). Выявлены объекты аварий (активная зона реактора, корпуса реактора, трубки конденсатора реактора, контур реактора и системы охлаждения, парогенераторы и паропроводные системы, отказ систем управления и сбоя автоматики, трансформаторы и кабельные каналы, насосы и насосные системы, предохранительные устройства, трубопроводные системы, технологический канал, механизмы системы давления и другие случаи). Определены основные причины возникновения аварийных ситуаций (по технической неисправности, по вине персонала, из-за короткого замыкания и сбоя автоматики). Отмечены типы реакторов (NRX, BWR, «Энрико Ферми – 1», Magnox, Windscale-1, EBR-1, AGR, UNGG, ВВЭР, РБМК, БН-600, PHWR, GCR). Для проведения статистического анализа было определено процентное соотношение возникновения аварий и инцидентов, основных объектов и причин возникновения аварийных ситуаций на атомных электростанциях в мире.

Ключевые слова: атомная электростанция, авария, инцидент, аварийная ситуация, выброс радиоактивных веществ, реактор.

The article analyzes emergency situations at nuclear power plants in the world for the period 1952–1991. The paper provides a systematic and statistical analysis of emergency events in the nuclear power industry. To conduct a system analysis, the main factors were identified: the number of accidents and incidents, the year, the countries in which emergency events occurred (USSR, USA, Germany, Canada, France, Great Britain, Japan, Finland, Switzerland, Slovakia, Argentina, Spain, India). The objects of accidents have been identified (reactor core, reactor vessels, reactor condenser tubes, reactor circuit and cooling systems, steam generators and steam pipeline systems, control system failure and automation failure, transformers and cable ducts, pumps and pumping systems, safety devices, pipeline systems, process channel, pressure system mechanisms and other cases).

The main causes of emergency situations have been identified (due to a technical malfunction, due to the fault of personnel, due to a short circuit and an automation failure). The types of reactors are marked (NRX, BWR, «Enrico Fermi – 1», Magnox, Windscale-1, EBR-1, AGR, UNGG, VVER, RBMK, BN-600, PHWR, GCR. For statistical analysis, the percentage of accidents and incidents, the main objects and causes of accidents at nuclear power plants in the world was determined.

Keywords: nuclear power plant, accident, incident, emergency, release of radioactive substances, reactor.

Общее мировое производство электроэнергии в наше время достигло порядка 16 млн ГВт в час. По данным международного энергетического агентства (МЭА) на сегодняшний день ежегодное производство электроэнергии на атомных электростанциях (АЭС) составляет 2,58 млн ГВт в час. Атомная энергетика занимает 15,54 % доли в производстве электроэнергии в мире. В рабочем состоянии находится 191 АЭС, в которые входит 451 энергоблок [1]. Атомная энергетика является сложным производством, где возможно возникновение множества различных аварий [2–5].

В работе рассматриваются аварийные и нештатные ситуации, возникающие на АЭС в период с 1952 по 1991 гг. Проведен статистический и системный анализ, материалы были взяты из источников [2; 6–16]. При анализе статистических данных использовались программы: Microsoft Word и Microsoft Excel. Для проведения системного анализа были выделены основные факторы: количество аварийных событий; страны, в которых происходили аварии и инциденты (СССР, США, Германия, Канада, Франция, Великобритания, Япония, Финляндия, Швейцария, Словакия, Аргентина, Испания, Индия); год аварийных ситуаций; объекты аварийных случаев (активная зона реактора, корпуса реактора, трубки конденсатора реактора, контур реактора и системы охлаждения, парогенераторы и паропроводные системы, отказ систем управления и сбоя автоматики, трансформаторы и кабельные каналы, насосы и насосные системы, предохранительные устройства, трубопроводные системы, технологический канал, механизмы системы

давления и другие случаи); причины возникновения аварийных ситуаций (по технической неисправности, по вине персонала, из-за короткого замыкания и сбоя автоматики); типы (название) реакторов (NRX, BWR, «Энрико Ферми – 1», Magnox, Windscale-1, EBR-1, AGR, UNGG, ВВЭР, РБМК, БН-60, PHWR, GCR).

Самое большое количество аварийных случаев зафиксировано в СССР: 24 аварии и 9 инцидентов. Восемнадцать аварий случилось по технической неисправности. Первая авария возникла 7 января 1974 г. на Ленинградской АЭС. В первом энергоблоке реактора большой мощности канального (РБМК) произошел взрыв железобетонного газгольдера, что повлекло за собой возгорание реактора. Через год, 30 ноября 1975 г., на этой же АЭС случилась еще одна крупная авария, которая была связана с разрушением технологического канала на первом энергоблоке РБМК, что привело не только к аварийной остановке, но и выбросу радиоактивных веществ. На Чернобыльской АЭС 7 сентября 1982 г. в результате аварии разгерметизировался технологический канал РБМК и последовала его аварийная остановка с выбросом радиоактивных веществ. В декабре этого же года на Ровенской АЭС возникла авария, которая была связана с разгерметизацией первого контура на блоке № 1 водородного энергетического реактора (ВВЭР). Последствия аварии – остановка энергоблока [6]. На Чернобыльской АЭС 27 февраля 1983 г. произошел гильотинный разрыв технологического канала РБМК-1000. В этом же году 20 апреля на Южно-Украинской АЭС была зафиксирована авария, связанная с разрушением

главного циркулирующего насоса, повлекшим аварийную остановку АЭС. На Курской АЭС 21 апреля 1983 г. возникла авария с разрушением технологического канала РБМК-1000. В этот же год на Южно-Украинской АЭС произошло повреждение «холодных» коллекторов, что повлекло аварийную остановку АЭС. В 1984 г. зафиксировано две аварии. Первая возникла 11 мая на Калининской АЭС. Случилось ложное срабатывание автоматики, связанное с непопадкой пилотного клапана ВВЭР-1000, что привело к аварийной остановке реактора. Вторая авария произошла 14 декабря на Южно-Украинской АЭС; она была связана с возгоранием кабелей в реакторном отделении ВВЭР-1000, что привело к возникновению пожара и аварийной остановке АЭС. На Балаковской АЭС 27 июня 1985 г. произошло нарушение условий отсечки первого контура от трубопроводов системы локализации аварии ВВЭР-1000. Последствия этой аварии – аварийная остановка реактора. В 1988 г. зарегистрировано две аварии. Первая – 5 сентября. На Игналинской АЭС возник пожар из-за перегрева кабелей на энергоблоке № 2 РБМК-1500, что в дальнейшем повлекло остановку реактора. Вторая – 15 октября. На Запорожской АЭС случилось повреждение холодных коллекторов парогенератора. Через год, 13 июня 1989 г., на Запорожской АЭС произошла аналогичная авария, что и год назад, закончившаяся повреждением холодных коллекторов парогенератора на энергоблоке № 2. В 1990 г. было отмечено три аварии. В начале года на Белоярской АЭС произошла авария с протечкой первого контура реактора на быстрых нейтронах (БН-600). На Южно-Украинской АЭС 20 сентября на блоке № 1 случилось повреждение «холодных» коллекторов парогенератора, в связи с этим блок был остановлен. На Смоленской АЭС 11 августа вследствие гидроудара произошел разрыв паропровода на блоке № 3 РБМК-1000. На Чернобыльской АЭС 11 октября 1991 г. в машинном зале электростанции

из-за конструктивной недоработки случилось возгорание на блоке № 2 РБМК, что привело к крупному пожару и аварийной остановке реактора с последующим выбросом радиоактивных веществ в атмосферу.

Три аварии случилось по вине персонала. Первая произошла 15 октября 1982 г. на Армянской АЭС. Из-за неправильных действий персонала случилось несанкционированное подключение внешней сети ВВЭР, что повлекло за собой пожар с последующей аварийной остановкой. Вторая авария зафиксирована в ночь с 25 на 26 апреля 1986 г. на Чернобыльской АЭС, где произошло возгорание водорода и разрушение РБМК-1000. Последствия данной аварии повлекли за собой выброс радиоактивных веществ, взрыв реактора и пожар на АЭС с последующей остановкой реактора [7–12]. Третья возникла 28 марта 1988 г. на Игналинской АЭС. Вследствие гидроудара случилось повреждение дренажного трубопровода и трубопроводной системы выпуска отработанного пара турбины на блоке № 1 РБМК-1500.

Две аварии зафиксированы из-за короткого замыкания в 1984 г. Первая – 27 января. На Запорожской АЭС произошло возгорание кабелей в реакторном отделении на энергоблоке № 1 ВВЭР-1000, что привело к аварийной остановке реактора. Вторая – 18 декабря на Калининской АЭС возникло замыкание в насосе технической воды на энергоблоке № 1 ВВЭР-1000, что привело к аварийной остановке реактора.

Одна авария была связана с природными условиями (сильным морозом). На Белоярской АЭС 31 декабря 1978 г. из-за сильного перепада температуры обрушились балки крыши на работающую турбину. Последствия случившегося – возгорание маслобака и распространение пламени по кабельным тоннелям.

В СССР было зарегистрировано девять инцидентов на АЭС. Пять из которых произошли по техническим неисправностям. В 1982 г. было зафиксировано два инцидента на Белоярской АЭС. Первый был

связан с течью пара в парогенераторе энергоблока № 5 реактора БН-600, второй – с протечкой первого контура реактора БН-600 на всасывающем патрубке электромагнитного насоса бакового хозяйства. На Ровенской АЭС 8 декабря 1988 г. произошел инцидент на энергоблоке № 2 ВВЭР-440, связанный с самопроизвольным открытием импульсно-предохранительного устройства компенсатора давления. Два инцидента произошли в 1990 г. Первый случился 19 декабря на Балаковской АЭС на блоке № 1 ВВЭР-1000 и был связан с отрывом байпасной линии регулятора слива конденсата. Вторым был 24 декабря на Нововоронежской АЭС. Этот инцидент связан с разрушением шва приварки задвижки на блоке № 5 ВВЭР-1000.

Три инцидента случились по вине персонала. Первый возник 21 января 1987 г. на Белоярской АЭС, где произошло попадание водородосодержащих веществ в активную зону реактора БН-600. Два инцидента зафиксировано в 1990 г. Первый 6 января на Калининской АЭС. Это инцидент был связан с проливом низкоактивной котловой воды в энергоблоке № 1 ВВЭР-1000. Вторым – 26 ноября на Балаковской АЭС – был связан с переключением затвора циркулирующей воды конденсаторов турбопитательного насоса ВВЭР-1000.

Один инцидент произошел из-за сбоя автоматики на Запорожской АЭС 14 ноября 1987 г., он связан с потерей контура и подрывом импульсно-предохранительного устройства компенсатора давления ВВЭР-1000.

В США за данный период было отмечено 27 аварийных случаев: 23 аварии и 4 инцидента. Одиннадцать аварий произошло из-за технических неисправностей. Первая – в штате Мичиган 5 октября 1966 г. на АЭС «Энрико Ферми», где возникло частичное расплавление топлива, которое привело к аварийной остановке реактора «Энрико Ферми – 1». На АЭС «Милстоун» 1 сентября 1972 г. в северо-восточной части США в штате Коннектикут

возникло коррозионное повреждение трубок конденсатора на реакторе ВВЭР, что привело к его аварийной остановке. На АЭС «Ранчо Секо» 20 марта 1978 г. в штате Калифорния произошло захлаживание корпуса реактора PWR. На АЭС «Найн Майл Пойнт» в 1982 г. в штате Нью-Йорк случилось растрескивание трубопровода по всей длине большого диаметра в системе многократной принудительной циркуляции реактора ВВЭР, что привело к аварийной остановке данного реактора. На АЭС «Окони» в 1984 г. в штате Южная Каролина возникла авария с эрозионно-коррозионным разрушением трубопроводов реактора PWR, что привело к аварийной остановке реактора. В 1986 г. было зарегистрировано две аварии. Первая – в январе на АЭС «Кристал Ривер» в штате Флорида, данная авария связана с разрушением главного циркулирующего насоса реактора PWR, что в дальнейшем повлекло аварийную остановку реактора. Вторая – в декабре на АЭС «Сарри» в штате Виргиния, данная авария случилась по причине разрушения трубопровода реактора PWR. На АЭС «Норт Анна» 15 июля 1987 г. в округе Луиза штата Виргиния произошло повреждение трубных поверхностей реактора PWR, что привело к его остановке. В 1989 г. произошло две аварии. Первая – 7 марта на АЭС «Макгуайр» в округе Мекленберг штата Северная Каролина на блоке № 1 случилось повреждение трубных поверхностей реактора PWR, что привело к его аварийной остановке. Вторая – 9 октября на АЭС «Широн Харрис» в округе Уэйк штата Северная Каролина, данная авария связана с повреждением главного трансформатора и оборудования генератора реактора PWR, что привело к пожару и аварийной остановке реактора. На АЭС «Милстоун» 31 декабря 1990 г. на реакторе типа PWR произошла авария, связанная с разрушением трубопровода слива сепарата, что привело к аварийной остановке реактора.

В США девять аварий зафиксировано по вине персонала. Первая крупная

авария произошла 29 ноября 1955 г. в штате Айдахо, она связана с саморазрушением реактора EBR и расплавлением активной зоны, что привело к пожару с последующей аварийной остановкой АЭС. Вторая возникла 3 января 1961 г. в штате Айдахо, данная авария была связана с разрушением активной зоны реактора SL-1, последствия аварии – остановка реактора [13]. На АЭС «Браунз Ферри» 22 марта 1975 г. в штате Алабама произошло повреждение кабелей собственных нужд, что привело к аварийной остановке реакторов BWR и возникновению пожара. На АЭС «Три-Майл-Айленд» 29 марта 1979 г. в штате Пенсильвания случилась авария, которая была связана с плавлением активной зоны, что в дальнейшем привело к аварийной остановке АЭС [14]. В 1982 г. было три аварии. Первая – 25 января на АЭС «Джинна» в округе Уэйн штата Нью-Йорк. Авария была связана с повреждением парогенератора посторонними предметами, что привело к аварийной остановке реактора PWR и выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду. Вторая – 30 января на АЭС «Онтарио» в штате Нью-Йорк. Эта авария была связана с системой охлаждения реактора, из-за чего возник выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. Третья – на АЭС «Пойнт-Бич» в округе Манитовок штата Висконсин, по причине повреждения парогенератора посторонними предметами. На АЭС «Салем» 22 февраля 1983 г. в штате Нью-Джерси произошел отказ системы аварийной остановки реактора PWR, что привело к его аварийной остановке. На АЭС «Хэтч» 3 декабря 1986 г. в округе Аплинг штата Джорджия случилась утечка отработавшего топлива из бассейна хранения радиоактивной воды.

Две аварии произошли из-за короткого замыкания. Первая – 10 мая 1986 г. на АЭС «Браунз Ферри» в округе Лаймстоун штата Алабама, где возникло сгорание градирни (устройство для охлаждения большого количества воды). Что привело к воз-

никновению пожара и аварийной остановке станции. Вторая – 13 октября 1991 г. на АЭС «Найн Майл Пойнт» в штате Нью-Йорк, случилось замыкание электропроводки, в следствие чего был утерян контроль с пункта управления за реактором BWR, что привело к аварийной остановке реактора и выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду.

Одна авария была связана со сбоем автоматики. На АЭС «Троян» 9 марта 1985 г. в округе Коламбия штата Орегон произошла авария, которая была связана с разрушением напорной трубы насоса реактора PWR, что привело к его аварийной остановке.

В США было зарегистрировано четыре инцидента на АЭС. Два инцидента случились по техническим неисправностям. Первый – 26 февраля 1980 г. на АЭС «Кристал Ривер» в округе Ситрэс штата Флорида, по причине захлаживания корпуса реактора PWR. Вторым – 11 марта 1987 г. на АЭС «Теки Пойнт» в округе Майами-Дейд штата Флорида, данный инцидент связан с кристаллизацией борной кислоты в корпусе реактора PWR, что привело к аварийной остановке реактора. Следующие два инцидента произошли по вине персонала. Первый – 9 июня 1985 г. на АЭС «Девис-Бесс» в округе Оттава штата Огайо, где случился отказ системе питательной воды реактора PWR. Вторым – 2 февраля 1988 г. на АЭС «Катоба» в округе Йорк штата Южная Каролина, инцидент связан с повреждением парогенератора посторонними предметами реактора PWR.

В Германии было зарегистрировано пять аварий и один инцидент на АЭС. Три из них случилось по вине персонала. Первая – 7 декабря 1975 г. на АЭС «Грайфсвальд» в результате ошибочных действий персонала и последующего отказа автоматического выключателя в распределительном устройстве возникло короткое замыкание с последующим возникновением пожара и выбросом радиоактивных веществ. Вторая – 4 мая 1986 г. на закрытой АЭС THTR-300, данная авария

была связана с повреждением системы загрузки шаровых ТВЭЛов, вследствие которой произошла незначительная утечка радиоактивного газа и выбросов радиоактивности. Третья – август 1988 г. на АЭС «Изар-1». В результате ошибки оператора из-за низкого уровня давления в первом контуре произошла автоматическая остановка реактора BWR, что привело к его остановке.

Две аварии произошли по техническим неисправностям. Первая – 6 мая 1985 г. на АЭС «Гессен», на которой возник разрыв вала главного циркулирующего насоса реактора PWR, последствия случившегося привели к аварийной остановке реактора. Вторая – 2 декабря 1986 г. на АЭС «Графенрейнфельд». В ходе эксплуатации станции произошел разрыв вала главного циркулирующего насоса реактора PWR. Один инцидент случился по вине персонала 24 ноября 1989 г. на АЭС «Грайфсвальд» и был связан с отказом системы аварийной остановки энергоблока № 5 реактора типа ВВЭР, что привело к его остановке.

В Канаде было зафиксировано четыре аварии на АЭС. Одна произошла по вине персонала на АЭС Чолк-Ривер 12 декабря 1952 г. в штате Онтарио. Из-за ошибок оператора и сбоя в системе аварийной остановки случился перегрев реактора NRX с частичным расплавлением активной зоны, вследствие этого пришлось произвести аварийную остановку АЭС [14]. Три аварии произошли из-за технических неисправностей. Первая – 1 августа 1983 г. на АЭС «Пикеринг», которая была связанная с разрушением технологического канала на реакторе типа Candu, что привело к его аварийной остановке. Вторая – 28 марта 1986 г. на АЭС «Брюс», которая была связана с разрушением технологического канала канальных труб. Третья – 23 января 1990 г. на той же АЭС «Брюс». В ходе эксплуатации произошел сбой в программном обеспечении из-за повреждения технологического канала на блоке № 4 реактора PHWR, в результате случившегося

была произведена аварийная остановка реактора.

Во Франции было зафиксировано две аварии и два инцидента на АЭС. Первая – в 1969 г. на АЭС «Сен-Лоран-дез-О», авария произошла по вине персонала, и связана она с плавлением топлива в реакторе (ggr) Magnox. В результате случившегося была выполнена аварийная остановка реактора [15]. Вторая – в марте 1980 г. на АЭС «Сен-Лоран-дез-О». Вследствие технической неисправности на реакторе типа UNGG произошло плавление его активной зоны с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу. Два инцидента произошло по технической неисправности в 1989 г. Первый – на АЭС «Каттеном», данный инцидент был связан с растрескиванием штуцеров импульсных трубок компенсатора давления на блоке № 1 реактора типа PWR. Второй инцидент был аналогичен первому, и случился он на АЭС «Фламанвиль».

В Великобритании было зарегистрировано две аварии и один инцидент. Первая авария произошла из-за технической неисправности в 1957 г., которая связана с пожаром в активной зоне на реакторе Windscale-1. Вследствие аварии были остановлены два реактора № 1 и № 2 с последующим пожаром и выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду [2, 14, 15]. Вторая – 19 ноября 1978 г. на АЭС «Хинкли Пойнт». В результате ошибочных действий персонала при перегрузке произошло повреждение ТВЭЛов на реакторе AGR. Один инцидент случился 2 октября 1977 г. на АЭС «Хантерстоун». По технической неисправности произошло попадание в корпус высокого давления газоохлаждаемого реактора AGR морской воды, что привело к его остановке.

В Японии зафиксировано три аварии. Две случились по технической неисправности. Первая – 8 марта 1981 г. на АЭС «Цугура». На станции произошла утечка высокорadioактивной воды через трещину в дне помещения для хранения отработавшего ядерного топлива, что повлекло за со-

бой выброс радиоактивных веществ. Вторая – 1 января 1989 г. на АЭС «Фукусима-1», которая связана с разрушением главного циркулирующего насоса на блоке № 3 реактора PWR, в дальнейшем повлекшая аварийную остановку реактора. Одна авария случилась по вине персонала 9 февраля 1991 г. на АЭС «Михама» на блоке № 2. Из-за ошибки оператора произошло повреждение трубных поверхностей реактора PWR. В результате аварии была снижена мощность реактора и произошел выброс радиоактивности в окружающую среду [2].

В Финляндии была зарегистрирована одна авария и один инцидент. Инцидент случился 7 сентября 1989 г. на АЭС «Олкилуото». По техническим неисправностям произошло попаданием металлических частиц в приводы системы управления и защиты реактора BWR, что послужило аварийной остановке реактора. Авария возникла в 1990 г. на АЭС «Ловиса» по техническим неисправностям на блоке № 1 из-за эрозионно-коррозионного износа разрушился основной трубопровод водяного подогревателя реактора PWR [2].

В Швейцарии зафиксировано две аварии. Первая – 21 января 1969 г. на АЭС «Лусенс» произошла по вине персонала. Авария связана с повреждением активной зоны реактора NRX, что повлекло за собой выброс радиоактивных веществ в атмосферу и остановку АЭС. Вторая – 29 июля 1971 г. на АЭС «Мюленберге», из-за тех-

нической неисправности вследствие сильной вибрации маслопровода случился прорыв масляной трубки, выброшенное под давлением масло попало на горячие поверхности турбины, что привело к ее возгоранию [16].

В Словакии в 1976 г. на АЭС «Богуннице» произошла одна крупная авария. В результате неисправности систем автоматики случилась утечка теплоносителя и замедлителя в здании реактора PWR, что привело к его аварийной остановке с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу [2].

В Аргентине 2 августа 1988 г. на АЭС «Атуча» из-за технических неисправностей случилась авария с повреждением активной зоны реактора типа PWR, что привело к дальнейшей его остановке [2].

В Испании 19 октября 1989 г. произошла авария на АЭС «Ванделос». В машинном зале электростанции по технической неисправности случилось возгорание на блоке № 1 реактора типа GCR, что привело к крупному пожару и аварийной остановке реактора [2].

В Индии в начале 1990 г. на АЭС «Мадрас» по технической неисправности возникло разрушение раздаточного коллектора реактора типа Candu с дальнейшей его аварийной остановкой [2, 14–16].

За период с 1952 г. по 1991 г. произошло 88 аварийных ситуаций на АЭС из них 70 аварий и 18 инцидентов. Аварийные ситуации произошли в 13 странах (рис. 1).

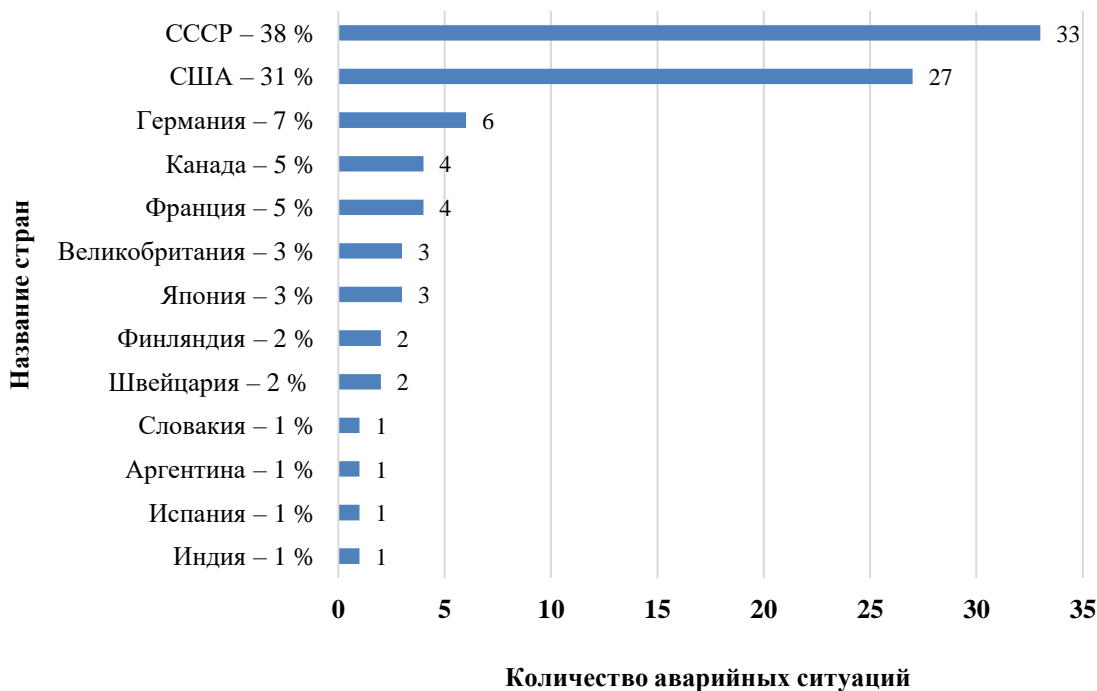


Рисунок 1. Страны, в которых возникали аварийные ситуации на АЭС

За период с 1952–1991 гг. было зафиксировано 70 аварий и 18 инцидентов на АЭС. По одной аварии в 1952, 1955, 1957, 1961, 1966, 1971, 1972, 1974, 1976, 1979, 1980, 1981, 1987 гг.; две аварии зафиксировано в 1969 г., по три аварии в 1975, 1978, 1985, 1991 гг., по пять – в 1984, 1988, 1989 гг., шесть аварий произошло в

1983 г., по семь в 1982 и 1990 гг. И самое большое количество аварий было зарегистрировано в 1986 г. – восемь (рис. 2). По одному инциденту происходило в 1977, 1980, 1985 гг., по два – в 1982, 1988 г., три инцидента было отмечено в 1987 г. и самое большое количество в 1989 и 1990 гг. – по четыре инцидента (рис. 3).

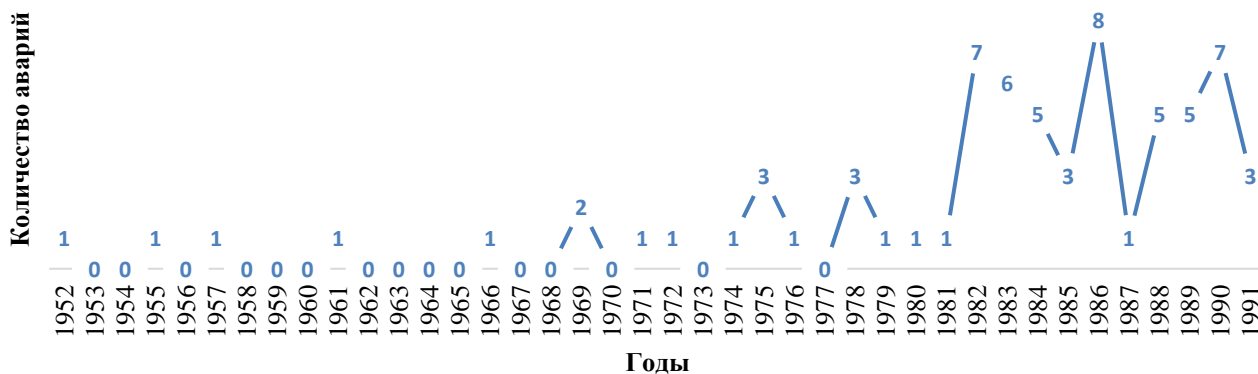


Рисунок 2. Количество аварий на АЭС по годам

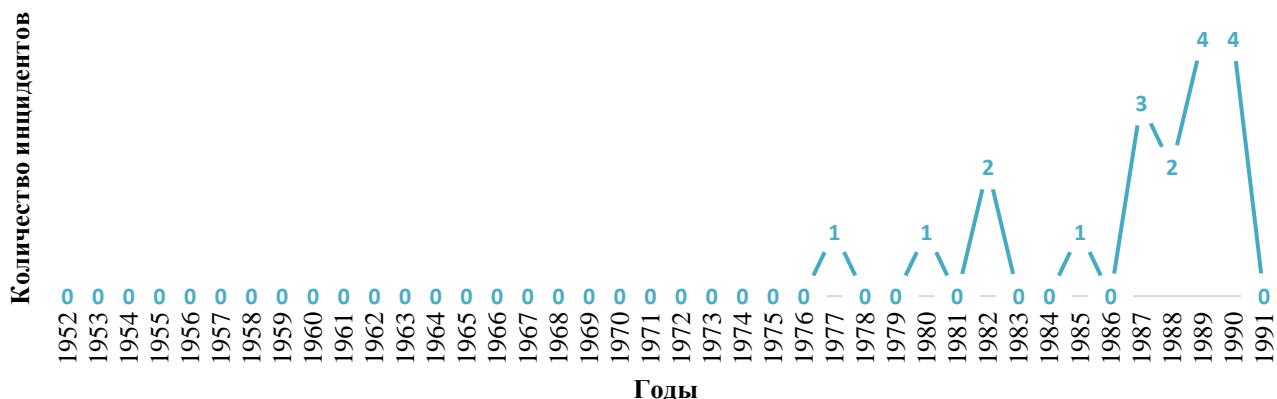
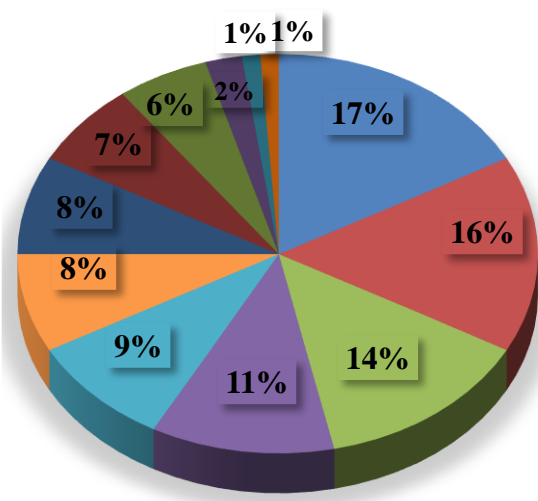


Рисунок 3. Количество инцидентов на АЭС по годам

Чаще всего объектами аварий становилась активная зона реактора – 17 %, трубопроводные системы – 16 %, отказ систем управления и сбоя автоматики – 14 %, парогенераторы и паропроводные системы – 11 %, контур реактора и системы

охлаждения – 9 %, насосы и насосные системы – 8 %, технологический канал – 8 %, трансформаторы и кабельные каналы – 7 %, корпуса реактора – 6 %, механизмы системы давления – 2 %, турбина реактора – 1 %, другие случаи возникновения аварии – 1 % (рис. 4).



- Активная зона реактора – 17 %
- Трубопроводные системы – 16 %
- Отказ систем управления и сбоя автоматики – 14 %
- Парогенераторы и паропроводные системы – 11 %
- Контур реактора и системы охлаждения – 9 %
- Насосы и насосные системы – 8 %
- Технологический канал – 8 %
- Трансформаторы и кабельные каналы – 7 %
- Корпуса реактора – 6 %
- Механизмы системы давления – 2 %
- Турбина реактора – 1 %
- Другие случаи возникновения аварии – 1 %

Рисунок 4. Основные объекты возникновения аварий на АЭС

За период 1952–1991 гг. аварии и инциденты чаще всего происходили по техническим неисправностям. Количество

аварий, произошедших по техническим неисправностям, – 60 %; по вине персонала – 29 %; из-за коротких замыканий – 6 %; из-

за сбоя автоматики – 4 %; аварии, связанные с природными условиями (сильным морозом) – 1% (рис. 5). Большинство аварий на АЭС происходило по техническим неисправностям – 42; по вине персонала –

20; из-за короткого замыкания – 4; из-за сбоя автоматики – 3 и одна авария была связанная с природными условиями (сильным морозом).

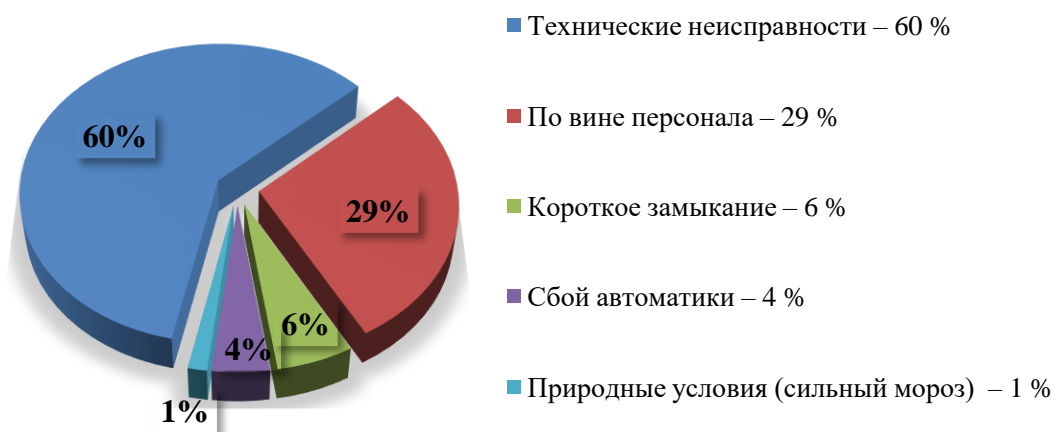


Рисунок 5. Основные причины возникновения аварий на АЭС

Количество инцидентов, произошедших по техническим неисправностям – 61,1 %, по вине персонала – 33,3 % и из-за сбоя автоматики – 5,6 % (рис. 6). Большинство инцидентов на АЭС происходило по

техническим неисправностям – 11, по вине персонала – 6, и один инцидент был связан со сбоем автоматики.



Рисунок 6. Основные причины возникновения инцидентов на АЭС

Большее количество аварийных ситуаций было зарегистрировано на реакторах типа PWR – 22, ВВЭР – 16, ВВР – 9, РБМК – 9, БН-600 – 4, NRX – 3, PHWR – 3,

AGR – 2, «Энрико Ферми – 1» – 1, Magnox – 1, Windscale-1 – 1, EBR-1 – 1, GCR – 1, UNGG – 1 (рис. 7).

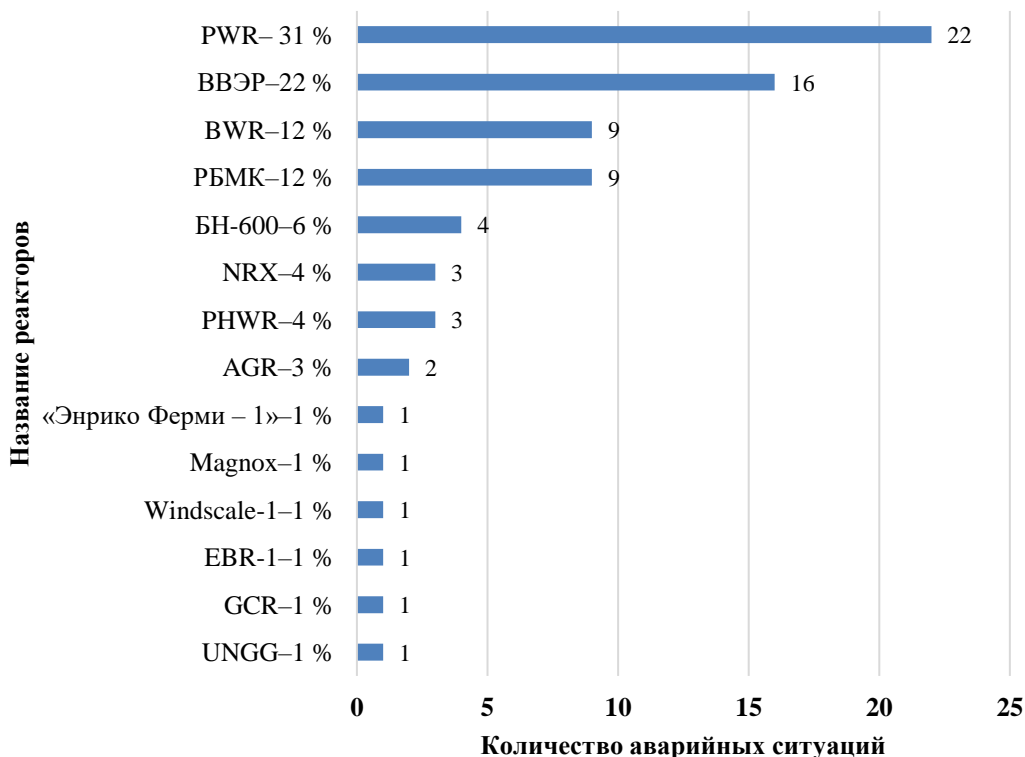


Рисунок 7. Количество аварийных ситуаций на различных реакторах

Были рассмотрены аварийные ситуации, произошедшие на АЭС в разных странах за 1952–1991 гг. Наибольшее количество аварий и инцидентов произошло в таких странах, как СССР и США (69 % всех аварий и инцидентов). Основным объектам возникновения аварийной ситуации становилась: активная зона реактора (17 % всех аварийных ситуаций). Основными причинами возникновения аварий и инцидентов были:

технические неисправности (60 % всех аварий: дефекты корпуса и контура реактора, неисправности активной зоны и системах охлаждения реактора). Наибольшее количество аварийных ситуаций произошло на реакторах «PWR» – 31 %, «ВВЭР» – 22 %, «BWR» – 12 %, «РБМК» – 12 % всех аварий и инцидентов. Проведенный системный и статистический анализ позволил выделить основные показатели возникновения аварийных ситуаций на АЭС [17–20].

Литература

1. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС // Энергоатомиздат. М., 1990. 432 с.
2. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»: официальный сайт. URL: <http://www.rosatom.ru/>.
3. Межведомственная информационная система по вопросам обеспечения радиационной безопасности населения и проблемам преодоления последствий радиационных аварий. URL: <http://rb.mchs.gov.ru/folder/8961>.
4. Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века. Министерство РФ по атомной энергии. М., 2001. С. 20–28.

5. Титов С. А., Барбин Н. М., Кобелев А. М., Кириллов В. С. Произошедшие аварии на атомных электрических станциях в России с 1992 по 2019 г. // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. мат. Всероссийской научно-практической конференции. Железнодорожск, 2021. С. 232–236.
6. Титов С. А., Барбин Н. М., Зубарев И. А., Кобелев А. М. Аварийные ситуации на АЭС в США, России и в странах западной Европы за период 1972–1982 гг. // Сборник статей по материалам XVI Международная научно-практическая конференция. Воронеж, 2020. С. 256–258.
7. Калинин Б. А., Польский В. И., Якушин В. Л., Чернов И. И. Материаловедческие проблемы экологии в области ядерной энергетики. М., 2010. С. 99–102.
8. Хорзова Л. И. Пожарная безопасность радиационно опасных объектов. Волгоград, 2018. С. 25.
9. Носовский А. В., Васильченко В. Н., Ключников А. А., Пристер Б. С. Безопасность атомных станций. Авария на Чернобыльской АЭС: опыт преодоления // Извлеченные уроки. Киев, 2006. С. 18–36.
10. Пристер Б. С. и др. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля: монография. Чернобыль, 2016. С. 31.
11. Шойгу С. К. Чернобыль 25 лет спустя. М., 2011. С. 5.
12. Носовский А. В. Вопросы дозиметрии и радиационная безопасность на атомных электрических станциях. Славутич, 1998. С. 3–35.
13. Ключников А. А., Пазухин Э. М., Шигера Ю. М., Шигера В. Ю. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними. Чернобыль, 2005. С. 50–77.
14. Андрияшин И. А., Чернышев А. К., Юдин Ю. А. Укрощение ядра // Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР. Саратов, 2003. С. 354.
15. Барбин Н. М., Титов С. А., Кобелев А. М. Аварии, произошедшие на атомных электростанциях в 1952–1972 гг. IOP Conf. Серия: Наука о Земле и окружающей среде 666 (2021) 022018 doi:10.1088/1755-1315/666/2/022018.
16. Соловьева С. П. Аварии и инциденты на атомных электростанциях. Обнинск, 1992. С. 35–273.
17. Кобелев А. М. и др. Экологические последствия при возможной запроектной аварии на атомных электростанциях с реакторами типа РБМК-1000 И ЭГП-6 // Сб. ст. по мат. XVI Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2020. С. 391–394.
18. МАГАТЭ Уроки реагирования на радиационные аварийные ситуации (1945–2010 гг.) МАГАТЭ. Вена, 2013. С. 99.
19. МАГАТЭ Безопасность атомных электростанций: проектирование. Серия норм безопасности МАГАТЭ. № SSR-2/1. Вена, 2012. С. 13.
20. Шавалеев М. Р. Уменьшение количеств радиоактивного графита и степени загрязнения окружающей среды // Техносферная безопасность. 2014. № 4 (5) С. 50–52.

References

1. Mikeev A. K. Fire protection of nuclear power plants // Energoatomizdat. M., 1990. 432 p.
2. State Atomic Energy Corporation "Rosatom": official website. URL: <http://www.rosatom.ru/>.
3. Interdepartmental information system on issues of ensuring radiation safety of the population and problems of overcoming the consequences of radiation accidents. URL: <http://rb.mchs.gov.ru/folder/8961>.
4. Strategy for the development of nuclear energy in Russia in the first half of the XXI century. Ministry of the Russian Federation for Nuclear Power Engineering, M., 2001. P. 20–28.
5. Titov S. A., Barbin N. M., Kobelev A. M., Kirillov V. S. Accidents at nuclear power plants in Russia from 1992 to 2019 // Actual problems of fire safety and protection from emergencies. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. Zheleznogorsk, 2021. P. 232–236.
6. Titov S. A., Barbin N. M., Zubarev I. A., Kobelev A. M. Emergency situations at nuclear power plants in the USA, Russia and in the countries of Western Europe for the period 1972–1982 // Collection of articles based on the materials of the XVI International Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2020. P. 256–258.
7. Kalin B. A., Polsky V. I., Yakushin V. L., Chernov I. I. Material Science problems of ecology in the field of nuclear energy // Textbook. M., 2010. P. 99–102.
8. Khorzov L. I., Fire safety of radiation-hazardous objects // Training manual. Volgograd, 2018. 25 p.
9. Nosovsky A. V., Vasilchenko V. N., Klyuchnikov A. A., Prister B. S. Safety of nuclear power plants. The accident at the Chernobyl nuclear power plant: the experience of overcoming // Lessons learned. Kiev, 2006. P. 18–36.
10. Prister B. S. et al. Problems of nuclear energy safety. Lessons of Chernobyl: a monograph. Chernobyl, 2016. P. 31.

11. Shoigu S. K. Chernobyl 25 years later. M., 2011. P. 5.
12. Nosovsky A. V. Questions of dosimetry and radiation safety at nuclear power plants // Textbook Ukratomizdat. Slavutich, 1998. P. 3–35.
13. Klyuchnikov A. A., Pazukhin E. M., Shigera Yu. M., Shigera V. Yu. Radioactive waste of nuclear power plants and methods of handling them. Chernobyl, 2005. P. 50–77.
14. Andryushin I. A., Chernyshev A. K., Yudin Yu. A. Taming the core // Pages of the history of nuclear weapons and nuclear infrastructure of the USSR. Saratov, 2003. 354 p.
15. Barbin N. M., Titov S. A., Kobelev A. M. 2021 Accidents that occurred at nuclear power plants in 1952–1972. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 666 (2021) 022018.
16. Solovyova S. P. Accidents and incidents at nuclear power plants. Obninsk, 1992. P. 35–273.
17. Kobelev A. M. et al. Ecological consequences of a possible beyond-design accident at nuclear power plants with RBMK-1000 and EGP-6 type reactors // Collection of articles based on the materials of the XVI International Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2020. P. 391–394.
18. IAEA Lessons in Responding to Radiation Emergencies (1945–2010) IAEA. Vienna, 2013. 99 p.
19. IAEA Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series, No. SSR-2/1. Vienna, 2012. 13 p.
20. Shavaleev M. R. Reducing the amount of radioactive graphite and the degree of environmental pollution. 2014. № 4 (5). P. 50–52.