

Г.А. ЕРШОВ, Ю.Л. ЕРМАКОВИЧ, М.А. ПАРФЕНТЬЕВ

ОАО «СПбАЭП», г. Санкт-Петербург

**ВНЕШНИЕ ТЕХНОГЕННЫЕ АВАРИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ АЭС –
ТРЕБОВАНИЯ НТД РОССИИ И МАГАТЭ, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И
ПОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА**

Изложено основное содержание требований НТД России и МАГАТЭ к анализу возможного влияния техногенных аварий, происходящих за пределами АЭС, на безопасность атомной станции, краткое описание подходов, используемых при анализе влияния на безопасность АЭС внешних воздействий техногенного характера. Показана их роль и место при обеспечении и обосновании безопасности АЭС. На примере Кольской, Белоярской, Ленинградской и Балтийской АЭС показано, каким образом должны использоваться детерминистические расчеты параметров пожаров по внешним причинам, взрывов на объекте, выбросов взрывоопасных, воспламеняющихся газов и аэрозолей, выбросов токсичных паров и газов на безопасность энергоблоков АЭС и каким образом может определяться вероятность этих аварий.

Необходимость оценки влияния внешних инициирующих событий (ИС) техногенного характера на безопасность АЭС определена рядом нормативно-технических документов (НТД) РФ. К основным НТД следует отнести НП-064-05 «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии» и НП-032-01 «Размещение атомных станций, основные критерии и требования по обеспечению безопасности», а также такие руководства МАГАТЭ, как NS-G-3.1 «Внешние события техногенного происхождения в оценке площадки для атомных электростанций», Вена, МАГАТЭ, 2004 г. и № 50-SG-D5 «Учет внешних событий, вызванных деятельностью человека, при проектировании атомных электростанций», Вена, МАГАТЭ, 1983 г.

Эти документы требуют производить анализ опасности для АЭС следующих техногенных воздействий:

- падение летательного аппарата и других летящих предметов;
- пожар по внешним причинам;
- взрыв на объекте;
- выбросы взрывоопасных, воспламеняющихся, токсичных паров, газов и аэрозолей в атмосферу, взрыв дрейфующих облаков;
- коррозионные жидкие сбросы в поверхностные и грунтовые воды;
- электромагнитное излучение;
- разлив масел и нефтепродуктов на прибрежных поверхностях рек, морей и океанов;
- прорыв естественных или искусственных водохранилищ.

При выполнении этого анализа должны выполняться, как расчет параметров аварий, так и оценка вероятности их возникновения.

В соответствии с этими требованиями в ОАО «СПбАЭП» за последние годы проведены расчеты параметров техногенных аварий, которые потенциально возможны вблизи площадок Кольской, Белоярской, Ленинградской и Балтийской АЭС. При этом были использованы программные комплексы (ПК) «RizEx2», «ТОКСИ+» и Forest. Полученные результаты исследований были представлены на экспертизу в Ростехнадзор и получили его одобрение.

Выше был представлен укрупненный перечень внешних ИС техногенного характера. На практике рассматриваются гораздо более подробные перечни. Так, например, внешние пожары могут возникнуть вследствие того, что в районе размещения АЭС (в 2-километровой зоне) находятся (могут находиться): лесные массивы; торфяники; склады со взрывчатыми веществами (твердыми, жидкими и газообразными); трассы продуктопроводов (бензопроводы и т.д.); трассы магистральных нефтепроводов; трассы магистральных газопроводов; трассы железных дорог; трассы автодорог; речные (озерные) пути; аэродромы, линии воздушных сообщений и перелетов; жилые массивы; промышленные предприятия; производства по добыче угля; производства по добыче торфа; нефтеперерабатывающие заводы; химические предприятия; склады нефтепродуктов; цехи приготовления и транспортирования угольной пыли, древесной муки, сахарной пудры; лесопильные, деревообрабатывающие, лесотарные и др. подобные производства; водные поверхности с пятнами масел и других нефтепродуктов.

Такая же картина имеет место и для других причин внешних техногенных аварий. Поэтому анализ их опасности для АЭС начинается с составления возможно более полного перечня источников внешней опасности и его изучения на предмет возможного сокращения.

Часть указанных источников исключается на основании анализа параметров территории вокруг площадки АЭС. Так, например, анализ площадки вокруг Кольской АЭС показал, что из всех вышеперечисленных источников внешних пожаров в пределах 2-километровой зоны находятся только лесные массивы; торфяники; трасса автодороги Санкт-Петербург – Мурманск; подъездной железнодорожный путь; аэродромы, линии воздушных сообщений и перелетов.

После составления списка «реальных» внешних опасностей производится расчет их параметров. Состав рассчитываемых параметров задан НТД. Для пожароопасных объектов, например, должны быть определены следующие параметры:

- количество и состав горючих веществ;
- расстояние до объектов возможного воздействия внешних пожаров на площадке АЭС;
- «роза ветров» и другие метеорологические условия;
- вероятность (частота) возникновения пожара;
- вероятность распространения пожара в направлении АЭС;
- план застройки на пути распространения пожара;
- эквивалентная площадь поверхности, пораженной огнем;
- тепловой поток в источнике пожара и характер его изменения по направлению к площадке АЭС;
- длительность горения;
- форма огня;
- температура газовой среды;
- степень задымления;
- концентрация образующихся при пожаре токсичных газов и т.д.

Анализ данного перечня показывает, что проведение детерминистического анализа опасности внешних ИС представляет собой нетривиальную задачу и требует использования специального программного обеспечения.

В СПбАЭП, как уже указывалось, используются три ПК. Это обусловлено тем, что ни один из них не покрывает весь круг задач, которые нужно решать при обосновании безопасности АЭС при внешних воздействиях. Необходимость использования трех ПК обусловлена и тем, например, что ПК «RizEx2» не аттестован Ростехнадзором. В то же время, часть задач решается всеми тремя программами.

Специалистами СПбАЭП разработан программный комплекс (ПК) Forest, предназначенный для расчета параметров:

- пожаров пролива;
- пожаров типа «огненный шар»;
- горения цистерн с ЛВМ;
- низовых лесных пожаров;
- верховых (беглых и устойчивых) лесных пожаров;
- почвенных (торфяных) пожаров;
- пожаров в зданиях;
- рассеивания вредных веществ, выделяющихся при пожарах, в окружающей среде;
- взрывов подземных и наземных резервуаров с горюче-смазочными материалами;
- взрывов резервуаров со сжатым газом;
- разлета осколков;
- аварий на газопроводах.

Все это обеспечивает получение детерминированной информации, необходимой для оценки и обеспечения безопасности АЭС.

Математический аппарат, лежащий в основе ПК Forest, базируется на утвержденных и/или широко распространенных расчетных методиках, часть которых приведена в списке литературы.

Основное рабочее окно ПК Forest представлено на рис. 1.

The screenshot shows the 'Forest' software window with the 'Пожар в здании' (Fire in building) tab selected. The 'Вещество' (Substance) is set to 'Бензин' (Gasoline) and the 'Модель' (Model) is 'Пожар пролива' (Spill fire). The 'Параметры аварии' (Accident parameters) section includes input fields for 'Объем потерянного продукта, м3' (Volume of lost product, m³), 'Коэффициент эффективной массы' (Effective mass coefficient), 'Диаметр горловины цистерны, м' (Cistern neck diameter, m), 'Расстояние от центра пожара, м' (Distance from fire center, m), and 'Температура воздуха, °C' (Air temperature, °C). The 'Параметры веществ' (Substance parameters) table is visible, showing properties for gasoline. Below the table is a grid for 'Среднеповерхностная плотность теплового излучения для диаметра очага пожара (м), кВт/м²' (Average surface density of thermal radiation for fire spot diameter (m), kW/m²) with values for diameters 10, 20, 30, 40, 50, 60. Buttons for 'Изменить' (Change), 'Сохранить' (Save), and 'Расчет' (Calculate) are present.

Параметр	Размерность	Значение
Вид вещества	---	Бензин
Марка вещества	---	
Плотность, ρ	кг/м³	720
Удельная массовая скорость выгорания	кг/с м²	0,06

Среднеповерхностная плотность теплового излучения для диаметра очага пожара (м), кВт/м²					
10	20	30	40	50	
60	47	35	28	25	

Рис. 1. Основное рабочее окно ПК Forest

Уникальной особенностью ПК Forest является возможность расчета параметров всех типов лесных пожаров, (см. рис. 2.) При этом, кроме перечисленных выше параметров, обеспечивается и расчет дальности разлета горящих частиц, образующихся при пожаре. Этот параметр зачастую является более опасным, чем непосредственное воздействие на здания и сооружения АЭС теплового потока от кромки пожара. Помимо количества выделившихся при пожарах поллютантов рассчитывается и их концентрация в заданной точке пространства, обеспечивается и графическое представление зависимостей концентрации поллютантов от расстояния по направлению от кромки пожара к площадке АЭС.

В тех случаях, когда параметры аварии могут рассчитываться с помощью всех трех (или двух из трех) ПК, мы выполняем параллельные расчеты с целью повышения качества расчетов и повышения уровня доверия к их результатам.

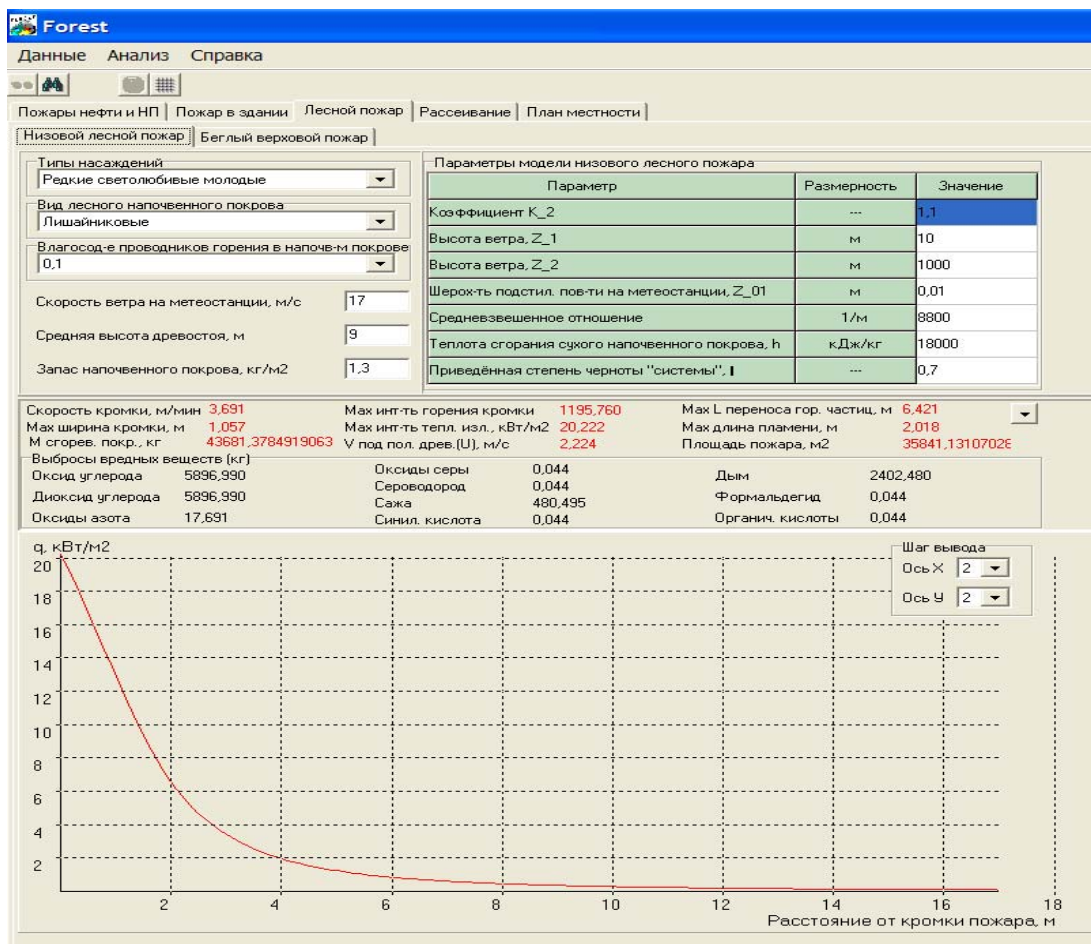


Рис. 2. Результаты расчета параметров низового лесного пожара вблизи площадки Кольской АЭС

Как уже упоминалось, НТД требуют рассчитывать не только параметры, но и вероятности аварий. Однако на практике это производится только в тех случаях, когда параметры воздействий превышают допустимые значения. Дело в том, что в соответствии с требованиями НТД допускается отказ от проведения мероприятий по исключению повреждений при внешних воздействиях на здания и сооружения, важные для безопасности АЭС, если частота запроектных аварий, обусловленных внешними воздействиями природного и техногенного происхождения, достаточно мала (меньше 10^{-6} 1/год).

Например (см. рис. 3), мы видим, что осколки, возникающие при взрыве азотных ресиверов, могут повредить соседние здания и сооружения. В этом случае для оценок вероятностей разрушения ресиверов используются методы вероятностно-прочностной механики разрушений и ПК ANSYS. На рис. 4, например, представлены результаты расчета параметров напряженно-деформированного состояния аргоновых ресиверов, установленных на 3 блоке Белоярской АЭС, а на рис. 5 – зависимость, характеризующая вероятность разрушения ресиверов от давления в них.

Помимо этого рассчитывается и вероятность возникновения повышенного давления в ресиверах вследствие несрабатывания предохранительных клапанов, установленных как на самих ресиверах, так и на газовых системах, связанных с ними. В данном случае также используется несколько ПК – аттестованный Ростехнадзором ПК RiskSpectrum и ПК БАРС, разработанный в СПбАЭП. Расчеты производятся для нескольких вариантов, с учетом и без учета отказов общего вида (отказов по общей причине).

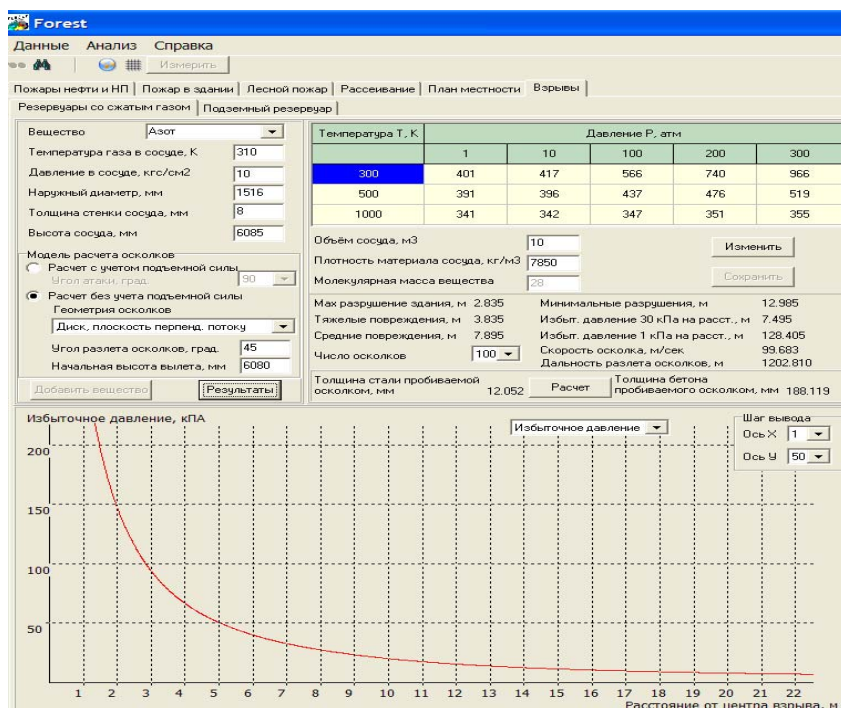


Рис. 3. Исходные данные и результаты расчета параметров взрыва азотных ресиверов, установленных на 3 блоке Белоярской АЭС

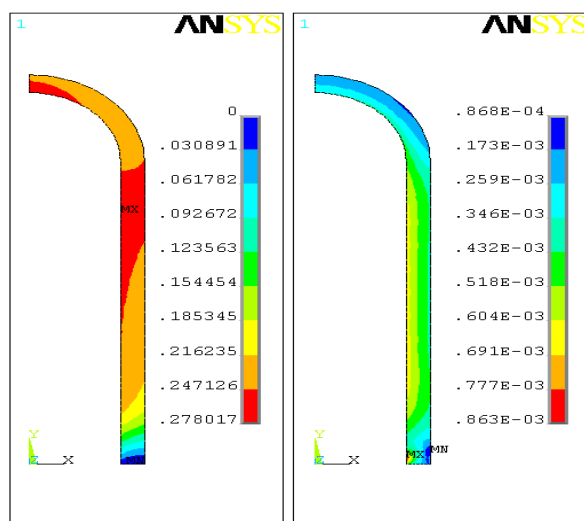


Рис. 4. Параметры напряженно-деформированного состояния ресиверов ЗЧРГ-2А, 2Б при расчетном давлении 200 кгс/см²

Использование двух ПК для вероятностных расчетов обусловлено тем, что в ПК RiskSpectrum реализован целый ряд чрезмерно (на наш взгляд) консервативных допущений. Наличие этих допущений в ряде случаев сильно занижает показатели надежности и безопасности систем. Так, из результатов расчета вероятности несрабатывания 9 предохранительных клапанов, установленных на системе водородных ресиверов 3 энергоблока Белоярской АЭС следует, что без учета общей причины она равна 2,5E-5 (оба ПК дают одинаковый результат), а с учетом общей причины – 4,709E-5 (RiskSpectrum) и 9,5E-10 (БАРС).

В отчетах мы представляем результаты расчетов с помощью обоих ПК, приводя детальные объяснения причин расхождений в результатах.

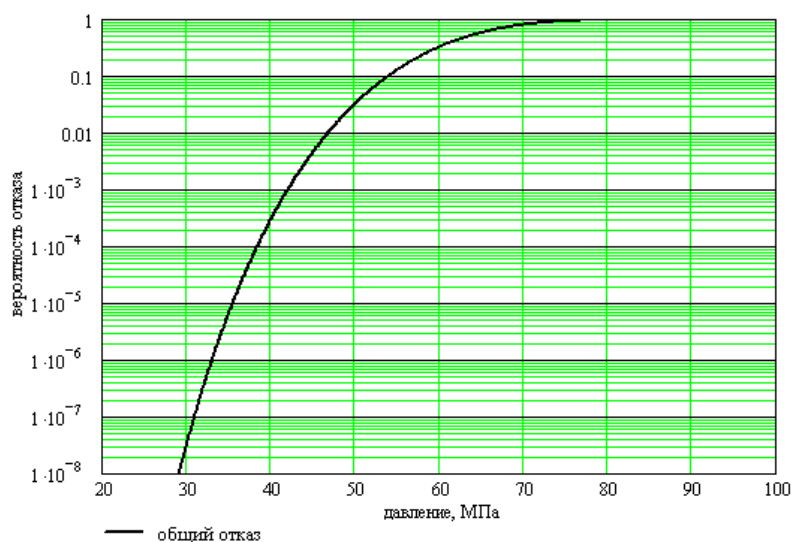


Рис. 5. Кривая общей вероятности отказа ресиверов 3ЧРГ-2А, 3ЧРГ-2Б

Все вышеперечисленные ПК апробированы при анализе безопасности Кольской, Белоярской, Балтийской и Ленинградской АЭС:

- Кольская АЭС – анализ влияния на безопасность АЭС внешних пожаров, взрывов на объектах, выбросов взрывоопасных, воспламеняющихся, токсичных паров, газов и аэрозолей в атмосферу, взрыв дрейфующих облаков при разработке ОУОБ;

- Ленинградская АЭС-2 – анализ влияния на безопасность АЭС внешних пожаров, взрывов на объектах, выбросов взрывоопасных, воспламеняющихся, токсичных паров, газов и аэрозолей в атмосферу, взрыв дрейфующих облаков при выполнении ОБИН и ПООБ;

- Балтийская АЭС – анализ влияния на безопасность АЭС внешних пожаров, взрывов на объектах, выбросов взрывоопасных, воспламеняющихся, токсичных паров, газов и аэрозолей в атмосферу, взрыв дрейфующих облаков при выполнении ОБИН и ПООБ;

- Белоярская АЭС – анализ влияния на безопасность АЭС водородных, аргоновых и азотных ресиверов.

Предполагается, что описанные подходы, методы и ПК будут использоваться и при обосновании безопасности Белорусской, Турецкой, Чешской (Темелин, новые блоки) АЭС с ВВЭР, Сань-Минской (КНР) и энергоблоков России с реакторами БН большой мощности.

Выводы

1. Наличие нескольких программных комплексов позволяет специалистам ОАО «СПбАЭП» выполнять практически полный комплекс исследований по оценке влияния техногенных аварий на безопасность АЭС.

2. Институтом накоплен достаточный опыт выполнения исследований техногенных аварий как для действующих, так и для проектируемых АЭС.

3. Помимо АЭС анализ опасности техногенных аварий может и должен проводиться для других опасных производственных объектов.

1. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Изд-во стандартов, 1991.

2. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического воздействия. РБ Г-05-039-96. М.: Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности. 2000. – 43 с.

3. Методика оценки последствий взрывов топливно-воздушных смесей с изменениями и дополнениями (РД 03-409-01). Утверждена и введена в действие постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.01 №25.
4. Нормы пожарной безопасности НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности». Приказ МЧС РФ от 18 июня 2003 г. N 314.
5. ПБ 09-540-03 Общие правила взрывобезопасности для взрывоопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.
6. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах. Сборник документов. М.: ГУП «НТЦ ПБ», 2005.
7. Руководство по определению параметров ударных волн при внешних взрывах и нагрузок на строительные конструкции АС. РД 95 10528-96. Министерство РФ по атомной энергии. М.: Московский государственный строительный университет. 1995.
8. Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П. и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. В 2-х кн. Пер. с англ. М.: Мир, 1986.
9. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справ. изд./ А.Н. Баратов, Е.Н. Иванов, А.Я. Корольченко и др. М.: Химия, 1987. – 272 с.
10. Определение категорий помещений и зданий предприятий и объектов железнодорожного транспорта по взрывопожарной и пожарной опасности ВНТП 05-97. М.: 1997.
11. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. Руководящий документ. М.: ФГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2005. – 120 с.
12. Гусев В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах. – СПб.: ФГУ «СПбНИИЛХ», 2005. – 199 с.

Г.А. Ершов, Ю.Л. Єрмаковіч, М.А. Парфентьев

ЗОВНІШНІ ТЕХНОГЕННІ АВАРІЇ І БЕЗПЕКА АЕС - ВИМОГИ НТД РОСІЇ ТА МАГАТЕ, МЕТОДИ ОЦІНКИ І ПОГРАМНІ ЗАСОБИ

Викладено основний зміст вимог НТД Росії і МАГАТЕ до аналізу можливого впливу техногенних аварій, що відбуваються за межами АЕС, на безпеку атомної станції, короткий опис підходів, що використовуються при аналізі впливу на безпеку АЕС зовнішніх впливів техногенного характеру. Показана їх роль і місце при забезпеченні та обґрунтуванні безпеки АЕС. На прикладі Кольської, Білоярської, Ленінградської і Балтійської АЕС показано, яким чином мають використовуватися детерміністичні розрахунки параметрів пожеж через зовнішні причини, вибухів на об'єкті, викидів вибухонебезпечних, займистих газів і аерозолів, викидів токсичних парів і газів на безпеку енергоблоків АЕС і яким чином може визначатися ймовірність цих аварій.

G.A. Ershov, Yu.L. Ermakovich, M.A. Parfentiev

EXTERNAL TECHNOGENIC ACCIDENTS AND SECURITY OF NPP - REQUIREMENTS OF RUSSIAN AND IAEA's STD, ASSESSMENT METHODS AND SOFTWARE

The main idea of Russian and the IAEA's STD requirements on analysis of the possible impact of technogenic accidents occurring outside the NPP on the safety of nuclear power plant, a brief description of the approaches that were used during the analyzing the impact on the safety of nuclear power plants are described. Their importance and role in providing and feasibility of NPPs safety are shown. On examples, there are shown how to use deterministic calculations of the fires' parameters due to external reasons, explosions at the facility, emission of explosive flammable gases and aerosols, emissions of toxic fumes and gases on nuclear reactors safety, and how the probability of these accidents can be determined.