

УДК 504.5:004.4(470.57)

Н. И. ЮСУПОВА, С. А. МИТАКОВИЧ, К. Р. ЕНИКЕЕВА**СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ
РАЗРАБОТКИ ПАСПОРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ
ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Рассматривается процесс разработки паспорта безопасности опасного производственного объекта. Разработана функциональная модель системы информационной поддержки создания паспорта безопасности. Предлагаются примеры информационной поддержки на различных этапах процесса. *Опасный производственный объект ; паспорт безопасности ; информационная поддержка*

В регионе, насыщенном промышленными предприятиями, (таким, как Республика Башкортостан, в частности) всегда существует риск возникновения чрезвычайных ситуаций (аварий), связанных с эксплуатацией опасных производственных объектов. Они представляют угрозу для жизни и здоровья населения, экономики и экологии региона.

Существенной причиной роста опасности является неприемлемый уровень износа основных производственных фондов. Так, например, по одной из профильных отраслей для республики — нефтегазовой — средний коэффициент износа оборудования достигает 70 %, по отдельным предприятиям — 80% [1]. Несвоевременные реконструкция производств, модернизация и замена технологического оборудования, проведение текущих и плановых ремонтов, нарушение технологической и производственной дисциплины — все это создает опасность возникновения чрезвычайных ситуаций. При этом наметившийся экономический рост, также может стать объективной причиной увеличения аварийности и травматизма в современной России [2].

В данной статье рассматривается проблема разработки паспортов безопасности опасных производственных объектов (ПБ ОПО) как одного из важнейших мероприятий в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций [3].

**1. ПАСПОРТА БЕЗОПАСНОСТИ
ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Паспорт безопасности представляет собой документ, разрабатываемый для предприятия, на котором обращаются опасные вещества (радиоактивные, пожаровзрывоопасные, опасные химические и биологические вещества), а также для гидротехнических сооружений.

Паспорт имеет следующую структуру:

- непосредственно паспорт, в который заносятся сведения по разделам (общая характеристика опасного объекта; показатели степени риска ЧС; характеристика аварийности, травматизма и пожаров; характеристика организационно-технических мероприятий, обеспечивающих безопасность объекта и готовность к ликвидации последствий ЧС);
- расчетно-пояснительная записка, включающая материалы, обосновывающие и подтверждающие показатели степени риска ЧС, представленные в паспорте;
- графические приложения (карты, ситуационные планы с нанесенными на них зонами последствий возможных чрезвычайных ситуаций, а также зонами индивидуального риска, диаграммы социального риска).

Паспорта безопасности опасных объектов разрабатывают с целью проведения всестороннего анализа опасностей, определения показателей степени риска аварий для персонала опасного объекта и проживающего вблизи населения, разработки мероприятий по снижению уровня риска и смягчению последствий ЧС на опасном объекте. Это достигается путем анализа возможных сценариев воз-

никновения и развития аварий на производстве, определения вероятности их реализации, расчета последствий.

Таким образом, паспорта служат источниками информации об опасных объектах и могут применяться для разработки системы мер, направленных на предупреждение аварий, выработки стратегии реагирования на ЧС (определения состава и объема аварийно-спасательных и других неотложных работ), расчета и подготовки сил и средств ликвидации последствий возможных аварий. Также они являются основой для разработки паспортов безопасности территорий.

Разработка паспорта безопасности опасного объекта является весьма трудоемким и разноплановым процессом, в котором используются как аналитические и вычислительные, так и изобразительные (карты, ситуационные планы, диаграммы) модули. Для повышения эффективности этого процесса, а также достоверности оценок и решений целесообразно использовать возможности современных информационных технологий.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ РАЗРАБОТКИ ПАСПОРТА БЕЗОПАСНОСТИ

Для решения задач автоматизированной поддержки при разработке паспортов безопасности опасных объектов (ПРПБ) в части фиксации функциональной структуры системы предлагается строить функциональную модель процесса разработки паспорта безопасности, включающую в себя декомпозицию функций (действий) до элементарных операций, описание информационного взаимодействия. Такое представление реализуется посредством IDEF0-метода, называемого методом функционального моделирования.

Функциональная модель описывается формулой [4]:

$$\text{ФМ} \in [\Phi, \text{ФС}, \text{СС}, \text{О}, \text{С}], \quad (1)$$

где Φ — функции; ФС — функциональные связи; СС — статистические свойства; О — отношения; С — семантика.

Функциональная IDEF0-схема представляет собой ориентированный граф вида: $G = \{F, D, L\}$,

где $F = \{F1, F2, \dots\}$ — множество вершин; $D = \{CB1, CB2, \dots\}$ — множество ориентированных дуг; $L = F \times D \cup D \times F$ — отношение инцидентности.

На рис. 1, 2 изображены основные элементы IDEF0.

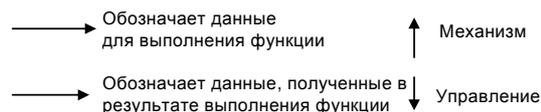


Рис. 1. ICOM-метки



Рис. 2. Функциональный блок (Activity Box)

Функциональная модель IDEF0 отображает функциональную структуру системы, то есть производимые системой действия и связи между этими действиями. При разработке функциональной модели ПРПБ были выделены 5 основных функций:

- определение опасных точек объекта;
- определение сценариев аварий;
- расчет последствий аварий;
- расчет показателей риска;
- выработка рекомендаций по снижению риска (при необходимости).

Фрагмент разработанной функциональной модели процесса с использованием стандарта IDEF0 приведен на рис. 3.

Разработанная функциональная модель ПРПБ представляет собой иерархическую систему диаграмм, описывающих процесс информационной поддержки при разработке паспортов безопасности. Результаты моделирования определяют иерархию функций ПРПБ и позволяют выделить функции соответствующих модулей системы. На основе функций, определенных в функциональной модели процесса, разрабатывается информационная модель.

Далее приводится описание трех основополагающих этапов создания паспорта безопасности (соответствующих первым трем блокам модели), которые могут представить наибольшие трудности для разработчика ПБ ОПО.

2.1. Выявление опасных точек объекта

Под опасными точками в данном контексте понимаются агрегаты, в которых обращается опасное вещество, и которые могут стать «эпицентрами» возможных аварий: резервуары, ресиверы, цистерны, трубопроводы и т. д.

Следует отметить, что для дальнейшего рассмотрения берутся только наиболее показательные узлы, аварии на которых могут повлечь наибольший ущерб, либо вероятности их возникновения являются наибольшими.

Они определяются исходя из анализа технологической схемы производства, журнала происшествий объекта, посредством опроса мастеров участков (персонала), а также условий функционирования объекта (степень износа оборудования, интенсивность эксплуатации и пр.). Следует отметить, что применение вышеперечисленных способов не всегда представляется возможным, в таком случае можно воспользоваться данными о реальных авариях на аналогичных объектах, статистикой, мнением экспертов.

Для поддержки принятия решения о том, какие опасные точки будут рассматриваться, предполагается создать пополняемую базу знаний, в которую будут внесены «узкие» места опасных объектов различных видов (ТЭЦ, пищевых комбинатов, нефтеперекачивающих станций и т. д.). При начале анализа конкретного опасного объекта можно будет получить список базовых опасных точек, который может быть уточнен или дополнен, исходя из реальных условий. Так, например, для АЗС это следующие узлы: резервуары хранения нефтепродуктов, автоцистерна (привозящая топливо), топливораздаточные колонки (ТРК).

2.2. Определение сценариев развития аварий

Этот этап включает в себя следующие процедуры: определение вероятности возникновения аварии (для каждой из опасных точек, выявленных ранее), вариантов (сценариев) ее развития и вероятности реализации для каждого из сценариев.

Наиболее сложной задачей является установление самой вероятности возникновения аварии. Существует несколько подходов к решению этой задачи [5]. Одним из них является экспертное оценивание (получение так называемых субъективных вероятностей). В настоящее время существует программный комплекс для оценки и анализа техногенного риска различных опасных производственных объектов tHAZARD 3.0 (разработка МГТУ им. Н.Э. Баумана и ГУП НТЦ «Промышленная безопасность» Госгортехнадзора России). Он представляет собой экспертную систему оценки риска, вычислительным ядром которой является имитационная модель процесса

возникновения происшествий в человеко-машинных системах [6].

После процедур оценки исходных факторов опасности и определения с помощью имитационной модели вероятности возникновения происшествия на опасном производственном объекте, с помощью данной программы возможна постановка задачи оптимизационного выбора предполагаемого комплекса мер безопасности на рассматриваемом объекте [6]. То есть осуществляется поддержка пятого этапа разработки паспорта — составления рекомендаций по снижению уровня риска.

Вероятность возникновения аварии и реализации того или иного сценария ее развития предлагается осуществлять на основании имеющихся статистических данных об отказах оборудования и частоте возникновения аварийных ситуаций при его эксплуатации, совместно с применением метода экспертного оценивания.

Допустим, известно, что по статистике частота (вероятность) разгерметизации резервуара $1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹.

Чтобы значение более соответствовало конкретному опасному объекту, проводится экспертная оценка следующим образом. Составляется опросный лист для работников предприятия. Листы раздаются начальникам, мастерам, рабочим. Фрагмент опросного листа для рабочих представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фрагмент опросного листа персонала опасного объекта

Удобно ли Ваше рабочее место?	Очень удобно	
	Удобно	ν
	В целом удобно	
	Неудобно	
	Очень неудобно	
Знаете ли Вы, что нужно делать в случае аварийной ситуации?	Да, знаю точно всю последовательность действий	
	Знаю примерно, что нужно делать	ν
	Ничего об этом не знаю	
...		

При этом, экспертами уже присвоены числовые значения каждому пункту (как в программе tHAZARD). Учитывается также про-

цент износа агрегатов, соблюдения графика техобслуживания, ремонта, замены оборудования.

Данные по предприятию вносятся в программу, и путем имитационного моделирования рассчитывается вероятность возникновения аварии для каждого из опасных узлов. Причем полученное значение является не самой вероятностью, а повышающим или понижающим коэффициентом для статистической вероятности, взятой в целом по аналогичным объектам. Это позволит снизить влияние возможных неточных, неправильных данных, фальсификаций.

Пример: статистическая вероятность разгерметизации резервуара составляет $1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹. На данном конкретном объекте соблюдаются все требования безопасности, график ремонтов, износ оборудования незначителен, персонал хорошо обучен. Путем программного моделирования получаем результат, что вероятность может быть снижена до (например) $5 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹.

Далее определяется содержание самих сценариев развития аварий. Для этого строится «дерево событий». Источники информации для этого этапа такие же, как для выявления опасных точек: данные от подразделений опасного объекта, статистика, мнения экспертов.

На рис. 4 частично приводится «дерево событий» для аварии, связанной с разгерметизацией трубопровода и разливом мазута.

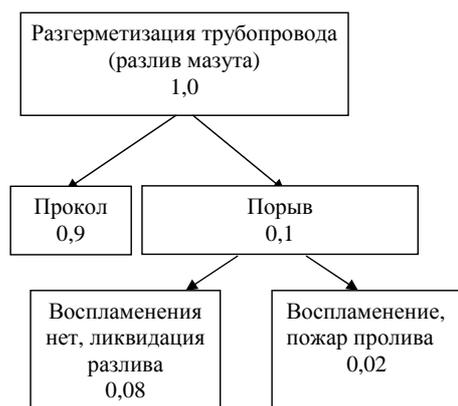


Рис. 4. Фрагмент дерева событий, связанного с разливом мазута

В 90% случаев (с вероятностью 0,9) происходит прокол трубопровода, а в 10% — гильотинный порыв. Далее, если рассматривать последствия порыва, возможно протекание аварии либо с воспламенением мазута, либо без. У всех этих событий есть своя вероятность наступления, определенная, как уже упомина-

лось выше, исходя из особенностей производства, на основании статистики и экспертной оценки.

Сценарии также могут быть представлены в следующем виде для использования в расчетно-пояснительной записке к паспорту безопасности (табл. 2).

Таблица 2

Краткое описание сценариев аварийных ситуаций на мазутопроводе

№ сценария	Описание сценария
С ₁	Полная разгерметизация трубопровода (порыв) при перекачке мазута ⇒ выброс мазута в окружающую среду ⇒ образование пролива ⇒ испарение с поверхности пролива легких углеводородов ⇒ загорание паров углеводородов от источника зажигания ⇒ пожар пролива ⇒ тепловое воздействие на окружающие объекты ⇒ загорание оборудования, трубопроводов, поражение обслуживающего персонала.
С ₂	Полная разгерметизация трубопровода (порыв) при перекачке мазута ⇒ выброс нефтепродукта в окружающую среду ⇒ локализация и ликвидация пролива.
С ₃	Частичная разгерметизация трубопровода (прокол) при перекачке мазута ⇒ выброс мазута в окружающую среду ⇒ образование пролива ⇒ испарение с поверхности пролива легких углеводородов ⇒ загорание паров углеводородов от источника зажигания ⇒ пожар пролива ⇒ тепловое воздействие на окружающие объекты ⇒ загорание оборудования, трубопроводов, поражение обслуживающего персонала.
С ₄	Частичная разгерметизация трубопровода (прокол) при перекачке мазута ⇒ выброс нефтепродукта в окружающую среду ⇒ локализация и ликвидация пролива.

Для информационной поддержки планируется создать базу знаний, содержащую множество «деревьев событий» (сценариев) процесса развития аварий для различных опасных объектов.

2.3. Расчет последствий реализации сценариев развития аварий

Данный этап является одним из важнейших, именно он служит основой для дальнейшей оценки риска. На этой стадии производится расчет параметров поражающих факторов аварий. Она является наиболее трудоемкой и сложной в процессе паспортизации.

Формулы, содержащиеся в методиках расчетов, подчас являются чрезвычайно громоздкими, а вычисления — длительными. Так

же следует учесть, что даже в рамках разработки паспорта одного объекта (например, ТЭЦ) возможно наличие нескольких различных опасных производств (мазутное, газовое хозяйство, химический цех). Соответственно расчет последствий ЧС будет проводиться для поражающих факторов различной природы (тепловое излучение пожара, ударная волна взрыва, токсическое воздействие), по разным схемам. Для этого необходимо задействовать целый комплекс математических моделей (методик), описывающих процессы аварий и их последствий на опасных объектах. Очевидно, использование программно реализованных моделей позволяет осуществлять это наиболее результативно.

Важно отметить, что объединяющим фактором для всех моделей является пространственное описание объекта и его воздействия на окружающую среду, связанное с определением его местоположения, анализом зон поражения и др. В связи с этим практически стандартом при программной реализации моделей стало применение геоинформационных систем (ГИС) либо в качестве дополнительной подсистемы, либо в качестве ядра. Ярким примером таких программ являются: «Токси+», «Взрыв», серия «Эколог» и др. Как правило, они реализуют одну модель (методику), реже — некоторую группу моделей, сходных по тематике. На практике специалист в области промышленной безопасности при оценке конкретного объекта в рамках единого технологического процесса должен проанализировать несколько видов опасностей, а значит, использовать несколько программ. Это неудобно с точки зрения пользователя, который должен владеть навыками работы с различными приложениями. К тому же совместное использование указанных программ и комплексное применение полученных результатов достаточно затруднительно (различные способы и форматы представления результатов, различные проектные подходы к реализации программ), а порой и просто невозможно, и требует «доводки» результатов с привлечением специалистов в области информационных технологий и геоинформационных систем.

В связи с этим возникает необходимость создания единой системы моделирования (как подсистемы ГИС), позволяющей интегрировать различные программно-реализованные математические модели для прогнозирования аварий на опасных объектах. При этом ставится задача максимально использовать уже имеющиеся модели и гибко на-

рашивать подсистему новыми. Основной целью при разработке данной системы является создание единого информационного и функционального пространства для специалиста в области промбезопасности, на котором возможно проведение анализа безопасности объектов на привычном «языке».

Современная «базовая» ГИС способна решать большой спектр задач, однако, в силу специфики предметной области «математику», заложенную в модели аварий, необходимо реализовывать отдельно. Несмотря на это, полученный нами опыт в решении задач оценки риска показывает, что наиболее эффективным является применение ГИС не в качестве отдельной подсистемы, а в качестве «ядра», которое может дополняться специализированными модулями (как правило, современные ГИС построены именно по такому принципу).

Разработанный специальный модуль «Риск ЧС (оператор)» (С. А. Митакович, Е. В. Заяц, К. Р. Еникеева) позволяет в среде ГИС ArcGIS компании ESRI, использовать одновременно несколько моделей (различные виды воздействия, различные методики) и проводить комплексные расчеты по оценке поражения и последствиям чрезвычайных ситуаций (рис. 5). Ключевыми достоинствами модуля являются:

1. Расчет поражения как в точке, указанной пользователем на карте, так и по объектам, хранящимся в картографическом покрытии.

2. Ввод исходных параметров модели как вручную, так и путем указания полей в атрибутивной таблице, откуда данный параметр может быть считан. Таким образом, можно одновременно просчитать группу объектов, учитывая уникальность каждого.

3. Наличие нескольких моделей для одного вида воздействия. Так, например, из покрытия опасных объектов можно выделить группу однотипных объектов и применить к ним именно ту методику, которая под них адаптирована.

4. Решение не только прямых задач, когда известно расстояние и можно рассчитать показатель опасности и вероятность поражения, но и обратной задачи. В этом случае можно указать интересующий показатель опасности или вероятность поражения и путем численного моделирования, модуль определит расстояние, на котором достигаются такие значения опасности и вероятности.

5. Возможность расчета от объектов, представленных как в точечном виде, так и в линейном или полигональном виде.

6. Динамическая визуализация зон поражения.

7. Хранение всех расчетов в стандартной форме. По результатам каждого расчета формируется база геоданных, где сохраняются как опасные объекты, так и результаты всех расчетов. С помощью стандартных средств ArcGIS можно легко объединить все расчеты для всех объектов и сформировать единое поле риска.

8. Выдача подробных табличных и текстовых отчетов по проведенным расчетам, с приведением используемых формул, алгоритма обработки, обосновывающих правильность расчетов.

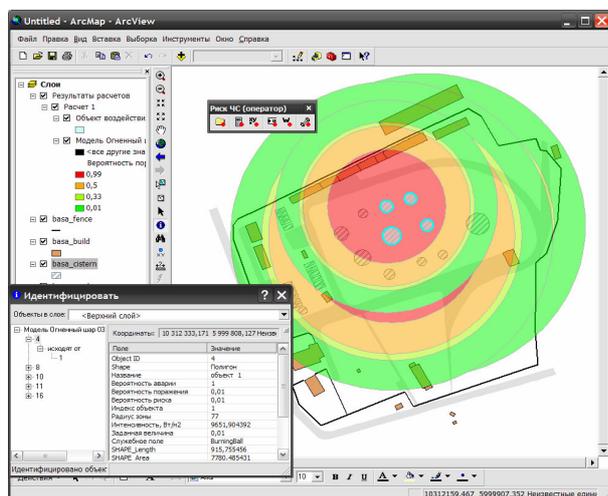


Рис. 5. Пример работы с модулем «Риск ЧС (оператор)»

Данный модуль уже прошел апробацию и внедрен в ряде проектных и промышленных предприятий: ГУП НИИ БЖД РБ (Уфа), ОАО «ТАИФ-НК» (Нижнекамск), ЗАО НПО «Эксперт» (Москва), ООО «Нефтегазовые технологии» (Уфа), Челябинский центр мониторинга и прогнозирования ЧС (Челябинск) и др. Его использование позволяет существенно сократить сроки на анализ безопасности промышленных объектов (более чем в 3 раза), обеспечивает удобный интерфейс для специалиста промышленной безопасности при работе с ГИС, унифицирует способы хранения и форму представления результатов анализа

На сегодняшний день в модуль включены восемь моделей по оценке химической, взрывопожароопасной обстановки («огненный шар», пожар пролива, взрыв топливо-

воздушной смеси, заражение сильнодействующими ядовитыми веществами, взрыв Bleve и др.), планируется внедрение еще 4 моделей.

Использование современных ГИС как основной платформы при решении задач промышленной безопасности позволяет задействовать их богатый функционал на всех этапах анализа риска. Это проявляется как с момента создания электронной карты предприятия за счет развитых средств векторизации, редактирования, пространственной привязки, так и на финальных этапах оценки последствий и построением полей риска, где могут быть использованы средства наложения слоев карты, алгебры карт, работы с пространственными сетками, трехмерного анализа (рис. 6).

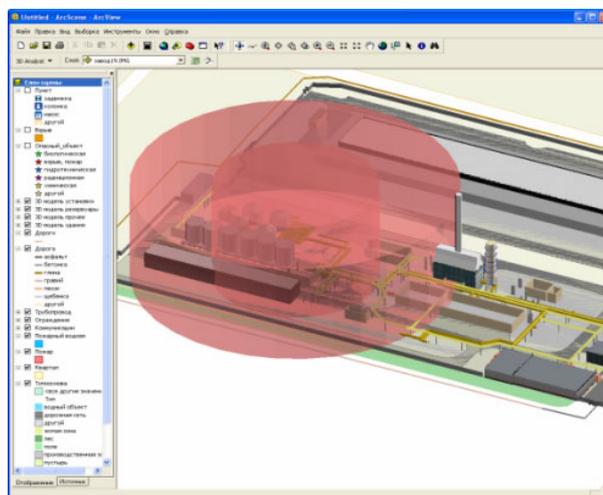


Рис. 6. Пример оценки последствий взрыва в трехмерном пространстве

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с авариями на опасных производственных объектах, необходимо разработать паспорта безопасности. При этом, чтобы провести адекватный анализ и оценку риска, получить точные и наглядные результаты и при этом минимизировать временные затраты, необходимо использовать возможности современных информационных технологий.

На основе методологии системного моделирования была построена функциональная модель процесса информационной поддержки разработки паспорта безопасности опасного производственного объекта. Для поддержки принятия решений при идентификации опасных точек объекта и выделении сценариев развития возможных аварий предлагается

использовать базы знаний. Они должны содержать базовые опасные точки и «деревья событий» развития аварий. Для расчета последствий реализации того или иного сценария, расчета поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, создания на их основе ситуационных планов (карт) рекомендуется применять геоинформационные системы, в частности, модуль «Риск ЧС (оператор)».

Целью дальнейших исследований является создание экспертной геоинформационной системы, поддерживающей разработку паспорта безопасности опасного объекта на всех ее этапах, включающей в себя описанные выше модули.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Цветков, Н.** Как привлечь инвестиции в отрасль / Н. Цветков // Нефтегазовая вертикаль [Электронный ресурс]. 2002. № 1. (<http://www.ngv.ru/article.aspx?articleID=23190>).
2. **Гражданкин, А. И.** О влиянии «управления комплексным риском» на рост угроз техногенного характера / А. И. Гражданкин, А. С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 03. С. 38–42.
3. **Правительство РФ.** Федеральная целевая программа «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года» (Утв. пост. Правительства РФ от 6 января 2006 г., № 1). С. 30.
4. **Иванов, В. Б.** Автоматизированная система информационной поддержки процессов принятия решений на основе распределенной обработки слабоструктурированной информации (на примере управления банковской деятельностью) : дис. ... канд. техн. наук / В. Б. Иванов. Уфа : УГАТУ, 2000. 124 с.
5. **Enikeeva, K. R.** To the problem of an estimation of accident risk at dangerous industrial objects / K. R. Enikeeva // Information Technologies and Mathematical Methods of Investigation in Economics : Proc. of the Round-Table Discussion. Ufa, Russia : USATU, 2006. P. 142–148.
6. **Гражданкин, А. И.** Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов / А. И. Гражданкин, П. Г. Белов // Безопасность труда в промышленности. 2000. № 11. С. 6–10.

ОБ АВТОРАХ



Юсупова Нафиса Исламовна, проф., зав. каф. выч. мат. и киб., декан ФИРТ. Дипл. радиопизик (Воронежск. гос. ун-т, 1975). Д-р техн. наук по упр-ю в техн. сист. (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. критич. сит. упр-я, информатики.



Митакович Сергей Анатольевич, зав. лаб. ГИС ГУП НИИ БЖД РБ. Дипл. м-р в обл. инф. и выч. техн. (УГАТУ, 1998). Канд. техн. наук по сист. анализу, упр. и обр. инф. (УГАТУ, 2002). Иссл. в обл. ГИС для задач безопасности.



Еникеева Карина Рафаэльевна, асп. каф. выч. мат. и киб. Дипл. инж. по защ. в чрезв. сит. (УГАТУ, 2005). Готовит дис. в обл. промышл. безопасности.