

## **Термины работоспособности объектов техники**

**Волик Б.Г.**

Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН.

e-mail: lfvlk@ipu.rssi.ru

*Обсуждаются определения терминов надёжность, живучесть, эффективность, безопасность, применяемых для анализа работоспособности объектов техники.*

### **1. Введение**

Цель настоящего доклада способствовать достижению общественного согласия специалистов в толковании терминов свойств технических объектов, определяющих их работоспособность. Она инициирована публикациями [1] и [8], а также дискуссией на семинаре Г.В.Дружинина в МИИТе. Но в большей степени, стремлением системно подойти к терминологической проблеме, относящейся к анализу работоспособности объектов техники.

### **2. Работоспособность и определяющие её свойства объектов техники**

Работоспособность основополагающее качество объектов техники. Подчеркнём, что на разных этапах жизненного цикла объектов их работоспособность определяют разные свойства. Одни – на начальном этапе до момента ввода объекта в эксплуатацию, другие – на этапе эксплуатации.

На начальном этапе подтверждается принципиальная способность объекта выполнять предписанные функции. Эту способность объекта назовём **функциональной работоспособностью**. Она зависит от совокупности свойств, которые проявляются уже на этапе функциональных испытаний и ввода в эксплуатацию объекта. Например, для управляющих систем их функциональная работоспособность определяется устойчивостью, временем регулирования, достижимостью, параметрической грубостью и другими свойствами, отражающими точность и динамику управления.

На этапе эксплуатации, для большинства объектов относительно длительном, подтверждается способность объекта сохранять на достаточном уровне функциональную работоспособность. Эту способность объекта назовём **эксплуатационной работоспособностью**. Она определяется свойствами: надёжность, живучесть, безопасность, эффективность.

### 3. **Общее и различия свойств «надёжность», «живучесть», «эффективность», «безопасность».**

Анализ публикаций и проектных материалов показывает, что пока ещё не достигнуто системное, достаточно согласованное толкование совокупности свойств объектов техники, характеризующих их эксплуатационную работоспособность. Эти свойства хорошо известны - это надёжность, живучесть, эффективность и безопасность. Они определяют разные стороны изменений работоспособности объекта. Одни основываются на анализе **источников** нарушений работоспособности, другие – на анализе их **последствий**.

**Источники** нарушений работоспособности хорошо изучены. Для целей анализа и обеспечения работоспособности объектов полезно различать внутренние и внешние источники. **Внутренние**: отказы технических средств объекта, ошибки в программах функционирования и эксплуатации, нарушения координации протекающих в объекте процессов, ошибки управляющего и обслуживающего персонала. **Внешние**: случайные и/или преднамеренные воздействия на объект, способные нарушить его работоспособность.

Наличие внутренних и внешних источников нарушений работоспособности является объективной реальностью эксплуатации объектов. Поэтому способность объектов сохранять в этих условиях работоспособность мы определяем как их свойство [2]. По отношению к внутренним источникам это свойство названо **надёжностью**. По отношению к внешним источникам – **живучестью**.

**Последствия** нарушений работоспособности по существу являются источником какого-либо ущерба той надсистемы, элементом которой является рассматриваемый объект. В зависимости от структуры и качества элементов объектов одного и того же назначения, нарушения их работоспособности будут сопровождаться различными последствиями по видам и объёмам ущерба. С другой стороны, один и тот же объект, применённый в разных надсистемах, может также приводить к различным последствиям при нарушениях его работоспособности. Но, несмотря на многообразие возможных последствий нарушений работоспособности, их можно обобщить в две принципиально различные группы.

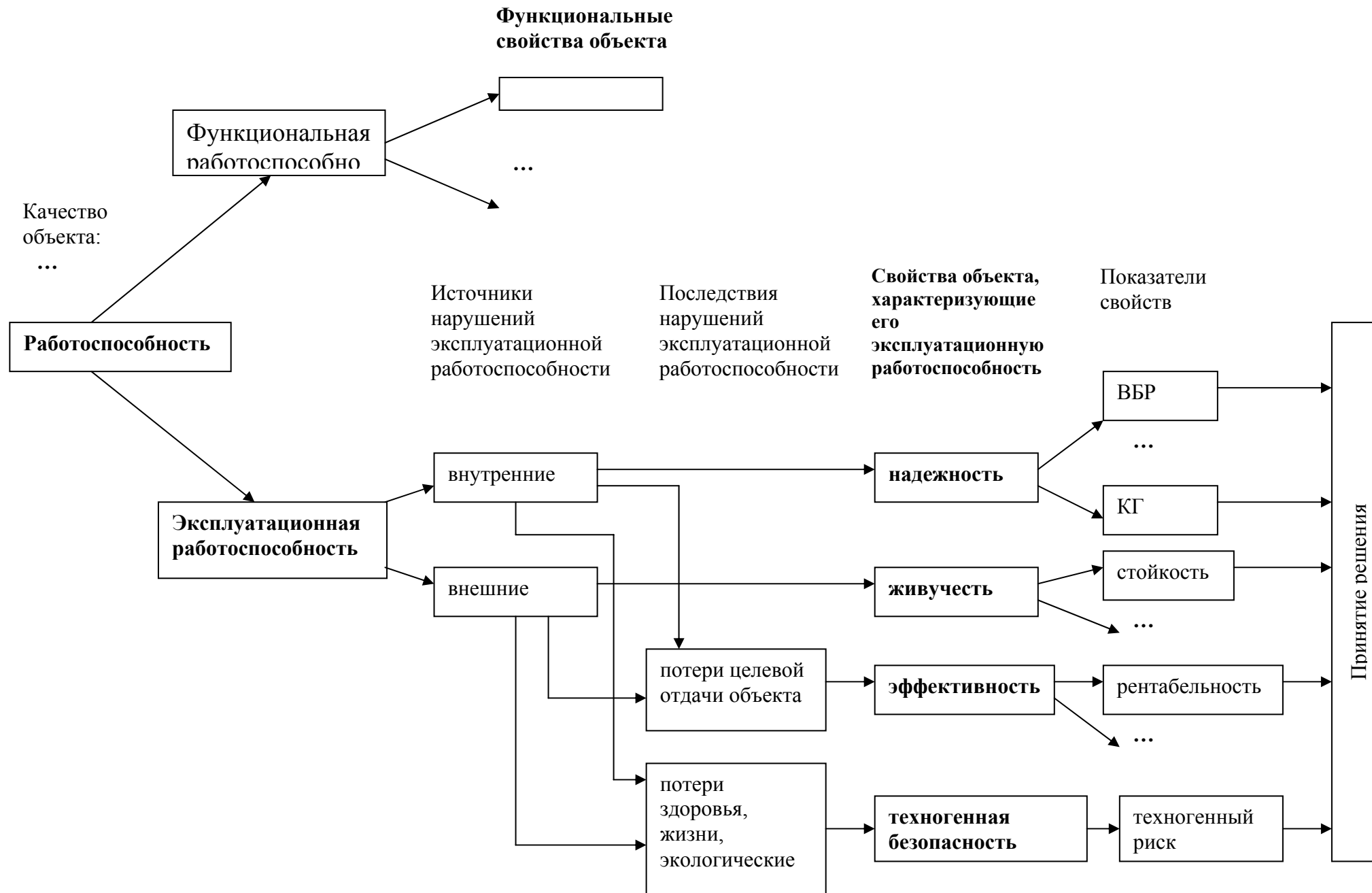
А. Потери целевой отдачи [3] объекта. Это частичное или полное невыполнение предписанных функций, финансовые или материальные потери.

**Б.** Потери здоровья или жизни персонала и населения, попадающих в зону действия поражающих факторов объекта, ущерб окружающей среде сверх установленных норм.

Последствия группы А определяют свойство названное **эффективностью**, а группы Б – **безопасностью**.

Следуя, в основном [2], обсудим названные четыре свойства, характеризующие эксплуатационную работоспособность объектов техники.

На прилагаемом рисунке схематично показана связь обсуждаемых понятий.



#### **4. О надёжности**

Надёжность – важнейшее свойство, определяющее работоспособность технических объектов. В толковании термина «надёжность» у нас в стране было достигнуто почти полное согласие специалистов, зафиксированное в [4]. Проводимая в настоящее время работа по гармонизации отечественных стандартов с международными (МЭК) не завершена, и к чему она приведёт пока не ясно. Поэтому мы будем ориентироваться на определения терминологического сборника [2].

**НАДЁЖНОСТЬ** – свойство объекта сохранять на заданном интервале времени эксплуатации в установленных пределах структуру, значения признаков и параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции в заданных штатных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

Количественная оценка уровня любого свойства возможна посредством формулирования показателей, отражающих зависимость свойства от определяющих параметров (характеристик) объекта. Для оценки надёжности введен ряд повсеместно применяемых показателей, таких как вероятность безотказной работы, наработка до отказа, интенсивность и параметр потока отказов, коэффициент готовности и др.

#### **5. О живучести**

Термин «живучесть» в литературе имеет широкое толкование. В технику, по-видимому, он был введён в XIX веке адмиралом С.О.Макаровым для оценки работоспособности (непотопляемости) кораблей при воздействии на них поражающих средств противника. Значительный вклад в развитие толкования этого термина и разработку методов количественной оценки внёс адмирал И.А.Рябинин [5].

Следуя [2], **ЖИВУЧЕСТЬ** – свойство объекта выполнять заданные функции, хотя бы в минимальном допустимом объёме, при внешних неблагоприятных воздействиях (НВ) на него не предусмотренных заданными штатными условиями применения по назначению.

В приведенном определении под объёмом понимается как значение характеристик целевой отдачи объекта, так и продолжительность сохранения этого значения. Другая особенность свойства живучесть заключается в том, что оно может оцениваться и вероятностными методами, и детерминированными. В первом случае, естественно, применяются вероятностные показатели типа «условная вероятность уязвимости» [6]. Во втором случае (по А.В.Антонову) – либо как пороговое значение определяющей характеристики внешнего воздействия, соответствующее выходу за пределы

минимального допустимого объёма (уровня) заданной функции объекта, либо как пороговое значение характеристики - индикатора объекта, соответствующее минимальному допустимому объёму (уровню) заданной функции объекта.

НВ имеют разную физическую природу. Это воздействия взрывной волны, термическое воздействие пожаров, затопление водой, прерывание электропитания или других энергоносителей и другие воздействия, не предусмотренные номинальными условиями эксплуатации объекта.

Отличительная особенность моделей анализа живучести – необходимость количественной оценки стойкости элементов объекта к прогнозируемым НВ и возможности противодействия этим НВ.

## **6. Об эффективности**

Эффективность – понятие, определяющее целевую отдачу [3] объекта от его применения по назначению. Уровень целевой отдачи, при прочих равных условиях, зависит от работоспособности объекта. Поэтому эффективность может выступать индикатором сравнения конкурирующих вариантов объекта, систем его технического обслуживания, т.е. рассматриваться как свойство объекта.

Итак, ЭФФЕКТИВНОСТЬ – свойство объекта обеспечивать, на заданном интервале времени эксплуатации, целевую отдачу не ниже заданного уровня.

Для количественной оценки эффективности используют показатели типа эффекта эксплуатации: превышение целевой отдачи над затратами, типа срока окупаемости, типа отношений числа полезных применений объекта к общему числу применений, типа порогового значения потерь выходной продукции и др. Например, для энергоблоков атомных электростанций эффективность оценивается как объём недовыдачи генерируемой в течение года электроэнергии из-за нарушений работоспособности оборудования и систем энергоблока.

## **7. О безопасности и риске**

Понятие «безопасность» имеет множество трактовок в литературе. Однако большинство трактовок, относящихся к объектам техники, связывают это понятие с событием перехода объекта в возможные опасные состояния, сопровождаемые дополнительными, не предусмотренными номинальным регламентом эксплуатации, потерями (ущербом). Принципиальное расхождение в определениях термина «безопасность» в конкретизации того, что понимать под понятием «потери (ущерб)» и какие состояния объекта относить к категории опасных.

В одних публикациях, и таких большинство, под ущербом понимается утрата здоровья или жизни человека, нанесение повреждения окружающей среде сверх

обоснованных нормативных пределов. В других публикациях к этому ущербу добавляют материально-финансовые потери, превышающие плановый уровень, которые возникают в случаях каких-либо форс-мажорных событий.

Принятие второй трактовки ущерба в определении термина «безопасность» означает, что он может применяться для обозначения любых событий нарушения номинальной работоспособности объекта, приводящих к любого вида потерям. Таким образом, оказываются совпадающими признаки определений терминов «безопасность» и «эффективность» и нарушается однозначное применение этих терминов. Из этого следует, что для определения термина «безопасность» необходимо использовать первую трактовку понятия «потери (ущерб)».

Материальные и финансовые потери охватываются термином «эффективность».

Обратимся к трактовке понятия «опасное состояние». Зачастую к нарушениям пределов безопасной эксплуатации относят любые аварии. Особенно часто такая трактовка используется средствами массовой информации в отношении атомных станций. Между тем подавляющее большинство аварий локализуется подсистемами противоаварийной защиты объектов и ограничивается материальными и финансовыми потерями, что не является нарушением безопасности. Это нормальный проектный режим эксплуатации.

Опасными состояниями по существу рассматриваемой проблемы являются такие состояния объекта, которые сопровождаются выходом в область возможного нахождения производственного персонала и/или населения **поражающих факторов**, порождаемых объектом [7].

Итак, БЕЗОПАСНОСТЬ – свойство объекта не допускать выхода в область возможного нахождения производственного персонала и/или населения поражающих для их жизни и здоровья факторов, а также факторов, наносящих ущерб окружающей среде сверх установленных норм.

В качестве меры возможного ущерба закрепился термин «риск», как правило, с указанием сферы ожидаемой опасности. Например, «страховой риск», «инвестиционный риск» и т.п. Прекрасный анализ термина «риск» дан А.С.Алпеевым [1]. Но вряд ли можно согласиться с его предложением принять в качестве родового слова - слово «оценка». Слово оценка, как и слова: вероятность, произведение, обозначает определенную вычислительную операцию. Точнее определение И.А.Рябина [8]: «Риск – мера опасности». Применительно к объектам техники: ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК – показатель опасности технических объектов.

Этот показатель может вычисляться как вероятность выхода, на заданном интервале времени эксплуатации, в область нахождения производственного персонала и/или населения поражающих для их жизни и здоровья факторов, а также факторов, наносящих ущерб окружающей среде сверх установленных норм [7].

Поскольку состояние опасности является логическим дополнением состояния безопасности, то достаточно ограничиться термином «техногенный риск».

## 8. Заключение

1. Полнота оценки эксплуатационной работоспособности технических объектов достигается посредством оценки показателей их свойств надёжности, живучести, эффективности, техногенной безопасности. В прилагаемой таблице, которую следует рассматривать как расширение аналогичной таблицы из [6], приведен примерный перечень проблем анализа рассматриваемых свойств, показывающий общее и различия этих свойств.
2. Термин «безопасность», точнее «техногенная безопасность» («техногенная опасность»), предлагается применять **только** для отражения негативного влияния объекта на состояние субъектов (производственный персонал и население) и окружающей природной среды и **только** через оценку возможного выхода в зону расположения субъектов **поражающих факторов** объекта.
3. В качестве показателя свойства «техногенная опасность» желательно закрепить понятие «техногенный риск». Техногенный риск может вычисляться как вероятность выхода, на заданном интервале времени эксплуатации, в область расположения субъектов, поражающих для их жизни и здоровья факторов, а также факторов, наносящих ущерб окружающей среде сверх установленных норм. Поскольку опасность и безопасность - понятия взаимно дополняющие друг друга, то для оценки техногенной безопасности можно применять тот же показатель, что и для оценки техногенной опасности - «техногенный риск», но с обратной шкалой значений. Чем выше значение риска, тем ниже уровень безопасности.

Таблица

Проблемы анализа свойств	Свойства объектов, определяющих их эксплуатационную работоспособность			
	надёжность	живучесть	техногенная безопасность	эффективность
Выбор показателей свойства	а) Стандартизованные показатели (вероятность безотказной	1. Вероятностные. а) Вероятность потери работоспособности при заданной величине (объеме) внешних	а) Техногенный риск.	а) Объем потерь целевой отдачи на заданном интервале времени эксплуатации;



	<p>работы, наработка до отказа, коэффициент готовности и др.).</p> <p>б) Индивидуальные показатели типа вероятности перехода в заданное состояние, работоспособности на заданном интервале времени эксплуатации и др.</p>	<p>неблагоприятных воздействий (НВ) на объект.</p> <p>б) Математическое ожидание числа воздействий НВ, переводящих объект в состояние неработоспособности.</p> <p>II. Детерминированные.</p> <p>в) Пороговое значение параметра объекта, определяющее его переход в неработоспособное состояние.</p> <p>г) Пороговое значение параметра НВ, определяющее попадание объекта в неработоспособное состояние.</p>		<p>б) рентабельность;</p> <p>в) отношение математического ожидания числа успешных применений объекта по назначению к общему числу планируемых применений.</p>
<p>Выбор метода получения количественных оценок показателей</p>	<p>а) Статические модели, типа логико-вероятностного метода;</p> <p>б) динамические модели, типа марковских процессов с доходами;</p> <p>в) методы статистического моделирования.</p>	<p>I. а), б), в).</p> <p>II. Имитационные модели динамики развития НВ и потери стойкости объекта.</p>	<p>А), б), в).</p>	<p>в),</p> <p>д) имитационные модели жизненного цикла объекта (от выдачи ТЗ до момента снятия с эксплуатации).</p>
<p>Получение исходных данных для оценки</p>	<p>а) Структура (техническая) объекта;</p> <p>б) статистические данные об интенсивности отказов элементов объекта;</p> <p>в) данные о глубине контроля работоспособности элементов.</p>	<p>а), б), в);</p> <p>г) данные источников ожидаемых НВ;</p> <p>д) данные о стойкости элементов объекта к НВ;</p> <p>е) данные о возможностях объекта противодействовать НВ;</p>	<p>Ж) перечень исходных событий аварий, которые могут сопровождаться выходом поражающих факторов;</p> <p>з) статистические данные о потоке исходных событий аварий;</p> <p>и) данные готовности каналов активной противоаварийной защиты.</p>	<p>к) данные об изменениях целевой отдачи объекта и потерях, связанных с изменением работоспособности объекта;</p> <p>л) для объектов с вероятностной целевой отдачей, пара метры ее статистической модели.</p>
<p>Выбор способов и средств улучшения свойств</p>	<p>а) Известные в технике обеспечения надёжности способы (улучшение технологии изготовления и качества материалов, повышение</p>	<p>б) Повышение стойкости элементов объекта к НВ;</p> <p>в) оптимизация (по показателю живучести) технической и топологической структур объекта;</p> <p>г) повышение эффективности средств противодействия НВ.</p>	<p>д) Повышение готовности каналов активной противоаварийной защиты;</p> <p>е) применение средств пассивной защиты для локализации поражающих факторов.</p>	<p>ж) минимизация числа прямых переходов объекта из состояния полной работоспособности в предельные состояния, сопровождаемых крупными материальными и</p>

	<p>эффективности контроля и восстановления, резервирование, реконфигурация структуры и др. способы).</p>			<p>финансовыми потерями; з) повышение точности выполнения задач целевого назначения объекта.</p>
--	--	--	--	--

## Литература

1. **Алпеев А.С.** Проблемы корректного определения термина «риск» и терминов на его основе.// Надёжность. – 2005, №1. С. 53 – 59.
2. Теория управления, терминология. Сб. рекомендуемых терминов. Ответ. ред. **Волик Б.Г.** М.: Наука, 1988.
3. **Гличев А.В.** Экономическая эффективность технических систем. – М.: Экономика, 1971.
4. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Термины и определения.
5. **Рябинин И.А.** Теоретические основы проектирования электроэнергетических систем кораблей. – Л.: ВМОЛА, 1963.
6. **Волик Б.Г., Рябинин И.А.** Эффективность, надёжность и живучесть управляющих систем.// Автоматика и телемеханика. – 1984, №12. С. 151-160.
7. **Волик Б.Г.** Проблемы анализа техногенной безопасности.// Автоматика и телемеханика. – 2002, №12. С. 174-180.
8. **Рябинин И.А.** Научная школа «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах» и её смысл. – Труды международной научной школы МА БР-2004/ ГОУ ВПО «СПБГУАП». СПб, 2004.