

УДК629.124.74

А.И. Раков, д-р техн. наук, профессор, Т.Л. Чемакина, канд. техн. наук, доцент,**А.В. Кузьмина, ст. преподаватель, М.Г. Балашов, ст. преподаватель***Севастопольский национальный технический университет,**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053**E-mail: chemakina1951@gmail.com***АНАЛИЗ РИСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОРМАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ
БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ МАЛЫХ МОРСКИХ СУДОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ**

Идентифицированы опасности для малых морских судов, проанализированы возможные отказы, построены деревья событий и матрицы риска для оценки величины вероятности возникновения опасной ситуации.

Ключевые слова: идентификация опасностей, дерево событий, матрица риска, малые морские суда, формальная оценка безопасности, теория риска.

Введение. В последнее время получило развитие новое направление в оценивании мореходных качеств – формализованная оценка безопасности (ФОБ) с применением теории риска. Исследования по приложению теории риска в технике ведутся уже длительное время, начиная с наиболее опасных для человечества отраслей, таких как космос, авиация, химическая промышленность, добыча и транспортировка нефти, АЭС, а также при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и т.п. Разработка вероятностных критериев оценки остойчивости, практического метода проектирования с использованием судна-прототипа и определение связи между районом эксплуатации и характеристиками остойчивости ММС – важнейшие направления в области проектирования ММС. Построение дерева отказов является стандартным методом оценки степени риска, который может использоваться для построения модели риска.

Такой подход к оценке безопасности и величине риска возникновения опасной ситуации поможет принимать обоснованные решения, до момента их возникновения при эксплуатации. Это позволит уже на ранних стадиях жизненного цикла малого судна, например при проектировании, принять соответствующие меры по снижению уровня риска.

В мировой практике эксплуатации судов уже установились основные виды аварий, создающие угрозу нарушения мореходных качеств судов. В рамках исследований по повышению безопасности и безаварийной эксплуатации судов Международной морской организацией (ИМО) разработан Консолидированный текст Руководства по принципам Формальной оценки безопасности (ФОБ) для использования при создании правил ИМО [1]

Цель статьи – определение полного спектра основных опасностей для ММС различных типов при эксплуатации, построения на этой основе деревьев отказов и матриц риска. Для достижения этой цели необходимо, опираясь на полный цикл режима работы судна, проанализировать достаточно большое количество возможных отказов посредством построения деревьев событий для оценки величины вероятности возникновения опасной ситуации.

Постановка задачи.

Опубликованный в 2007 году консолидированный текст по формальной оценке безопасности не даёт конкретных рекомендаций по критериям риска и является на сегодняшний день системой правил и рекомендаций, придерживаясь которых, при проведении исследований по безопасности той или иной группы судов, можно получить ответ на вопрос о степени безопасности судна. ФОБ является методологической основой для разработки инженерных подходов в оценке риска.

Существующая ФОБ в её классическом виде включает в себя пять этапов [1]:

- 1) определение потенциально опасных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации судна;
- 2) оценка уровня риска для опасностей, определённых на первом этапе, анализ причин и частота проявления, определение уровней допустимости риска, вариантов его контроля;
- 3) определение путей уменьшения риска;
- 4) оценка финансовых затрат на мероприятия по уменьшению риска;
- 5) выработка окончательных рекомендаций по уменьшению риска по одной или нескольким опасностям.

Идентификация опасностей на начальных стадиях проектирования. Для формализованной оценки тяжести аварий и происшествий предлагается использовать известную формализованную шкалу степени ущерба. Она построена на основе шкалы приведенной в MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392(2002) и является достаточно эффективным инструментом для получения качественных оценок аварийных ситуаций в случае недостатка информации о последствиях, их составе, и представлению в стоимостной форме (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Классификация последствий аварий и аварийных ситуаций

Баллы С	Уровень последствий	Степень повреждений		
		Воздействие на людей	Воздействие на окружающую среду	Повреждение технических средств
1	Незначительное повреждение	нет	нет	ничтожное
2	Происшествие	лёгкие телесные повреждения	ничтожное	Незначительные повреждения
3	Авария	Серьезные, необратимые телесные повреждения	Существенное	Серьёзные нарушения в конструкции
4	Серьёзная авария	Потеря человеческой жизни	Критическое	Значительные нарушения в конструкции
5	Катастрофа	Много человеческих жертв	Катастрофическое	Гибель судна

Таблица 2 – Масштаб последствий (шкала) риска

1	Очень низкий	Происшествие, не приводящее к существенному вреду для людей, оборудования, окружающей среды
2	Низкий	Произошли разрушения конструкции минимально допустимого уровня, повреждения людей, сопровождаемые оказанием первой помощи
3	Средний	Произошли разрушения, соизмеримые с допустимым уровнем. Имеются ушибы, легкие ранения людей
4	Значительный	Часть конструкций и креплений имеют заметные повреждения. Имеются заметные повреждения людей, требующие весьма квалифицированной медицинской помощи
5	Катастрофический	Потеря судна. Могут быть человеческие жертвы.

Определим полный спектр основных опасностей при эксплуатации для малых буксирных, пассажирских и рыболовных судов. Идентификация основных опасностей для буксиров представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Идентификация опасностей для буксиров

№	Опасности	С	Р	R = P*С
1	Опасности, связанные с техническим состоянием корпуса судна, механизмов и систем			
1.1.	Водотёчность наружной обшивки, верхней палубы, патрубков наружного слива и забора заборной воды, стенок цистерн, систем охлаждения ГД, водоотливных систем	1,5	1,2	1,8
1.2.	Неисправность буксирных механизмов и устройств	4,1	3,4	13,94
1.3.	Нарушение правил эксплуатации и порядка работы на открытой палубе	2	2	4
1.4.	Дефекты корпуса и его старение	1	1	1
1.5.	Проектные недостатки	2	2	4
1.6.	Выход из строя ГД, обесточивание судна, отказы в работе движительного комплекса	3,2	2,2	7,04
1.7.	Нарушение требований местных и Международных конвенций и Правил в отношении конструкции вентиляционных труб, непроницаемых дверей и иллюминаторов	1,5	1,8	2,7
1.8.	Недостаточность надводного борта	4,2	3,5	14,7
2	Опасности, связанные с нарушениями технологии буксирных работ, управлением судна			
2.1.	Крутой разворот буксирного судна	4,2	3,8	15,96
2.2.	Поперечный рывок буксирного троса в тихую погоду	2,3	3,7	8,51
2.3.	Обрыв буксирного троса при рывке и направлении его на 45° в корму буксира	2,7	5	13,5

Продолжение таблицы 3

2.4.	Отрыв носового швартова при буксировке лагом, расхождение судов	4,5	2,6	11,7
2.5.	Столкновение с буксируемым судном при буксировке транспортных судов, опрокидывание от пробойны	2,3	4,5	10,35
2.6.	Авария при одерживании больших транспортных судов	2,5	2,2	5,5
2.7.	Посадка транспортируемого судна на мель	4,2	3,3	13,86
2.8.	Нештатный обрыв крепёжного устройства	4	4,5	18
2.9.	Выполнение опасных манёвров	4	4,4	17,6
2.10.	Заливание верхней палубы во время штормовой погоды	4,1	2,4	9,84
2.11.	Возникновение пожара на буксируемом судне	4,4	3,8	16,72
2.12.	Возникновение пожара на буксире	5	4,3	21,5
2.13.	Недостаточная эффективность мер пожаротушения	5	4,2	21
2.14.	Возникновение существенных повреждений конструкций буксира после пожара	5	5	25
3	Опасности, связанные с действиями капитана, экипажа и судовладельца			
3.1.	Нарушение правил плавания	2,2	2,3	5,06
3.2.	Невыполнение требований по обеспечению безопасности	3,2	2,3	7,36
3.3.	Ошибки на навигационных картах	2	3	6
3.4.	Отсутствие или неисправная работа навигационного оборудования	2,2	3,4	7,48
3.5.	Ошибка оператора метеослужбы	1,5	1	1,5
3.6.	Неисправность радиолокационного оборудования	1	1,3	1,3
3.7.	Создание опасного дифферента или крена	4,2	3,5	14,7
3.8.	Попадание в штормовые условия, превышающие пределы инструкции по эксплуатации	1,8	5	9
3.9.	Получение пробоины в результате посадки на мель, контакта с плавающими предметами	1,6	3,3	5,28
3.10.	Недостаточная подготовка экипажа	1,7	2,1	3,57
3.11.	Неудачно проложенный курс	1,5	1,5	2,25
3.12.	Управление судном в нетрезвом виде	2,4	2,3	5,52

Значение уровня риска зависит от двух основных факторов: значения вероятности возникновения несчастного случая и условной вероятности потери судна. Основными последствиями при этом являются потеря человеческих жизней, экологические последствия и экономические потери. Поэтому при анализе статистики аварийности необходимо распределять аварийные ситуации по различным типам риска (для экипажа и пассажиров, для окружающей среды и для отдельных конструкций и судна в целом).

Идентификация основных опасностей для малых пассажирских судов представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Идентификация опасностей для малых пассажирских судов

№	Опасности	C	P	R=P*C
1	Опасности, связанные с техническим состоянием корпуса судна, механизмов и систем			
1.1.	Водотёчность наружной обшивки, верхней палубы, патрубков наружного слива и забора заборной воды, стенок цистерн, систем охлаждения ГД, водоотливных систем	3,1	3,1	9,61
1.2.	Неисправность буксирных механизмов и устройств	2,8	2,8	7,84
1.3.	Нарушение правил эксплуатации и порядка работы на открытой палубе	2	2	4
1.4.	Дефекты корпуса и его старение	2,1	2,2	4,62

Продолжение таблицы 4

1.5.	Проектные недостатки	3,2	3,5	11,2
1.6.	Выход из строя ГД, обесточивание судна, отказы в работе движительного комплекса	3,2	3,1	9,92
1.7.	Нарушение требований местных и Международных конвенций и Правил в отношении конструкции вентиляционных труб, непроницаемых дверей и иллюминаторов	2,1	4,2	8,82
1.8.	Недостаточность надводного борта	3,5	4,5	15,75
2	Опасности, связанные с нарушениями технологии буксирных работ, управлением судна			
2.1.	Крутой разворот малого пассажирского судна	3,8	4,1	15,58
2.2.	Столкновение с буксирующим судном при буксировке малого пассажирского судна	2,5	2,8	7
2.3.	Посадка малого пассажирского судна на мель	3,6	4,5	16,2
2.4.	Выполнение опасных манёвров	4,8	5	24
2.5.	Заливание верхней палубы во время штормовой погоды	2,7	4,3	11,61
2.6.	Возникновение пожара на малом пассажирском судне	5	4,3	21,5
2.7.	Недостаточная эффективность мер пожаротушения	4,5	5	22,5
2.8.	Возникновение существенных повреждений конструкций малого пассажирского судна после пожара	5	5	25
3	Опасности, связанные с действиями капитана, экипажа и судовладельца			
3.1.	Нарушение правил плавания	2,3	2,1	4,83
3.2.	Невыполнение требований по обеспечению безопасности	2,8	3,4	9,52
3.3.	Ошибки на навигационных картах	3,2	2,8	8,96
3.4.	Отсутствие или неисправная работа навигационного оборудования	3,4	2,7	9,18
3.5.	Ошибка оператора метеослужбы	1,3	1,4	1,82
3.6.	Неисправность радиолокационного оборудования	1,3	1,7	2,21
3.7.	Создание опасного дифферента или крена	3,7	4,1	15,17
3.8.	Попадание в штормовые условия, превышающие пределы инструкции по эксплуатации	5	1,8	9
3.9.	Получение пробоины в результате посадки на мель, контакта с плавающими предметами	4,3	4,1	17,63
3.10.	Недостаточная подготовка экипажа	1,1	1,2	1,32
3.11.	Неудачно проложенный курс	1,2	1,4	1,68
3.12.	Управление судном в нетрезвом виде	2,1	2,8	5,88

Для наиболее корректной оценки риска необходимо учитывать условия эксплуатации в районе выполнения производственных операций (промысел, пассажироперевозки, буксировка и др.). Основными факторами, которые могут привести к опасным авариям для различных типов малых морских судов, являются: конструктивные нарушения в рабочем режиме благодаря возникновению нештатной ситуации на судне; эксплуатация в условиях не соответствующих допустимым критериям устойчивости, прочности и надёжности; затопление отсеков в результате повреждения основного корпуса или различных водоотливных систем; штормовые повреждения, полученные в результате интенсивного воздействия волнения, ветра, льда; разрушения в условиях низких температур, столкновений с дном или другим судном; пожары и взрывы; различные виды травм или гибель экипажа и пассажиров. Идентификация основных опасностей для рыболовных судов представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Идентификация опасностей для рыболовных судов

№	Опасности	C	P	R=P*C
1	Опасности, связанные с техническим состоянием корпуса судна, механизмов и систем			
1.1.	Водотёчность наружной обшивки, верхней палубы, патрубков наружного слива и забора заборной воды, стенок цистерн, систем охлаждения ГД, водоотливных систем	1,8	1,6	2,88
1.2.	Неисправность промысловых механизмов и устройств	2,1	2,3	4,83
1.3.	Дефекты корпуса и его старение	1,5	1,3	1,95
1.4.	Проектные недостатки	2,1	1,9	3,99
1.5.	Выход из строя ГД, обесточивание судна, отказы в работе движительного комплекса	2,8	3,6	10,08
1.6.	Нарушение требований местных и Международных конвенций и Правил в отношении конструкции вентиляционных труб, непроницаемых дверей и иллюминаторов	1,4	1,9	2,66
1.7.	Недостаточность надводного борта	3,9	4,6	17,94
2	Опасности, связанные с нарушениями технологии промысловых работ			
2.1.	Нарушение курса траления при совместной работе судов	3,6	4,6	16,56
2.2.	Намотка трала на винт из-за обрыва на другом судне	1,7	2,6	4,42
2.3.	Намотка трала на винт при недопустимом развороте судна	2,6	4,8	12,48
2.4.	Опасность зацепления тралом за грунт	1,8	1,8	3,24
2.5.	Обрыв ваера при тралении	2,1	3,6	7,56
2.6.	Нарушение правил эксплуатации промыслового оборудования и порядка работы с ним на открытой палубе	2,4	2,8	6,72
2.7.	Намотка на винт кормовых швартовых при отходе от борта транспортного судна	3,6	2,7	9,72
2.8.	Опасность навала при швартовке к транспортному судну	4,6	5	23
2.9.	Нарушение правил выборки трала и вылива улова	2,6	1,8	4,68
2.10.	Заливание верхней палубы во время штормовой погоды	3,3	3,9	12,87
2.11.	Столкновение судов при совместной работе	2,2	4,4	9,68
2.12.	Посадка транспортируемого судна на мель	3,1	4,7	14,57
2.13.	Возникновение пожара на судне	4,2	5	21
2.14.	Недостаточная эффективность мер пожаротушения	4,1	5	20,5
	Возникновение существенных повреждений конструкций судна после пожара	5	5	25
3	Опасности, связанные с действиями капитана, экипажа и судовладельца			
3.1.	Нарушение правил плавания	2,1	2,2	4,62
3.2.	Невыполнение требований по обеспечению безопасности	3,2	3	9,6
3.3.	Ошибки на навигационных картах	3	2,8	8,4
3.4.	Отсутствие или неисправная работа навигационного оборудования	2,8	2,9	8,12
3.5.	Ошибка оператора метеослужбы	1,7	1,6	2,72
3.6.	Неисправность радиолокационного оборудования	1,5	1,5	2,25
3.7.	Создание опасного дифферента или крена	3,2	4,8	15,36
3.8.	Попадание в штормовые условия, превышающие пределы инструкции по эксплуатации	5	1,9	9,5
3.9.	Получение пробоины в результате посадки на мель, контакта с плавающими предметами	2,2	1,8	3,96
3.10.	Недостаточная подготовка экипажа	1,7	1,9	3,23
3.11.	Неудачно проложенный курс	1,1	1,2	1,32
3.12.	Перегруз судна	2,4	3,1	7,44

В дальнейшем часть из перечисленных факторов не будет рассматриваться, поскольку эти факторы практически не зависят от района эксплуатации малых судов. После определения потенциально опасных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации малых морских судов различных типов, были построены матрицы риска для этих судов и определена область допустимых рисков – ALARP (рисунки 1 – 3).

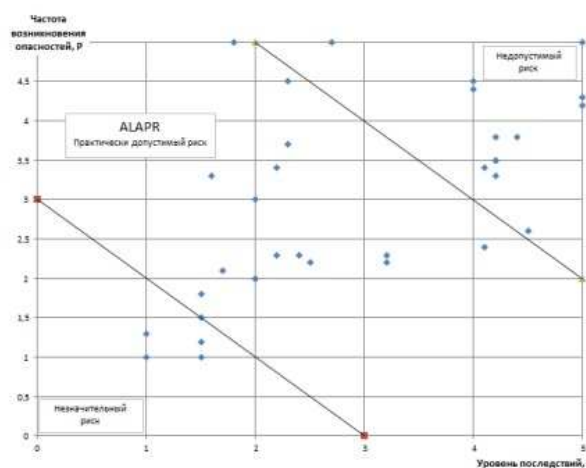


Рисунок 1 – Матрица риска для буксиров

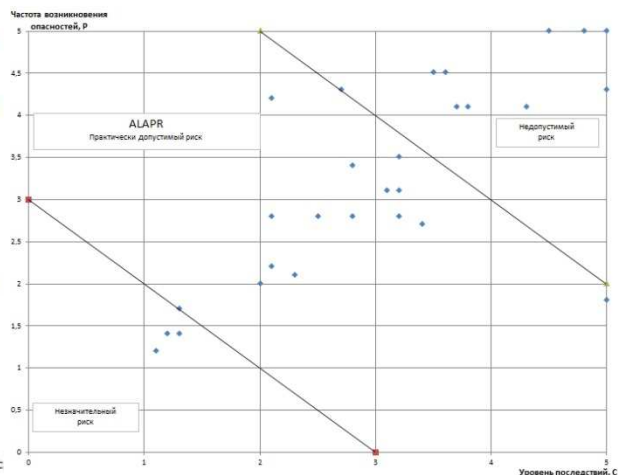


Рисунок 2 – Матрица риска для малых пассажирских судов

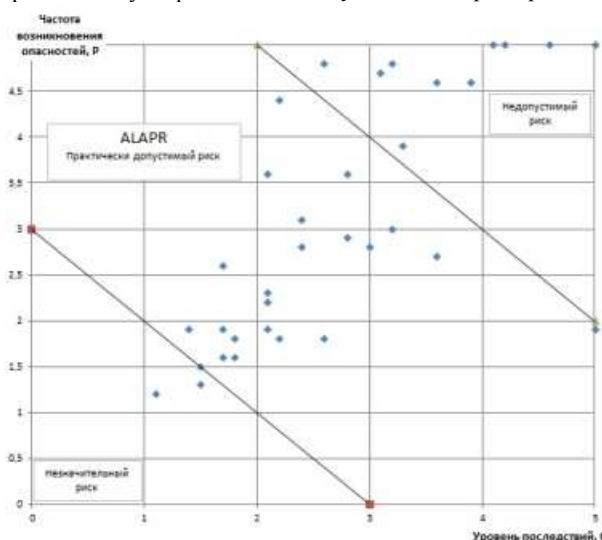


Рисунок 3 – Матрица риска для рыболовных судов

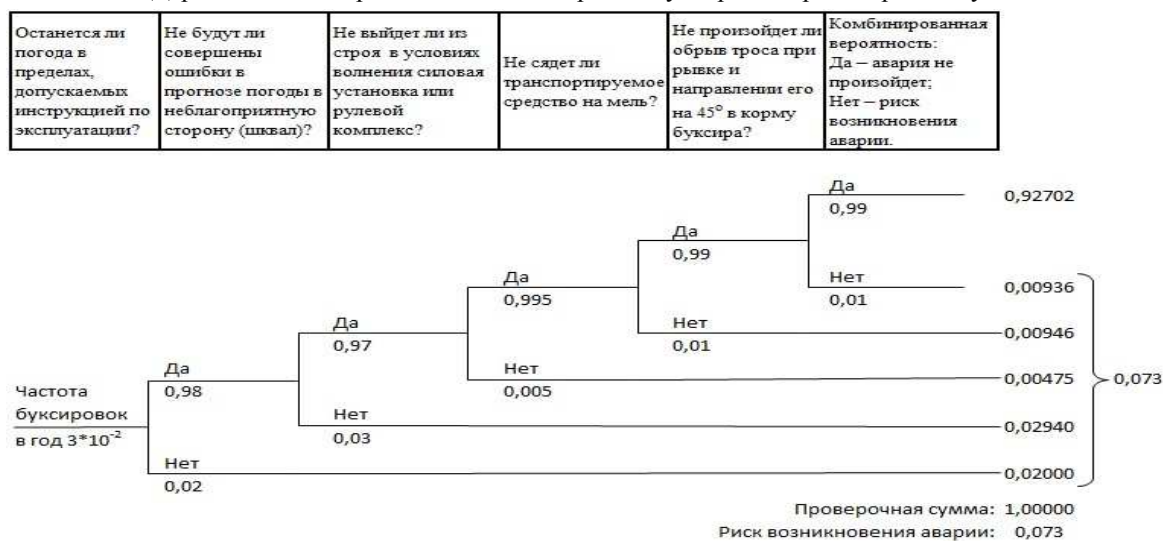
Наиболее опасными событиями с точки зрения тяжести последствий аварии со значением $C = 4 - 5$, то есть потеря судна и гибель людей можно отнести: посадку на мель; столкновение; пожары и взрывы; затопление вследствие водотёчности; потеря остойчивости; происшествия, приведшие к травме людей или их гибели.

Оценка уровня риска для опасностей, определённых на первом этапе, анализ причин и частота их проявления, определение уровней допустимости риска и вариантов его контроля выполнены с помощью построения деревьев событий.

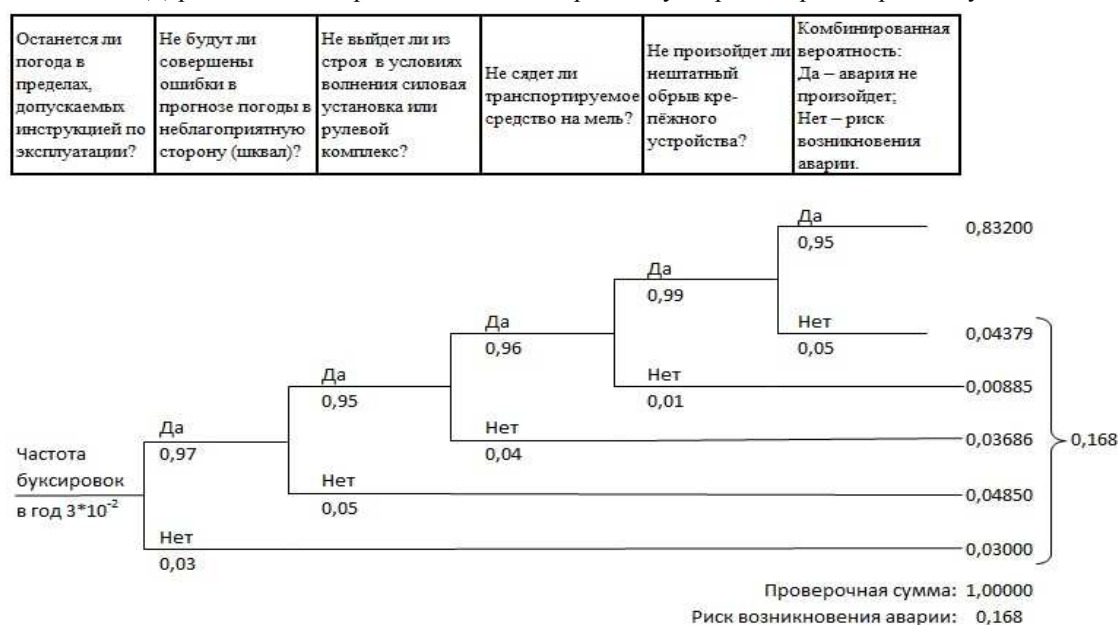
Этот шаг позволит определить пути уменьшения риска, произвести оценку финансовых затрат на мероприятия по уменьшению риска.

Ниже приведены примеры построения деревьев событий при эксплуатации малых буксирных, пассажирских и промысловых судов (таблицы 6 – 11).

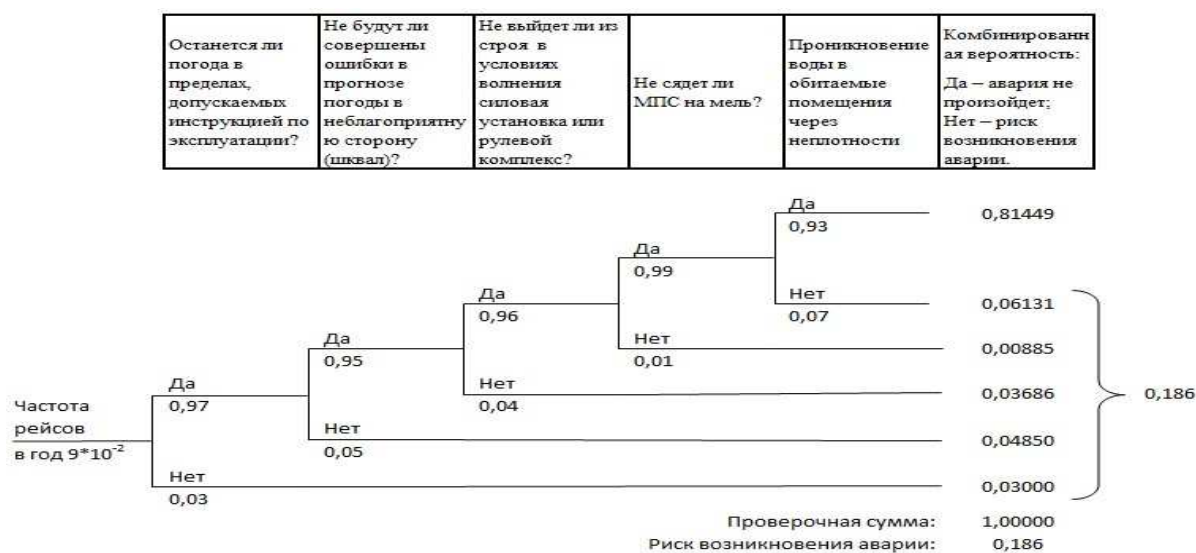
Таблиця 6 – Дерево событий при выполнении операций буксировки транспортных судов



Таблиця 7 – Дерево событий при выполнении операций буксировки транспортных судов



Таблиця 8 – Дерево событий при эксплуатации малых пассажирских судов



Выводы. Для определения полного спектра основных опасностей ММС различных типов при эксплуатации построены деревья отказов и матрицы риска. Основываясь на выполненных расчетах можно утверждать, что наиболее дорогими в плане потерь авариями являются опрокидывание и затопление ММС, которые в большинстве случаев приводят к потере человеческих жизней, тяжелым экологическим последствиям и экономическим потерям (потеря груза и судна). В соответствии с классификацией тяжести последствий аварии с малым морским судном, потерю остойчивости можно отнести к $C = 4 - 5$ (серьезное или катастрофическое). Опираясь на полный цикл режима работы судна, проанализированы возможные отказы. Оценены величины вероятности возникновения опасной ситуации, выявлены причины и частота проявления.

Наиболее интересным и перспективным направлением дальнейших исследований является разработка вероятностных критериев оценки остойчивости малых морских судов, практического метода проектирования малых морских судов с использованием судна-прототипа, определение связи между районом эксплуатации и характеристиками остойчивости малых морских судов.

Библиографический список использованной литературы

1. Вероятностно-экономический анализ целесообразности повышения требований к размерам корпусных конструкций танкеров с целью снижения риска разлива нефти при типовых авариях, обусловленных навигационными ошибками / Е.М. Апполонов [и др.] // Науч.-техн. сб. РС. — СПб: РС, 2001. — Вып. 24. — С. 135–147.
2. Егоров Г.В. Оценка риска судов ограниченных районов плавания на основе фактических данных за 1991–2002 годы / Г.В. Егоров // Сб. трудов пятой междунар. конф. по морским информационным технологиям "Моринтех-2003". — СПб: НИЦ "Моринтех", 2003. — С. 228–231.
3. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска / Г.В. Егоров. — СПб: Судостроение, 2007. — 384 с.

Поступила в редакцию 4.09.2014 г.

Раков О.І., Чемакіна Т.Л., Кузьміна Г.В., Балашов М.Г. Аналіз ризику з використанням формалізованої оцінки безпеки для малих морських суден різних типів

Ідентифіковані небезпеки для малих морських суден, проаналізовано можливі відмови, побудовані дерева подій і матриці ризику з оцінки величини ймовірності виникнення небезпечної ситуації.

Ключові слова: ідентифікація небезпек, оцінка остійності, критерій погоди, дерево подій, матриця ризику, малі морські судна, формалізована оцінка безпеки, теорія ризику.

Rakov A.I., Chemakina T.L., Kuzmina A.V., Balashov M.G. Risk analysis with the formalized safety assessment for small sea vessels of various types

Identified are the hazards for small ships, analyzed are the possible failures to construct a tree of events and risk matrix to assess the magnitude of the probability of occurrence of a hazardous situation.

Keywords: hazard identification, assessment of stability, the criterion of the weather, the tree of events, risk matrix, small ships, a formal assessment of safety, risk theory.