

УДК 629.5.01
Б 81

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ СУДНА НА ЭТАПЕ ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А. В. Бондаренко, канд. техн. наук

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Рассмотрен вопрос стоимостной оценки риска. Приведены формулы для расчета на этапе проектирования судна экономического ущерба от последствий аварии.

Ключевые слова: риск, авария, ущерб, количественная оценка.

Анотація. Розглянуто питання вартісного оцінювання ризику. Наведено формули для розрахунку економічних збитків від наслідків аварій судна на етапі його проектування.

Ключові слова: ризик, аварія, збитки, кількісна оцінка.

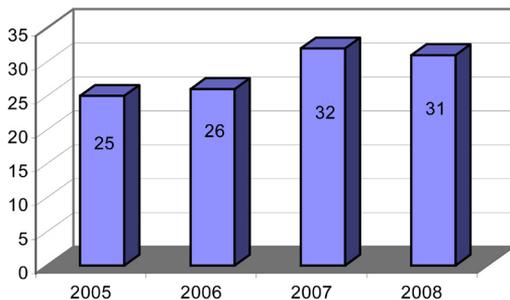
Abstract. The question of cost estimation of risk is considered. Formulas for the calculation of economic damage from the consequences of failures of ship on the stage of his design are resulted.

Keywords: risk, accident, damage, quantitative assessment.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Важную роль в снижении аварийности морского транспорта и уменьшения риска для человеческой жизни на море играет обеспечение надежности и безопасности функционирования судов. Выполненный анализ показал, что, несмотря на современные достижения науки и техники, аварийность судов достаточно высокая (см. рисунок). Лучшим средством борьбы с авариями судов является их предупреждение еще на этапе проектирования путем повышения безопасности.

Требования к безопасности судна трансформируются в требования к надежности



Распределение количества аварий на 1000 судов

всех составляющих его подсистем и судна в целом. Понятно, что недостаточная надежность будет влиять на безопасность судна и его эффективность. Качественная картина влияния надежности на затраты, связанные с постройкой и эксплуатацией судна, очевидна — повышение надежности приводит к росту цен на судно, но эксплуатационные расходы в результате роста целевой отдачи судов и сокращения числа ремонтов уменьшаются. Это уменьшение происходит до определенной величины, так как при существенном росте цен на суда эксплуатационные расходы начинают увеличиваться из-за значительной доли в этих расходах амортизационных отчислений. Таким образом, суммарный эффект от повышения надежности и безопасности судна может быть как положительным, так и отрицательным.

Известно, что надежность и безопасность судна закладываются при проектировании, обеспечиваются в процессе постройки, а поддерживаются в процессе эксплуатации.

Исследования показывают, что в общей эффективности примерно 90% предстоящих

эксплуатационных расходов формируется на этапах создания концепции проекта, проектирования и строительства такого сложного технического объекта, как судно. Поэтому целесообразно еще на стадии проектирования акцентировать внимание на вопросе повышения безопасности судна не в ущерб его общей эффективности.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Проведенный анализ существующих публикаций по данной проблеме показал, что в большинстве случаев безопасность судна на этапе проектирования фактически определялась требованиями к его мореходным качествам, записанными в виде ограниченной [5], а влияние надежности судна на показатели эффективности или не рассматривается, или же учитывается путем введения в математическую модель различных поправочных коэффициентов. В целом такой подход не позволяет учесть влияние проектных решений по повышению надежности и безопасности на эффективность судна.

Другой подход, в основу которого положена теория риска, базируется на методике формализованной оценки безопасности [2–4]. Но, как показывает опыт применения, данная методика подходит больше для этапа анализа и меньше всего — для синтеза судов.

В то же время современная концепция безопасности базируется на методах тео-

рии риска. Для широкого применения этой теории на этапе проектирования требуются достаточно простые и удобные для использования в инженерной практике методы количественного расчета рисков.

ЦЕЛЬЮ СТАТЬИ является оценка безопасности судна на этапе его проектирования с учетом экономических последствий аварий.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

При определении эффективности судна для учета принимаемых решений по обеспечению надежности и безопасности целесообразно использовать концепцию приемлемого риска. Процедура оценки риска R предполагает прежде всего расчет двух параметров — стоимости ущерба от аварии (отказа) и вероятности этого события:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i C_i,$$

где C_i — возможный ущерб от i -й аварии; P_i — вероятность возникновения i -й аварии.

Типичные случаи, приводящие к аварийным ситуациям на морском транспорте, приведены в таблице.

Для определения P_i предварительно необходимо провести анализ всех опасностей и, используя один из методов (например, «дерево отказов», «дерево событий»), проследить все логические взаимосвязи между техническими неполадками, внешними

Распределение аварийных ситуаций по типам и по годам

Типы аварий	2005	2006	2007	2008	2009
Повреждение корпуса или механизмов	438	394	534	521	387
Столкновения с судами	237	276	336	375	191
Снос (выброс)/посадка на мель	235	308	393	372	199
Столкновения с какими-либо объектами (кроме судов)	133	144	165	188	92
Пожары/взрывы	95	100	117	119	84
Затонувшие суда	4	51	54	38	32
Аварии в результате смещения груза и др.	5	9	4	2	0
Пропавшие суда	1	0	2	2	1
Повреждение или потеря судна в результате военных или других боевых действий	2	1	4	6	2
Общее количество аварий	1150	1283	1609	1623	988

Примечание. За 2009 год статистика приведена по состоянию на 31.09.2009.

условиями и человеческими ошибками, приводящими к рассматриваемому событию. Далее, применив аппарат имитационного моделирования, с помощью модели функционирования рассчитывать требуемые значения P_i .

Для количественной оценки риска каждый вид аварии должен характеризоваться определенной величиной ущерба. Выполненный анализ показывает, что в общем виде все опасности от аварии судна могут быть сведены в три основные группы рисков, связанные с угрозой жизни и здоровью людей (социально-экономические потери), угрозой загрязнения окружающей среды, нанесением ущерба судовладельцу и грузоотправителю. Наиболее трудно поддаются количественной оценке два вида ущерба — потеря человеческой жизни и ущерб окружающей среде.

В социально-экономические потери включаются затраты на компенсацию и проведение мероприятий вследствие гибели и травмирования людей (членов экипажа, пассажиров, третьих лиц). Указанный ущерб целесообразно определять по формуле [6]

$$C_{\text{гиб}} = \frac{C_{\text{ВВП}}}{(N_0 - N_1)0,5} \bar{P}_ж,$$

где $C_{\text{ВВП}}$ — годовой валовой внутренний продукт (ВВП) страны; N_0, N_1 — численность населения страны на начало и конец рассматриваемого года, для которого определен ВВП; $\bar{P}_ж$ — средняя продолжительность жизни, рассчитанная в году, для которого определен ВВП, лет.

Затраты, связанные с травмированием персонала, можно вычислить по формуле

$$C_{\text{тр}} = C_{\text{в.н}} + C_{\text{ин}},$$

где $C_{\text{в.н}}$ — расходы на выплату пособий по временной нетрудоспособности; $C_{\text{ин}}$ — расходы на выплату пенсий лицам, ставшим инвалидами.

Расходы на выплату пособий по временной нетрудоспособности

$$C_{\text{в.н}} = \frac{\bar{Z}}{30} T_{\text{в.н}} + C_{\text{леч}},$$

где \bar{Z} — среднемесячная зарплата в стране (по статистическим данным); $T_{\text{в.н}}$ —

продолжительность временной нетрудоспособности (для нетрудоспособных пострадавших — продолжительность клинического и амбулаторного лечения), дней; $C_{\text{леч}}$ — стоимость лечения пострадавшего.

Расходы на выплату пособий лицам, ставшим инвалидами,

$$C_{\text{ин}} = C_{\text{гиб}} K_{\text{ин}} + C_{\text{леч}},$$

где $K_{\text{ин}}$ — нормативный коэффициент, зависящий от группы инвалидности (I группа — 0,8; II группа — 0,6; III группа — 0,4).

Рассматривая вопрос стоимостной оценки экологического ущерба от морского транспорта, прежде всего следует отметить, что под экологическим ущербом понимают выраженный в денежной форме вред окружающей среде.

В большинстве случаев экологический ущерб от деятельности морского транспорта связан с аварийными ситуациями разлива нефти и нефтепродуктов, которые нередко вызывают обширное загрязнение окружающей среды, наносящее вред экосистеме в целом. Также следует учитывать, что от аварий, связанных с разливом нефти, страдает не только животный и растительный мир. Серьезные убытки несут местные рыбаки, отели и рестораны. Кроме того, с проблемами сталкиваются и иные отрасли экономики, особенно те предприятия, деятельность которых нуждается в большом количестве воды.

Ущерб от крупномасштабных разливов нефти подсчитать достаточно сложно. Он зависит от многих факторов: типа разлитых нефтепродуктов, состояния пострадавшей экосистемы, погоды, океанских и морских течений, времени года, состояния местного рыболовства и туризма и пр. Но крупные разливы нефти происходят достаточно редко. Поэтому целесообразно экологический ущерб от разлива нефти рассматривать при погрузочных/разгрузочных операциях танкеров и разливе топлива в результате повреждения топливных цистерн судов других типов.

Размер ущерба за загрязнение водных объектов нефтью C_n может быть определен с использованием «Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объ-

ектам вследствие нарушения водного законодательства» по формуле

$$C_n = K_{в.г} K_{в} K_{инд} K_{дл} H,$$

где $K_{дл}$ — коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации; $K_{в.г}$ — коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года; $K_{в}$ — коэффициент, учитывающий экологические факторы; $K_{инд}$ — коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития; H — базовый норматив платы для расчета размера вреда при загрязнении, определяется в зависимости от массы загрязняющего вещества.

При расчетах ущерба судовладельцу в случае аварии следует учитывать возможные исходы. Так, если в результате аварии судно затонуло, то необходимо определить экономический ущерб от потери судна в зависимости от его возраста по следующей формуле:

$$C_s = \frac{C_{s0}}{\left(1 + \frac{a}{100}\right)^n},$$

где C_{s0} — экономический ущерб от потери нового судна; n — возраст судна, лет; a — постоянная, может быть принята равной 10.

При повреждении судна необходимо учесть затраты на восстановление поврежденного корпуса, постановку в док (если требуется), ремонт. В начальном приближении стоимость ремонтных работ C_p может быть определена по формуле

$$C_p = C_k + C_{док} + C_{пер},$$

где C_k — затраты на ремонт корпуса, могут быть приближенно оценены как $C_k = M c_1$ [2]; M — масса конструкций, требующих замены; c_1 — удельная стоимость ремонта 1 т металла; $C_{док}$ — стоимость доковых работ, $C_{док} = c_2 GRT$; c_2 — удельная стоимость доковых работ; GRT — валовая регистровая вместимость судна; $C_{пер}$ — стоимость пере-

хода судна к судоремонтному заводу, включает в себя расходы на топливо, экипаж, возможные услуги буксиров.

Кроме того, в модели расчета доходов судовладельца необходимо учесть потери эксплуатационного времени из-за вывода судна из эксплуатации и, как следствие, недополучение прибыли.

Ущерб грузоотправителю связан с повреждением груза и может быть определен по формуле

$$C_{ip} = \frac{B_Q Q_y}{100},$$

где Q_y — количество поврежденного груза, %; B_Q — суммарная стоимость груза.

С учетом сказанного выше стоимость жизненного цикла судна, рассчитанная на этапе разработки проекта, может быть определена по формуле

$$LCC = C_{INV} + C_o + C_s + R - C_{RES},$$

где C_s — стоимость мероприятий по повышению надежности и безопасности; R — стоимостное выражение риска; C_o — стоимость эксплуатации и сопровождения; C_{INV} — стоимость капиталовложений, включая стоимость проектных работ; C_{RES} — остаточная стоимость.

Далее с использованием математического аппарата, приведенного в работе [1], решается оптимизационная задача. При ее формулировке следует учитывать, кроме традиционных, и ограничения, связанные с ущербом. Например, вероятность аварий не должна превышать определенный уровень затрат на те или иные мероприятия по повышению безопасности, стоимости ликвидации последствий аварий и т. д.

ВЫВОД

Приведенные формулы для количественного определения ущерба учитывают различные последствия аварий. Используя их на стадии проектирования при расчете безопасности судна, можно оценить влияние проектных решений на его общую эффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Бондаренко, А. В.* Метод проектирования судов по комплексному критерию эффективности и безопасности плавания [Текст] / А. В. Бондаренко, Э. В. Тольшев // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК. — 2009. — № 1 (424). — С. 42–47.
- [2] *Егоров, Г. В.* Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска [Текст] / Г. В. Егоров. — СПб. : Судостроение, 2007. — 384 с.
- [3] *Захаров, А. А.* Формализованная оценка безопасности — универсальный инструмент для снижения риска на транспорте [Текст] / А. А. Захаров // Транспорт Российской Федерации. — 2006. — № 3. — С. 66–68.
- [4] *Медведев, В. В.* Применение методологии формализованной оценки безопасности при проектировании судовой энергетической установки и ее элементов [Текст] / В. В. Медведев. — СПб. : Реноме, 2008. — 328 с.
- [5] *Нарусбаев, А. А.* Введение в теорию обоснования проектных решений [Текст] / А. А. Нарусбаев. — Л. : Судостроение, 1976. — 224 с.
- [6] *Шевченко, В. В.* Оцінка економічної ефективності заходів з підвищення безпеки руху поїздів [Текст] / В. В. Шевченко, О. М. Гненний // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. транспорту ім. акад. В. Лазаряна. — Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. транспорту, 2009. — Вип. 28. — С. 287–290.