

УДК 656.61.08

Диссипативное ассоциативно-структурное описание системы безопасности и ее функционирование в рамках теории фазовых переходов

А.Н. Анисимов¹, А.А. Анисимов¹, А.А. Бутаков², В.И. Меньшиков²

¹ Морская академия МГТУ, кафедра управления судном и промышленного рыболовства

² Морская академия МГТУ, кафедра судовождения

Аннотация. Дано математическое описание функционирования ассоциативно-структурной системы мореплавания. Показано направление поддержания состояния безопасности за счет использования привлекаемого ресурса.

Abstract. Mathematical description of the associative-structural system of navigation has been given. The way of maintenance of state of security using resources has been shown.

Ключевые слова: диссипация, система, безопасность, мореплавание, ресурс

Key words: dissipation, system, security, navigation, resource

1. Введение

Ассоциативная система "человек – судно – море" способна обеспечить заданный уровень безопасности мореплавания лишь при условии неизменности логического оператора связи и ее системообразующих факторов, рассматриваемых как ассоциации. Равновесное состояние такой системы, с неизменностью логического оператора связи, возможно только за счет поддержания в отдельных ассоциациях ("человеческий элемент", "судно") стандартных требований Международных морских конвенций, а также региональных и национальных норм и правил. Нарушение и невыполнение требований Международных морских конвенций, кодексов к ним, региональных и национальных норм и правил неизбежно приводит к изменениям в логическом операторе и изменениям самих ассоциаций.

Неконтролируемые изменения в структуре системы "человек – судно – море" могут быть связаны с состоянием такой ассоциации как "море". Поэтому требования к обеспечению безопасности мореплавания судна в тумане, ночью, в шторм, в осенне-зимний период, при ледовом плавании ужесточаются и устанавливаются исходя из преобладающих гидрометеорологических факторов.

Равновесное состояние ассоциативно-структурной системы может быть нарушено при качественных изменениях в ассоциации "море", например при переходе ассоциации из одного агрегатного состояния в другое. Принято считать, что при проведении ходовых испытаний судна нормальным состоянием ассоциации "море" является жидкая среда, находящаяся в состоянии относительного покоя. Поэтому для проведения этих испытаний и снятия достоверных параметров, определяющих мореходные качества судна, необходимо соблюдение определенных гидрометеорологических условий, установленных правилами Морского регистра судоходства России.

При эксплуатации судов в осенне-зимний период ассоциация "море" переходит в другое качественное состояние, характеризующееся ледовой обстановкой. Данное фазовое состояние ассоциации "море" для равновесности ассоциативно-структурной системы требует от остальных ассоциаций ("человеческого элемента" и "судна") существенных изменений, обеспечивающих на выходе системы состояние безопасного мореплавания.

2. Ассоциативно-структурный подход к построению системы безопасного мореплавания

В основе управления состоянием безопасности мореплавания лежат получение, обработка, передача информации, а также ограниченный механизм предвидения выбор управляющих действий. В такой постановке любая организационно-техническая система управления состоянием безопасности мореплавания может быть представлена как связанное множество, состоящее из "человеческого элемента", "технического элемента" (судна) и "окружающей среды" (моря). Схематизированная структура взаимодействий элементов системы управления безопасностью мореплавания может быть представлена направленным графом с циклической топологией (рис. 1).

В этой структуре управляющий элемент (ЧЭ), получая от технических средств судовождения информацию о состоянии объекта (судна) и окружающей среды, идентифицирует и классифицирует эти состояния. Полученная информация является основой для функционирования механизма принятия решений, который осуществляет выбор управления в рамках своего механизма предвидения. Полученные управления реализуются на объекте, изменяя его состояние так, чтобы это состояние

соответствовало условиям безопасности мореплавания. При этом успешное решение управленческой задачи во многом определяется уже на этапе построения механизма предвидения (плана судовой ключевой операции), которое связано при фиксированной цели управления с построением моделей взаимодействия элементов структуры.

Однако такой подход к построению модели управления состоянием безопасности мореплавания не всегда реализуем. Например, расширенное описание взаимосвязи элементов "судно – море", приведенное в работе (Зайков, 1982), даже без учета взаимодействий "человеческого элемента", не способно дать приемлемых практических результатов. Особенностью этого расширенного описания взаимосвязи элементов "судно – море" является эффект детерминированного хаоса. Дополнительное включение в структуру "человеческого элемента" со свойственными ему нелинейностями еще более усилит эффект детерминированного хаоса. Таким образом, проблемы, связанные с размерностью и нелинейностью во взаимосвязях структуры (рис. 1), порождают эффект детерминированного хаоса (странный аттрактор), заставляя искать пути построения систем управления состоянием безопасности мореплавания, более приемлемые с практической точки зрения.

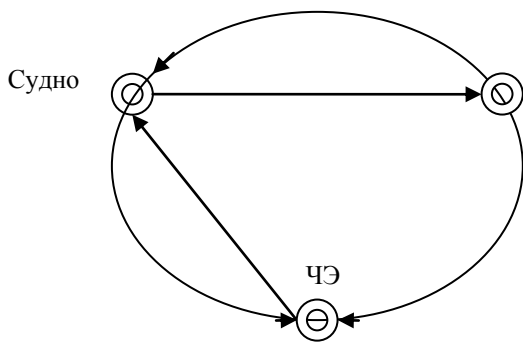


Рис. 1

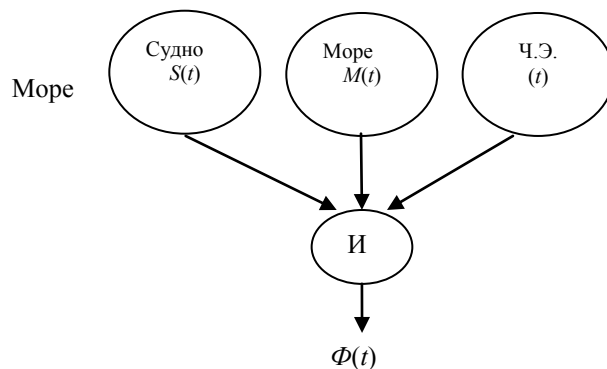


Рис. 2

В настоящее время одним из приемлемых вариантов построения системы управления безопасностью мореплавания является модель, представленная в виде иерархии линейных уравнений, решения которых следует "склеивать", как это принято в теории скользящих режимов (Юдин, 2007). Вторым приемлемым вариантом описания системы управления состоянием безопасности мореплавания может быть ассоциативно-структурный подход, на котором остановимся подробно. Суть подхода заключается в том, что системообразующие факторы являются лишь ассоциациями, а сама система представляет собой объединение этих ассоциаций, выполненное с помощью логического оператора связи. Схематизированную структуру управления состоянием безопасности мореплавания в рамках ассоциативно-структурного подхода можно представить следующим графом (рис. 2).

Одним из основных результатов, вытекающим из предложенной модели, является то, что она позволяет определить такое понятие как безопасное эксплуатационное состояние судна, относительно которого и следует управлять судном для поддержания заданного уровня безопасности мореплавания. Если из процесса $\Phi(t)$ выделить и исключить неразличимые состояния, то эксплуатационные параметры судна в рамках ассоциативно-структурной системы можно представить как следующую последовательность фазовых переходов:

$$\Phi_1 \rightarrow \Phi_2 \rightarrow \Phi_3 \rightarrow \dots \rightarrow \Phi_m \quad \text{при } t \rightarrow N. \quad (1)$$

Введем индикаторную функцию вида:

$$f(\Phi_N) = \begin{cases} 1, & \text{если } \Phi_m \subseteq \Phi_0, \\ 0, & \text{если } \Phi_m \not\subseteq \Phi_0, \end{cases} \quad (2)$$

где Φ_0 – параметры эксплуатируемого судна, отвечающие норме "хорошая морская практика".

Очевидно, что в силу введенной индикаторной функции выражение

$$[\int_0^t f(\Phi_N) dt] / m$$

будет определять частное от деления числа состояний $\Phi_m \subseteq \Phi_0$ на общее число m состояний Φ_m .

Тогда в пределе равенство

$$f^*(\Phi_N) = \lim_{N \rightarrow \infty} [[\int_0^t f(\Phi_N) dt] / m]$$

будет определять среднюю частоту (вероятность) пребывания $\Phi_m \subseteq \Phi_0$.

Пусть функция $f^*(\Phi_N)$ равна постоянной величине для любого множества Φ_0 , тогда, исходя из известного соотношения

$$\int_{\Phi} f^*(\Phi_N) dm = \int_{\Phi} f(\Phi_N) dm,$$

можно получить следующее равенство:

$$1/m \sum_{k=1}^m f(\Phi_N) = m(\Phi_N) / m(\Phi) = \text{const} = p_1.$$

Тогда вероятность безопасного эксплуатационного состояния судна $\Phi_m \subseteq \Phi_0$ в любой момент времени определяется через хорошо определенное значение p_1 и, в рамках теоремы Боголюбова, временную последовательность (1) следует наделять свойством эргодичности. Если же далее использовать гипотезу о полной вероятности сложного события вида (2), то аналогично можно получить хорошо определенную вероятность p_2 событий $\Phi_m \not\subseteq \Phi_0$, когда эксплуатационное состояние судна не отвечает условию безопасного мореплавания.

Таким образом, область, в которой реализуется последовательность фазовых переходов (1), фактически обладает двумя точками плотности, и для поддержания состояния безопасности мореплавания при эксплуатации судна необходимо и достаточно минимизировать хорошо определенное значение p_2 . В свою очередь, минимизация значения p_2 возможна за счет целенаправленного изменения (управления) состояниями ассоциации "человеческого элемента" и технической ассоциации (судна) (рис. 2) с помощью выделенного компанией ресурса. Возможность поддержания равновесного состояния безопасного мореплавания судна, через ресурс без изменения логического оператора связи ассоциаций, является признаком диссипативности ассоциативно-структурной системы в целом.

3. Основные ресурсы, привлекаемые в ассоциации для обеспечения безопасного плавания судна в ледовых условиях

Основными элементами ресурса ассоциации "судно" при плавании в ледовых условиях являются конструктивные особенности, связанные с усилением корпуса и повышением надежности работы приводов, механизмов, устройств, дополнительного оборудования. Эти элементы технического ресурса, как правило, реализуются на стадии проектирования и постройки судна. Так, судам ледового плавания квалификационные общества присваивают разные ледовые классы, подтверждающие возможность плавания в тех или иных ледовых условиях, классифицируемых, в свою очередь, по таким показателям как сплоченность, толщина, степень битости льда в канале за ледоколом и в припае.

Разнообразие условий плавания должно учитываться при маневрировании судна и отражаться в специальных судовых документах, которые также следует относить к техническому информационному ресурсу. В современном техническом информационном ресурсе маневренные характеристики приведены для условий плавания судов на чистой воде и, следовательно, не способны в должной мере обеспечить безопасность в ледовых плаваниях. Например, элементы циркуляции в ледовых условиях не могут быть адекватными элементами циркуляции, которые наблюдаются на чистой воде.

Плавание в ледовых условиях практически всегда осуществляется в неустановившихся режимах движения, но для обеспечения безопасности мореплавания при маневрировании используется информация о поворотливости судна на чистой воде. Естественно, что использовать такую информацию и, тем более, руководствоваться ею при управлении судна в узких каналах и на фарватерах не совсем правомерно.

При управлении судном в ледовых условиях обычно принимается, что плавание осуществляется в однородном сплошном ледовом поле. Практически такое допущение следует считать вполне приемлемым, если оценка качества управления осуществляется с позиции устойчивости судна на курсе. Однако при проводке судов по ледовым каналам и фарватерам более корректно оценивать качество управления, если привлекать параметры состояния рыскливости судна. Показатели рыскливости, включенные в судовую информационную базу (технический информационный ресурс), позволят повысить эффективность управления судном при плавании по ледовым каналам и на ледовых фарватерах.

Отсутствие методик по идентификации ледовых маневренных характеристик судна следует отнести к одной из основных причин, определяющих отсутствие документации, способной информационно поддержать безопасность мореплавания при ледовом плавании. С практической точки зрения, ледовая эксплуатационная документация должна быть представлена в графическом виде и отражать изменение параметров движения судна в функции от величины перекадки руля в той или иной ледовой обстановке.

При любом ледовом плавании можно выделить три основных режима движения судна во льду:

- переменными курсами в обход больших сплоченных или отдельных крупных ледовых образований (поля айсбергов);
- генеральным курсом в зоне дрейфующего льда;
- форсированным режимом для преодоления тяжелых сплоченных льдов и для плавания в припае.

Тогда именно ледовая документация, рассматриваемая как информационный технический ресурс, включающий графические представления об инерционных характеристиках судна и особенностях изменения параметров движения этого судна в функции от величины перекладки руля, способна на всех трех режимах движения информационно обеспечить безопасность мореплавания в любой ледовой обстановке.

Для обеспечения безопасности мореплавания на судах ледового класса, при их самостоятельном ледовом плавании или в караване за ледаколом, существенное значение имеет правильная организация управления техническими средствами. Прежде всего, это касается схемы управления главным двигателем (ГД). Современные суда практически все имеют ДАУ (систему дистанционного автоматического управления ГД). При наличии винта регулируемого шага (ВРШ) ДАУ обеспечивает посредством МИШ (механизма изменения шага гребного винта) разворот лопастей винта. Однако при ледовом плавании далеко не все режимы управления ГД и ВРШ посредством ДАУ являются приемлемыми: инерционность системы ДАУ способна создавать предпосылки к аварийным ситуациям, в особенности при плавании судов в караване. Система ДАУ по времени отработки поданной команды менее эффективна, чем машинный телеграф (МТ). Поэтому, если впереди идущее судно в караване застревает во льду, то судно, использующее систему ДАУ, совершает навал. При этом на практике на вопрос, почему на судне используется не совсем подходящий режим управления ГД, можно получить только один ответ – "так принято в компании".

При ледовом плавании "человеческий элемент", поддерживая безопасный режим движения судна (1), должен мгновенно адаптироваться к новому состоянию окружающей среды и к новым условиям плавания. Возможность такой адаптации определяется практическим опытом морского специалиста и уровнем его теоретической подготовки, которая обязательно должна включать знание методов управления судном во льдах при любых характеристиках ледовых образований.

Современная подготовка морского специалиста, осуществляемая в рамках требований Морской Конвенции ПДНВ-78/95, предусматривает только подготовку стандартного специалиста для плавания в условиях чистой воды на стандартном по маневренным качествам судне. Такой системе подготовки морских специалистов свойственно лишь заучивание тех или иных норм и положений. Непонимание физики процессов ледового плавания приводит к тому, что на мостике судна появляются специалисты не мыслящие, а исполняющие. Опыт лоцманской ледовой проводки судов Белым морем и при заходах в порты показывает, что в настоящее время идет смена поколений морских специалистов, и на место "мыслящих" приходят "исполняющие".

При обеспечении безопасности ледового плавания существенное значение имеют оценки параметров ледовых образований, таких, например, как сплоченность льда. Несмотря на наличие современных гидрометеорологических средств обеспечения безопасности ледового плавания, большинство параметров, характеризующих состояние ледовых образований, определяются субъективно с помощью визуальных наблюдений. Так, по результатам проведения визуального сравнения состояний льда, на расстояниях от 1 до 1,5 морских миль от судна через равные промежутки времени, удается прогнозировать сплоченность льда по направлению генерального движения судна. Однако такой прогноз может быть составлен только в светлое время суток.

Таким образом, основным ресурсом ассоциаций "судно" и "человеческий элемент" является наличие на судне данных о его маневренных характеристиках при ледовом плавании. Весьма важным представляется подготовка морских специалистов для такого плавания и, в частности, включение в программу подготовки и переподготовки морских специалистов физических основ ледового плавания, а также разработка приемов практической оценки параметров состояния ледовых образований.

4. Заключение

Ассоциативная система "человек – судно – море" способна обеспечить заданный уровень безопасности мореплавания лишь при условии неизменности логического оператора связи и ее системообразующих факторов, рассматриваемых как ассоциации.

Область, в которой реализуется последовательность фазовых переходов, может обладать двумя точками плотности, и для поддержания состояния безопасности мореплавания необходимо и достаточно минимизировать хорошо определенное значение p_2 .

В свою очередь, минимизация значения p_2 возможна за счет целенаправленного управления состояниями ассоциации "человеческий элемент" и технической ассоциации ("судно") с помощью выделенного компанией ресурса.

Литература

- Зайков В.И. Прогнозирование траектории движения судна в условиях ветра и течения. *Труды Ленинград. кораблестроит. ин-та*, вып. 175, с.60-68, 1982.
- Юдин Ю.И. Синтез моделей механизма предвидения для экспертных систем, обеспечивающих безопасную эксплуатацию судна. *Мурманск, МГТУ*, 198 с., 2007.