

УДК 656.61.052.08 : 519.87

## Надёжность наблюдения за окружающим навигационным пространством при ошибках "человеческого элемента"

М.С. Житняк, И.А. Кулезнёв, В.И. Меншиков

Морская академия МГТУ, кафедра судовождения

**Аннотация.** Показано, что в организационных и организационно-технических системах наблюдения за окружающим навигационным пространством коллективные ошибки "человеческого элемента", входящего в состав ходовой вахты на мостике судна, способны существенно снизить вероятность безошибочного функционирования всей системы в целом. Предложено для оценки надёжности системы наблюдения использовать дерево ошибок с переменной структурой, позволяющее определять числовые показатели надёжности таких систем при любых видах ошибок "человеческого элемента".

**Abstract.** It has been shown that in organizational and technical systems of observing surrounding navigation space collective errors of a "human element" being on watch on the vessel bridge are capable to reduce significantly probability of faultless functioning of the system as a whole. For evaluation of observation system reliability it has been proposed to use a tree of errors with a variable structure allowing to define numerical indicators of such systems reliability at any kinds of errors of a "human element".

**Ключевые слова:** наблюдение, ошибки, "человеческий элемент", безопасность, мореплавание

**Key words:** observation, errors, "human element", safety, navigation

### 1. Введение

Успешное управление состоянием безопасности мореплавания невозможно без постоянного и надлежащего наблюдения, которое должно вестись в соответствии с международными правилами предупреждения столкновений судов в море 1972 года. В процессе наблюдения ходовая навигационная вахта осуществляет всестороннюю и полную оценку обстановки и существующих опасностей по возможным параметрам рисков, при постоянной готовности путём визуального слухового и радиолокационного наблюдения, а также всеми другими имеющимися средствами к немедленным и надлежащим действиям при любом опасном изменении окружающей обстановки.

Состав ходовой навигационной вахты и организацию системы наблюдений определяет капитан судна, принимая во внимание такие основные параметры окружающей среды как видимость, погоду и состояние моря, интенсивность судоходства, а также необходимость в повышенном внимании при плавании в районе систем разделения движения судов. Кроме того, при организации системы наблюдений за окружающей средой принимается во внимание опыт вахтенного помощника и вахтенного матроса-наблюдателя, а также возможность немедленного усиления ходовой вахты в случаях, когда этого потребует изменившаяся обстановка. На практике в дневное время вахтенный помощник капитана может оставаться единственным "человеческим элементом", который ведёт наблюдения. Такой вариант в организации системы наблюдений возможен лишь при условии, что окружающая навигационная обстановка является безопасной с полностью учтёнными сопутствующими факторами (*Гладышевский и др.*, 2008).

Возможные изменения в составе "человеческого элемента" системы наблюдений и наличие у этого элемента как индивидуальных, так и коллективных ошибок восприятия объектов навигационного пространства делают необходимым проведение исследований, направленных на разработку оценок надёжности таких организационных систем. При этом особо важным направлением исследования надёжности систем наблюдения следует связывать с возможностью появления у индивидуумов из состава "человеческого элемента" ошибок наблюдения, сгенерированных общими причинами. Поэтому оценку надёжности функционирования системы наблюдений на ходовом мостике судна за окружающим навигационным пространством в любых вариантах её организации и при наличии коллективных ошибок "человеческого элемента", вызванных общими причинами, следует отнести к актуальной задаче, связанной с обеспечением безопасности мореплавания.

### 2. Оценка надёжности системы наблюдения при ошибках "человеческих элементов", вызванных общей причиной

При оценке надёжности системы наблюдения на ходовом мостике судна при возможном возникновении ошибок "человеческого элемента", вызванных одной общей причиной (одним фактором), целесообразно в отличие от существующих рекомендаций, изложенных, например в работе

(Александровская и др., 2001), использовать модель  $\beta$ -фактора. Основой этой модели является предположение о наличии пропорциональной зависимости между ошибками, сгенерированными одной причиной и независимыми ошибками, определёнными апостериорно на основании эксплуатационной статистики. Основным и принципиальным недостатком модели  $\beta$ -фактора следует считать отсутствие как практических, так и теоретических доказательств существования этой причинно-следственной зависимости, особенно для организационных систем, имеющих различный уровень самоконтроля у "человеческого элемента", включённого в состав таких систем. Поэтому неоправданное использование модели  $\beta$ -фактора для оценки надёжности функционирования любых организационных систем может привести к значительным вычислительным ошибкам и неправильным окончательным выводам. Однако для организационных или организационно-технических систем наблюдения, когда существует недостаток в статистической информации по видам ошибок "человеческого элемента", модель  $\beta$ -фактора является всё же наиболее предпочтительной. Модель  $\beta$ -фактора позволяет использовать эксплуатационную статистику независимых ошибок "человеческого элемента" вместо статистики о наличии пропорциональной зависимости между ошибками, сгенерированными одной причиной (общим фактором).

Предложенная к практическому использованию модель  $\beta$ -фактора, с одной стороны, является грубой, а с другой стороны, достаточно простой, поэтому её можно рекомендовать только для оценочных расчётов надёжности функционирования организационных и организационно-технических систем наблюдения за окружающим навигационным пространством. Простота модели  $\beta$ -фактора объясняется тем, что в ней используются только два определяющих параметра. Первый параметр –  $\beta$  численно равен отношению вероятности ошибки наблюдения "человеческого элемента" по общим причинам к полной (общей) вероятности его ошибочной деятельности при наблюдениях за окружающим навигационным пространством, второй параметр –  $q_i$  равен вероятности появления ошибок у каждого индивидуума из состава "человеческого элемента" ходовой вахты на мостике судна.

Метод расчёта надёжности организационной системы наблюдений за окружающим навигационным пространством в соответствии с моделью  $\beta$ -фактора предполагает, что при появлении ошибки, обусловленной действием одной, но общей причины, весь "человеческий элемент" из состава ходовой вахты на ходовом мостике судна, так или иначе, ошибается. Поэтому можно принять, что все вероятности  $q_i$ , кроме  $q_1$  и  $q_m$ , должны быть равны нулю. Тогда вероятности появления ошибок у каждого индивидуума из состава ходовой вахты на мостике судна будут равны

$$q_i = \beta q_0 \text{ и } q_1 = (1 - \beta) q_0.$$

Учитывая далее, что если общая вероятность ошибки "человеческого элемента", наблюдающего за окружающим навигационным пространством, равна  $q_0$ , можно найти:

$$\beta = q_m (q_1 + q_m).$$

Следовательно, вероятности появления ошибок по общим причинам при наблюдениях за окружающим навигационным пространством для каждого индивидуума из состава "человеческого элемента", включённого в состав ходовой вахты на мостике судна, будут равны:

$$q_k = \begin{cases} (1 - \beta) q_0 & \text{при } k = 1; \\ 0 & \text{при } 2 \leq k \leq m; \\ \beta q_0 & \text{при } k = m. \end{cases}$$

Для количественного и качественного анализа надёжности организационной системы наблюдений за навигационным пространством на ходовом мостике судна при наличии ошибок по общей причине у "человеческого элемента" и с учётом последнего выражения, можно рекомендовать графическую модель – дерево ошибок. Дерево ошибок строится, как правило, сверху вниз, начиная с констатации основного нежелательного события (ошибки "человеческого фактора"). Далее изображаются комбинации факторов, которые могут вызвать такую ошибку, в виде логической цепочки связей типа "И" (необходимо наличие совокупности факторов, чтобы вызвать это событие) и "ИЛИ" (различные факторы могут независимо друг от друга вызывать событие). Основное событие, изображаемое внизу графической модели, – фактор, вызвавший ошибку по общей причине у "человеческого элемента". Для вычисления вероятности возникновения такой ошибки достаточно определить вероятность её появления. Если присутствует связь типа "И", вероятности событий суммируются. Если же присутствует связь типа "ИЛИ", то вероятности перемножаются. Кроме того, при количественном анализе надёжности системы наблюдения за навигационным пространством и построении дерева ошибок по общим причинам должны учитываться следующие особенности:

– необходимо определить количество воздействующих на "человеческий элемент" и подпадающих

под анализ общих причин;

– для каждой причины необходимо выделить полный набор индивидуумов из состава "человеческого элемента", которые подвержены воздействию этой причины;

– для каждой общей причины следует построить фрагмент дерева ошибок, который включает соединённый через логический оператор "ИЛИ" набор ошибок одного индивидуума совместно с любой возможной комбинацией ошибок другого индивидуума, также подверженного воздействию этой же причины;

– фрагменты дерева ошибок индивидуумов для каждой общей причины соединяются между собой с помощью оператора "ИЛИ" со всеми независимыми ошибками у этих индивидуумов.

Предложенный графический способ описания процесса появления ошибок по общей причине с помощью моделей типа дерева ошибок и их объединение в единое дерево для всего "человеческого элемента" можно использовать в качестве универсального приёма для оценки надёжности любых организационных или организационно-технических систем, которые, ведя наблюдение за окружающим навигационным пространством, обеспечивают безопасность мореплавания.

В качестве примера оценим снижение надёжности функционирования системы "кругового обзора" при наличии ошибок по общей причине у индивидуумов из состава "человеческого элемента", привлекаемого к несению вахты. Система "кругового обзора" в обычных условиях плавания включает в себя два индивидуума (вахтенного помощника капитана и матроса-вперёдсмотрящего). Тогда дерево ошибок наблюдения вахтенного коллектива за окружающей средой без учёта появления ошибок по общей причине в рамках сформулированных выше особенностей можно представить в виде древовидной структуры. При этом ошибки наблюдений за состоянием окружающего навигационного пространства как первого, так и второго индивидуума в структуре должны быть соединены с вершинным событием (общей ошибкой обнаружения навигационной опасности) с помощью оператора "И". В том случае, когда у индивидуумов из состава вахтенного коллектива ("человеческого элемента") появляется ошибка, сгенерированная общей причиной, то структура должна измениться. Так, в соответствии с особенностями построения дерева ошибок в его структуре должно появиться новое событие (ошибка по общей причине для индивидуумов один и два), которое уже при помощи оператора "ИЛИ" соединяется с вершинным событием (общей ошибкой при обнаружении навигационной опасности).

Для оценки надёжности системы наблюдений за окружающим навигационным пространством при наличии ошибок наблюдения, генерируемых общими причинами, организационную структуру системы кругового обзора следует рассматривать следующим образом. Структура системы наблюдения должна включать двух индивидуумов, ведущих наблюдения, которые соединены параллельно, а к ним последовательно необходимо подсоединить дополнительный фиктивный элемент. Вероятность ошибки от фиктивного элемента в структуре системы кругового обзора тождественно равна вероятности ошибки, порождаемой общей причиной. Таким образом, нетрудно заключить, что показатель надёжности реальной системы наблюдения за окружающим навигационным пространством (с учётом ошибок "человеческих элементов", порождаемых общей причиной) должен снизиться, т.к. вероятность безошибочного функционирования системы наблюдений меньше, чем значения вероятности безошибочного функционирования каждого из её индивидуумов.

### 3. Пример оценки надёжности наблюдений в судовой системе визуального кругового обзора

Оценим снижение надёжности контроля окружающей среды, полагая, что вероятность ошибки наблюдений, порождаемая общей причиной  $Q_d$  в подсистеме кругового обзора, может быть, например, определена величиной  $10^{-3}$ . В то же время вероятность безошибочного контроля окружающей среды каждым индивидуумом из состава "человеческого элемента" этой системы равна  $P_i = 0,95$  ( $i = 1, 2$ ). Тогда вероятность безошибочного наблюдения за навигационным пространством в системе кругового обзора  $P_{C,1}$  при появлении индивидуальных ошибок:

$$P_{C,1} = 1 - (1 - P_1) (1 - P_2) = 1 - (1 - 0,95)^2 = 0,9975.$$

В тех случаях, когда функционирование системы кругового обзора отягощено коллективными ошибками (ошибками с общими причинами), вероятность безошибочного наблюдения за навигационным пространством в системе кругового обзора  $P_{C,2}$  будет равна:

$$P_{C,2} = [1 - (1 - P_1) (1 - P_2)] (1 - Q_d) = 0,95 \times 0,95 = 0,9025.$$

Сопоставляя величины  $P_{C,1}$  и  $P_{C,2}$  можно сделать вывод о том, что из-за ошибки, вызванной общей причиной, реальная надёжность системы кругового обзора может уменьшиться по сравнению с планируемой надёжностью. Приведённый пример показывает, что реальное повышение безопасности мореплавания из-за наличия ошибок "человеческих элементов", сгенерированных одной общей

причиной, должно быть связано не с резервированием элементов в системе наблюдения, а с исключением факторов, приводящих к таким ошибкам. При этом основным путём повышения показателя безошибочности функционирования системы кругового обзора, и, соответственно, повышение показателя безопасности мореплавания будет не увеличение количества индивидуумов в составе вахты, а исключение коллективных ошибок человеческого элемента, обусловленных действием одного причинного фактора. На практике для уменьшения вероятности коллективной ошибки при наблюдениях в системе кругового обзора с ошибками, вызванными одной общей причиной, следует использовать принцип функционального разделения обязанностей индивидуумов из состава "человеческого элемента" и учитывать особенности восприятия информации этими индивидуумами.

#### **4. Заключение**

Успешное управление состоянием безопасности мореплавания не возможно без постоянного и надлежащего наблюдения за окружающим навигационным пространством, которое осуществляется в рамках организационных или организационно-технических систем несения ходовой вахты и выполняется в строгом соответствии с международными правилами предупреждения столкновений судов в море.

Показатель надёжности реальной системы наблюдения за окружающим навигационным пространством (с учётом ошибок "человеческих элементов", порождаемых общей причиной) всегда снижается, поскольку вероятность безошибочного функционирования всей системы наблюдений в целом меньше, чем значения вероятности безошибочного функционирования каждого индивидуума из состава "человеческого элемента", включённого в состав ходовой вахты.

При выполнении наблюдений за навигационным пространством в системе кругового обзора уменьшение вероятности появления коллективных ошибок, вызванных общим фактором, следует связывать как с применением принципа функционального разделения обязанностей индивидуумов из состава "человеческого элемента", так и с учётом особенностей восприятия информации этими индивидуумами.

#### **Литература**

- Александровская Л.Н., Аронов И.З., Елизаров И.А. и др.** Статистические методы оценки безопасности сложных технических систем. *М., Логос*, 135 с., 2001.
- Гладышевский М.А., Пасечников М.А., Пеньковская К.В.** Организационно-технические структуры, обеспечивающие безопасную эксплуатацию судна. *Под общ. ред. В.И. Меньшикова. Мурманск, МГТУ*, 212 с., 2008.