

## **Организованность социо-технической системы, обеспечивающей поддержание заданного уровня состояния безопасной эксплуатации судна**

**В.И. Меньшиков, М.А. Пасечников, К.В. Меньшикова,  
М.А. Гладышевский**

*Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения*

**Аннотация.** Исследуются условия, при выполнении которых социо-техническая система "Вахта", определенная в тексте Международной Конвенции ПДНВ – 78/95 (*Международная конвенция...*, 2000) и текстах Кодексов к ней и предназначенная для поддержания заданного уровня состояния безопасной эксплуатации судна, является управляемой, наблюдаемой и устойчивой.

**Abstract.** The paper considers the socio-technical system "Watch" defined in the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping of Vessel Personnel (STCW-95) and its Codes. The system is intended for maintenance of the set level of the vessel secure exploitation. The authors have researched the conditions when the system appears to be operated, observable and stable.

### **1. Введение**

Количественный и качественный рост мирового флота, бесспорно, отражается на безопасности, и большая часть аварий в мировом судоходстве так или иначе может быть связана с состоянием эксплуатации судов, которое поддерживается как судовым экипажем, так и береговым персоналом судоходной компании. Поэтому сегодня уже нельзя подходить к оценке деятельности специалиста со старыми мерками, а следует рассматривать роль этого специалиста как социального элемента социо-технической системы управления состоянием безопасной эксплуатации судов компании.

В рамках социо-технического подхода судно является сложным инженерно-техническим элементом, объединяющим в себе как технические средства, так и средства наблюдения за ними – приборы, информационные, информационно-измерительные и экспертные системы. Во взаимосвязи с социальным элементом – судовым экипажем, организованным с помощью расписаний по несению вахты, инженерно-технический элемент образует социо-техническую систему управления состоянием безопасной эксплуатации судна.

До появления на мостике судна сложных приборов, информационных и экспертных систем судоводитель непосредственно оценивал результаты своей деятельности. Однако нарастание технической вооруженности мостика судна существенно изменило технологию поддержания состояния безопасной эксплуатации. В настоящее время, оценивая результаты своей деятельности, морской специалист в первую очередь имеет дело с показаниями приборов, данными информационных и экспертных систем, снимает с них сообщения о состоянии безопасности судна, декодирует эти сообщения, синтезирует их, принимает решения по выбору управления и, наконец, определенным образом действует. Такие действия могут быть как простыми, так и сложными. Тем не менее, во всех случаях судоводитель подает управляющие сигналы, которые целенаправленно изменяют состояние безопасной эксплуатации судна. Причем текущее состояние безопасной эксплуатации изменяет показания приборов и систем, а полученные с них текущие сообщения вновь позволяют судоводителю оценить результаты своей целенаправленной деятельности.

Внедрение автоматических систем на мостике судна естественным образом отдаляет судоводителя от управления состоянием безопасной эксплуатации, так как он уже не в состоянии непосредственно контролировать весь производственный процесс в целом. Между органами чувств судоводителя и судном (связанным набором технических средств) "вклиниваются" приборы, информационные, информационно-вычислительные и экспертные системы, которые, в свою очередь, образуют подсистему "Ходовой мостик", поставляющую судоводителю информацию о состоянии объекта управления.

Отделение судоводителя от непосредственного управления состоянием безопасной эксплуатации создает некое несоответствие во взаимосвязях между человеком и объектом управления. Так, внедрение подсистемы "Ходовой мостик", с одной стороны, облегчает труд человека, поскольку эта подсистема берет часть управленческих функций на себя. С другой стороны, чем больше информационных, информационно-вычислительных и экспертных систем входит в состав технических средств наблюдения и чем сложнее их функции, тем острее возникает потребность как в координировании работы технических средств, так и в интегрировании информации по безопасной эксплуатации. Короче говоря,

относительная роль и значение человека, как элемента социо-технической системы, возрастает, становясь все ответственнее. Отсюда следует, что в настоящее время большее значение необходимо уделять не только и не столько наличию личных и деловых качеств у судоводителя, а скорее их проявлению у последнего при выполнении им функций управления состоянием безопасной эксплуатации судна.

В судовой социо-технической системе судоводитель хотя и выполняет обязанности оператора, но фактически таковым не является. Диапазон деятельности судоводителя при управлении состоянием безопасной эксплуатации значительно шире диапазона деятельности обычного оператора средств повышенной опасности. Действительно, судоводитель, кроме работы с мультимедийными средствами, обязан реагировать еще на множество внешних факторов, меняющих состояние безопасной эксплуатации, ранжировать эти факторы по степени опасности, выделять из них наиболее опасные и минимизировать их влияние, управляя состоянием безопасной эксплуатации. Если, кроме того, в деятельности судоводителя учитывать и его текущие психико-физические свойства, то естественно возникает необходимость в исследовании установившегося режима функционирования всей социо-технической системы в целом на предмет существования в ней таких системных свойств организованности, как наблюдаемость, управляемость и устойчивость.

## 2. Свойства наблюдаемости и управляемости в социо-технической системе "Вахта"

Социо-техническую систему управления состоянием безопасной эксплуатацией судна в схематичном виде можно представить как результат взаимодействия подсистемы "Ходовой мостик" (технического элемента) и социального элемента, включающего судоводителя и подчиненную ему вахтенную службу судна. Главенствующую роль в социальном элементе, естественно, играет судоводитель, поскольку именно он обрабатывает информацию, выбирает и принимает решения по оптимальному управлению состоянием безопасной эксплуатации, а вахтенная служба является лишь исполнителем этих управлений, доводя их до множества технических средств судна.

Описание модельного взаимодействия элементов в рассматриваемой социо-технической системе сведем к тому, что технический элемент формирует поток сообщений  $I$  о текущем состоянии безопасной эксплуатации, а социальный элемент (судоводитель), обрабатывая полученные сообщения, преобразует их в поток силовых действий  $I_0$ , идущий на объект управления. Кроме того, будем считать, что управления  $u$  выбираются социальным элементом (судоводителем) из некоторого ограниченного множества  $U$  и отправляются им же по безинерционным линиям связи, которые предусмотрены организацией процесса несения вахты, для мгновенного исполнения этих управлений на множестве технических средств судна.

С топологической точки зрения рассматриваемая модель взаимодействия должна представлять собой цикл по преобразованию производственной информации в силовые управляющие действия. Введем ряд обозначений. Будем считать, что поток производственных сообщений  $I$  поступает к социальному элементу таким образом, что среднее число сообщений в единицу времени равно  $\lambda$ , а число сообщений в рассматриваемом промежутке времени  $t$  равно  $m$ . Кроме того, социальный элемент, обрабатывая полученное множество сообщений, преобразует эти сообщения в поток  $I_0$  управлений мгновенного исполнения, характеризуемый показателем  $P(\mu, t)$ , где  $\mu$  – среднее время преобразования одного сообщения в управление состоянием безопасной эксплуатацией на рассматриваемом промежутке времени  $t$ .

Для того, чтобы выделить свойство управляемости в социо-технической модели введем понятие очереди, которая может возникать при реализации процесса преобразования производственных сообщений из потока  $I$  в поток  $I_0$  команд  $u$  мгновенного исполнения из множества  $U$ . В общем случае, вероятность  $L(\lambda, \mu)$  появления такой очереди будет зависеть от двух определяющих параметров:  $\lambda$  – числа сообщений в потоке  $I$ , поступающих судоводителю от мультимедийных средств, а так же  $\mu$  – времени преобразования одного сообщения в мгновенное управление  $u \in U$  состоянием безопасной эксплуатации из потока  $I_0$ . Именно соотношение определяющих параметров в выражении  $L(\lambda, \mu)$  и будет определять свойства наблюдаемости и управляемости в рассматриваемой социо-технической модели в целом.

Так, если соотношение параметров  $\lambda$  и  $\mu$  в выражении  $L(\lambda, \mu)$  таково, что

$$L(\lambda, \mu) \ll 1, \quad (1)$$

то социо-техническая система управляема, способна функционировать в реальном масштабе времени, а социальный элемент в лице судоводителя способен с помощью силовых воздействий на объект управления обеспечивать поддержание текущего состояния безопасной эксплуатации в заданных пределах.

В противном случае, когда

$$L(\lambda, \mu) \approx 1, \quad (2)$$

социо-техническая система теряет свойство управляемости, перестает функционировать в реальном масштабе времени, так как наличие в ней очереди хотя бы длиной равной  $n = 1$  неизбежно приведет к нарушению причинно-следственных связей, а следовательно, эта система будет неуправляемой.

Следует заметить, что условие (1), определяющее состояние управляемости социо-технической модели, следует отнести к разряду достаточно слабых условий, поскольку оно требует, чтобы существование очереди на обработку сообщений в системе являлось маловероятным, но все же возможным событием. Однако при детальном анализе состояния управляемости социо-технической системы допустимо существенное ужесточение требования (1), и сведение его к условию, записанному так:

$$L(\lambda, \mu) = 0, \quad (3)$$

когда потеря состояния управляемости системой теоретически вообще исключена.

Из теории систем (Воронов, 1979) известно, что наблюдаемая система не всегда является управляемой, а любая управляемая система всегда наблюдаема. Тогда поддержание состояния управляемости и, соответственно, состояния наблюдаемости в социо-технической системы следует связывать с операцией целенаправленного варьирования значений параметров  $\lambda$  и  $\mu$  при соответствующем достижении условий, определяемых выражениями (1) или (3).

Рассмотрим возможность реализации условия (1) на примере установившегося режима функционирования социо-технической системы и оценим поведение очереди при преобразовании производственных сообщений, поступающих судоводителю от мультимедийной подсистемы "Ходовой мостик" в силовые управляющие действия. Для этой цели положим, что к судоводителю поступает неординарный пуассоновский поток сообщений, интенсивность которого обратно пропорциональна количеству уже имеющихся у него сообщений. Кроме того, примем, что каждое сообщение, которое поступает судоводителю, преобразуется в управление по экспоненциальному закону с параметром  $\mu$ .

Далее обозначим через  $\lambda_r \Delta + o(\Delta)$  вероятность поступления судоводителю группы  $r$  сообщений на малом интервале времени  $(t, t+\Delta)$ , если судоводитель свободен от преобразования информации в целенаправленные действия. Тогда вероятность появления такой же группы сообщений на интервале  $(t, t+\Delta)$  при  $(\Delta \rightarrow 0)$ , если судоводитель уже имеет  $k$  сообщений, подлежащих преобразованию, запишется так:

$$\lambda_r \Delta / (k + 1) + o(\Delta),$$

что соответствует, например, вероятности поступления сообщений, обратно пропорциональной длине очереди сообщений на преобразование судоводителем в последовательность целенаправленных действий в данный момент времени  $t$ .

Обозначим через  $\xi_t$  длину очереди производственных сообщений, поступающих на преобразование, в момент времени  $t$ . Тогда нетрудно заметить, что  $\xi_t$  можно считать однородной цепью Маркова с фазовым пространством  $\{0, 1, 2, \dots\}$  и вероятностями перехода за малое время  $\Delta$ , записанными так:

$$\begin{aligned} P\{\xi_{t+\Delta} = 0 \mid \xi_t = 0\} &= 1 - \lambda\Delta + o(\Delta), \\ P\{\xi_{t+\Delta} = k + r \mid \xi_t = k\} &= \lambda_r \Delta / (k + 1) + o(\Delta), \quad (r = 1, 2, 3, \dots), \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \\ P\{\xi_{t+\Delta} = k - 1 \mid \xi_t = k\} &= \mu \Delta + o(\Delta), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \\ P\{\xi_{t+\Delta} = k \mid \xi_t = k\} &= 1 - [\lambda / (k + 1) + \mu] \Delta + o(\Delta), \end{aligned}$$

где  $\lambda = \sum_{r=1}^{\infty} \lambda_r$  – общее число сообщений, поступающих в социо-техническую систему в единицу времени.

Пусть  $P_k(t)$  – вероятность того, что в момент времени  $t$  очередь на обработку сообщений и превращение их в управление равна  $k$ , т.е.

$$P_k(t) = P\{\xi_t = k\}.$$

Тогда, используя Марковские свойства длины очереди  $\xi_t$ , уравнение Колмогорова-Чепмена и переходные вероятности, составленные для малого времени  $\Delta$ , можно получить систему дифференциальных уравнений для переходных вероятностей  $P_k(t)$ , записанную так:

$$\begin{aligned} P_0^*(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t), \\ P_k^*(t) &= -[\lambda / (k + 1) + \mu] P_k(t) + \mu P_{k+1}(t) + \sum_{i=0}^{k-1} \lambda_{k-i} P_i(t) / (i + 1), \quad k \geq 1. \end{aligned} \quad (4)$$

В пределе при  $t \rightarrow 0$ , учитывая допущение о том, что  $P_k(t)$  имеет эргодический характер и, следовательно,

$$p_k = \lim_{t \rightarrow 0} P_k(t),$$

уравнения (4) можно преобразовать следующим образом

$$\begin{aligned} \lambda p_0 &= \mu p_1, \\ [\lambda / (k + 1) + \mu] p_k &= \mu p_{k+1} + \sum_{i=0}^{k-1} [p_i \lambda_{k-i} / (i + 1)], \quad k = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнения (5) образуют бесконечную систему разностных уравнений, предназначенных для определения распределения вида  $\{p_k\}$ . Поэтому решение системы (5) будем искать с помощью производящих функций. Для этой цели обозначим производящую функцию последовательности  $\{p_k\}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , так:

$$P(z) = \sum_{k=0}^{\infty} p_k z^k, \text{ при } |z| \leq 1.$$

Умножим левую и правую части равенства (5) на  $z^k$  и просуммируем от 1 до  $\infty$

$$\mu \sum_{k=1}^{\infty} p_k z^k + (\lambda/z) \sum_{k=1}^{\infty} p_k z^{k+1}/(k+1) = (\mu/z) \sum_{k=1}^{\infty} p_{k+1} z^{k+1} + \sum_{k=1}^{\infty} z^k \sum_{i=1}^{k-1} p_i \lambda_{k-1}/(i+1). \quad (6)$$

Преобразуем члены полученного уравнения следующим образом:

$$\begin{aligned} \mu \sum_{k=1}^{\infty} p_k z^k &= \mu [P(z) - p_0], \\ (\lambda/z) \sum_{k=1}^{\infty} p_k z^{k-1}/(k+1) &= (\lambda/z) \sum_{k=1}^{\infty} p_k \int_0^z x^k dx = (\lambda/z) [\int_0^z P(x) dx - p_0 z], \\ (\mu/z) \sum_{k=1}^{\infty} p_{k+1} z^{k+1} &= (\mu/z) [P(z) - p_0 - p_1 z], \\ \sum_{k=1}^{\infty} z^k \sum_{i=1}^{k-1} p_i \lambda_{k-1}/(i+1) &= (1/z) \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k z^k \sum_{i=1}^{\infty} p_i z^{i+1}/(i+1). \end{aligned}$$

Тогда уравнение (6) можно переписать в следующем виде

$$\mu(z-1)[P(z) - p_0] = [\lambda(z) - \lambda] \int_0^z P(x) dx, \quad (7)$$

где  $\lambda(z)$  – производящая функция последовательности  $\{\lambda_r\}$ ,  $r = 1, 2, 3, \dots$ .

Введем еще два дополнительных обозначения

$$\lambda^*(z) = (\lambda(z) - \lambda)/(z - 1), \quad \varphi(z) = \int_0^z P(x) dx.$$

При использовании их уравнение (7) будет иметь вид

$$\varphi(z) = [\mu/\lambda^*(z)] \times [\varphi'(z) - p_0].$$

Разрешив его относительно производной, можно записать так

$$\varphi'(z) = \lambda^*(z) \varphi(z)/\mu + p_0. \quad (8)$$

Очевидно, что выражение (8) является дифференциальным уравнением первого порядка относительно искомой функции  $\varphi(z)$ . Поскольку  $\varphi(0) = 0$ , то решение этого уравнения можно представить в следующем виде

$$\varphi(z) = p_0 \int_0^z \exp[(1/\mu) \int_0^x \lambda^*(u) du] dx. \quad (9)$$

Из определения  $\varphi(z)$  следует, что  $\varphi'(z) = P(z)$ . Поэтому, дифференцируя обе части формулы (9), найдем

$$P(z) = p_0 \{1 + [\lambda^*(z)/\mu] \int_0^z \exp[(1/\mu) \int_0^x \lambda^*(u) du] dx\}. \quad (10)$$

Далее положим в соотношении (10)  $z = 1$ , и поскольку в этом случае  $P(1) = 1$ , а  $\lambda^*(1) = \lambda'(1)$ , то явное выражение для эргодической вероятности  $p_0$  можно записать так

$$p_0 = \{1 + [\lambda'(1)/\mu] \int_0^1 \exp[(1/\mu) \int_0^x \lambda^*(u) du] dx\}^{-1}.$$

Теперь, если подставить значение постоянной величины  $p_0$  в (10), то можно получить окончательное выражение для производящей функции  $P(z)$  в следующем виде

$$P(z) = \{\mu + \lambda^*(z) \int_0^z \exp[(1/\mu) \int_0^x \lambda^*(u) du] dx\} / \{\mu + \lambda'(1) \int_0^1 \exp[(1/\mu) \int_0^x \lambda^*(u) du] dx\}. \quad (11)$$

Из выражения (11) следует, что для того, чтобы  $p_0 \neq 0$  и все состояния Марковской цепи  $\xi_i$  были эргодическими, необходимо и достаточно выполнение условия

$$\lambda^*(1) = \lambda'(1) < \infty.$$

Если последнее условие в социо-технической системе выполняется, то можно вычислить математическое ожидание длины очереди  $M$ , которая может возникнуть в процессе преобразования сообщений, поступающих судоводителю от подсистемы "Ходовой мостик", в управляющие воздействия

при стационарном режиме функционирования всей системы в целом. Для определения математического ожидания длины ожидаемой очереди воспользуемся соотношением (8), из которого непосредственно следует

$$M = \lambda^*(1)/\mu + (1 - p_0)\lambda'(1)/\lambda^*(1).$$

Оценим вероятность появления очереди в стационарном процессе преобразования навигационной информации в силовые действия с объектом управления для случая, когда эта очередь равна дискретной величине  $M = 1$ , а поток сообщений, поступающий судоводителю, имеет ординарный характер. При ординарном характере информационного потока  $I$  имеем  $\lambda(z) = \lambda z$  и  $\lambda^*(z) = \lambda$ . Подставляя последние значения в производящую функцию (11), окончательно получим

$$P(z) = \exp\{\lambda(z - 1)/\mu\}.$$

Если разложить  $P(z)$  в ряд по степеням  $z$ , то вероятность появления очереди длиной в одно сообщение  $k = M = 1$  при реализации процесса преобразования производственной информации в силовые действия можно определить так

$$L_{k=1}(\lambda, \mu) = (\lambda/\mu) \exp(-\lambda/\mu). \quad (12)$$

Тогда из выражения (12) непосредственно следует, что стремление вида (1) может быть достигнуто, если будет выполняться условие

$$\lambda \ll \mu, \quad (13)$$

которое позволяет социо-технической системе обладать свойством управляемости и функционировать в реальном масштабе времени, а социальному элементу в лице судоводителя с помощью целенаправленных силовых воздействий на объект управления обеспечивать поддержание текущего состояния безопасной эксплуатации в заданных пределах.

### 3. Физико-математическое описание принципа "экономии сознания"

Обеспечить выполнение условия (13) в социо-технической системе "Вахта" возможно за счет естественного или искусственного изменения среднего числа производственных сообщений в единицу времени, идущих к судоводителю в виде информационного потока  $I$  от подсистемы "Ходовой мостик".

Искусственное изменение величины  $\lambda$  можно связать, во-первых, с дальнейшим совершенствованием метода гарантированного планирования судовых ключевых операций. Такое совершенствование, например, можно осуществить за счет минимизации энтропии в тонких структурах планируемого производственного процесса. Во-вторых, возможна разработка такого программного обеспечения информационных, информационно-вычислительных и экспертных систем судовождения, входящих в состав подсистемы "Ходовой мостик", которое было бы способно сводить к минимуму число незначимых и ложных производственных сообщений.

В свою очередь, естественное изменение среднего числа сообщений, циркулирующих в звене "информационная подсистема – судоводитель", можно связать со способностью человека, судоводителя в частности, перераспределять информацию между сознанием и подсознанием. Если при восприятии информации в сознании у судоводителя останется только то производственное сообщение, которое несет в себе сведения о существенном риске, а остальные сообщения переместятся в его подсознание, то при выборе управляющего воздействия судоводителем будет использоваться лишь то сообщение, которое находится у него в сознании. Такой процесс перераспределения информации между сознанием и подсознанием человека и реакция судоводителя лишь на сообщения, находящиеся в его сознании, можно назвать принципом "экономии сознания".

Чтобы обеспечить целенаправленную вариацию величины интенсивности сообщений  $\lambda$  потока  $I$  и исключить потерю системой свойств управляемости и, соответственно, наблюдаемости, следует естественно или искусственно реализовать в социо-технической системе принцип "экономии сознания". В общем, такая реализация практически возможна как в социальном, так и техническом элементе социо-технической системы. Искусственное внедрение этого принципа может быть выполнено за счет расширения возможностей существующего программного обеспечения информационно-измерительных и экспертных систем, образующих основу подсистемы "Ходовой мостик", а естественное привлечение принципа "экономии сознания" в деятельность социо-технической системы целесообразно связать с постоянным совершенствованием профессиональных навыков "человеческого фактора" (судоводителя).

Если останавливаться более подробно на возможности поддержания в социо-технической системе свойств наблюдаемости и управляемости за счет целенаправленного изменения величины  $\lambda$ , то в этом случае следует руководствоваться дополнительным допущением о постоянстве значения параметра  $\mu$  в выражениях (1-3). Такое допущение будет отражать особое свойство каждой из множества рассматриваемых систем, связанное, в первую очередь, с индивидуализацией возможностей и способностей "человеческого фактора".

С математической точки зрения, модель принципа "экономии сознания" в социальном элементе может быть сконструирована в терминах теории функции выбора. Причем сам процесс выбора

производственных сообщений должен осуществляться с обязательным привлечением меры производственного риска (ранга риска), содержащейся в каждом или почти в каждом из получаемых судоводителем производственных сообщений. В общем, такое представление модели принципа "экономии сознания" позволяет рассматривать ее как отображение вида  $\Xi$ :

$$\Xi: I \xrightarrow{\Pi(\cdot)} I_0, \quad (14)$$

где  $\Pi(\cdot)$  – оператор отображения, или оператор принципа "экономии сознания", определяющий правило выбора приоритетных по мере риска производственных сообщений, направляемых в сознание судоводителя и подлежащие последующему преобразованию в управляющие действия.

Конкретную модель оператора принципа "экономии сознания"  $\Pi(\cdot)$  можно составить на основе предположения о том, что судоводителю в случайном порядке и последовательно предъявляется случайное множество  $N$  ранжированных по величине риска, содержащегося в сообщениях. В процессе "приема" производственных сообщений судоводитель интуитивно стремится максимизировать вероятность распознавания сообщения, которое в своем содержании несет сведения о максимальном производственном риске, т.е. сообщения, имеющего на момент его появления единичный ранг. Поэтому основой модели оператора в (14) должна являться процедура выбора "опаснейшего" варианта производственного сообщения.

Положим, что производственные сообщения, поступающие к судоводителю от подсистемы "Ходовой мостик", являются элементами вероятностного пространства  $(X, F, P)$ . Одним исходом производственных сообщений является последовательность  $x = (x_1, \dots, x_N)$ , поэтому пространство  $X^N$  можно принять в качестве основного в том смысле, что все случайные величины определены только на нем.

Пусть, кроме того, структура предпочтений судоводителя описывается функцией выбора  $G$ , определенной на всех конечных подмножествах  $X$  или, другими словами, для всех  $n = 1, 2, \dots$  и совокупностей  $\{x_1, \dots, x_n\} \subset X$  определено множество  $G(x_1, \dots, x_n) \subset \{x_1, \dots, x_n\}$ . Далее примем, что отображение  $G$  является  $F$ -измеримым, а каждый элемент множества  $G(x_1, \dots, x_n)$  будем интерпретировать как производственное сообщение, содержащее в себе данные о риске с максимальным рангом среди всех принятых судоводителем сообщений  $x_1, \dots, x_n$ .

Учитывая введенные выше допущения и принимая, что  $G_n(x) = G(x_1, \dots, x_n)$ , где  $n = 1, \dots, N$  и  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , за вероятность выбора судоводителем производственного сообщения, содержащего риск с максимальным рангом, будем принимать величину

$$v(\tau) = P(x_\tau) = \sum_{n=1}^N P(x_n \in G_N). \quad (15)$$

Тогда стратегия выбора "лучшего" в смысле максимума ранга производственного сообщения будет отвечать условию

$$\max_d v(\tau) = \max_d \sum_{n=1}^N P[(x_n \in G_N) \wedge (\tau = n)]. \quad (16)$$

На практике реализовать условие (16) можно, если, например, привлечь для этой цели пороговую стратегию выбора  $\tau_d$  с величиной порога, который равен некоторой постоянной величине (Дынкин, Юшкевич, 1967). Подобная пороговая стратегия выбора может быть определена так:

$$\tau_d = \min\{n \mid (n \geq d) \wedge (x_n \in G_N)\}, \quad (17)$$

где индекс  $d$  и является величиной принятого порога.

Здесь следует особо подчеркнуть, что практическое использование пороговой стратегии (17) не всегда приводит к выбору производственного сообщения, содержащего риск с максимальным рангом.

Чтобы иметь представление о качестве, с которым осуществляется практическая реализация принципа "экономии сознания" у судоводителя, воспользуемся очевидным соотношением вида

$$\text{Card } J > \text{Card } J_0, \quad (18)$$

где символ  $\text{Card}$  является показателем мощности множеств сообщений  $J$  и  $J_0$ , образованных информационными потоками  $I$  и  $I_0$ , соответственно.

Тогда, привлекая результаты работы (Дынкин, Юшкевич, 1967), нетрудно убедиться, что выполнение условия (18) будет обеспечивать максимальной цене стратегии выбора ограничение снизу, т.е.

$$\max v(\tau) > \text{const},$$

и, более того, при некоторых несущественных дополнительных условиях сама стратегия выбора  $\tau_d$  будет асимптотически оптимальной в классе пороговых.

Оптимальное выделение производственных сообщений, осуществляемое судоводителем с помощью принципа "экономии сознания" (14-18), может реализовываться, если функция выбора  $G$  удовлетворяет двум обязательным требованиям (Айзерман, Малишевский, 1981):

- функция выбора  $G$  отвечает условию наследования, когда для всех  $n = 1, 2, \dots$  и  $x_1, \dots, x_{n+1} \in X$  имеет место стремление вида

$$[x_1 \in G(x_1, \dots, x_{n+1})] \rightarrow [x_1 \in G(x_1, \dots, x_n)]; \quad (19)$$

- функция выбора  $G$  удовлетворяет условию независимости от отброшенных альтернатив, когда для всех  $n = 1, 2, \dots$  и  $x_1, \dots, x_{n+1} \in X$

$$[x_{n+1} \in G(x_1, \dots, x_{n+1})] \rightarrow G(x_1, \dots, x_{n+1}) = [G(x_1, \dots, x_n)], \quad (20)$$

где последнее равенство следует понимать как совпадение двух множеств.

При выполнении требований (19) и (20) множество производственных сообщений  $J$  из выражения (18), поступающих к судоводителю от подсистемы "Ходовой мостик", может обрабатываться как программным обеспечением элементов этой подсистемы, так и сознанием самого судоводителя. Однако, при любой обработке множество сообщений  $J_0$ , полученное как результат действия принципа "экономии сознания", помещается в сознание судоводителя, являясь основой для выбора управлений  $u \in U$  состоянием безопасной эксплуатации судна. Причем интенсивность преобразования в отображении (14) будет зависеть от численной оценки ранга производственного риска, принятого при практической реализации отображения. Кроме того, если учитывать в социо-технической модели выражение (18), то топология системы существенно изменится и будет представлять цикл с дополнительно включенным в него оператором  $\Pi(\cdot)$ .

Если далее исходить из всех возможных вариантов вариации численных оценок допустимого ранга навигационного риска (его приоритета) в (14), то соотношение (18) можно использовать как качественную интервальную оценку, лежащую в пределах от состояния "слабое соотношение" до состояния "сильное соотношение".

Состояние "слабое соотношение" в (18) соответствует максимальному численному значению определяющего параметра  $\lambda_{\max}$  информационного потока  $I_0$ , которое близко к численному значению параметра  $\lambda$  информационного потока  $I$ , поступающего непосредственно на элементы подсистемы "Ходовой мостик". При состоянии "сильное соотношение" в (18) параметр  $\lambda_0$  информационного потока  $I_0$ , принимаемого судоводителем за основу при выборе управлений  $u \in U$ , уменьшается до минимального значения  $\lambda_{\min u}$  и даже может в предельном случае стремиться к нулю.

Обобщая полученные выше результаты, можно сделать вывод, что привлечение принципа "экономии сознания" в деятельность социо-технической системы "Вахта" связано с практической реализацией соотношения (18). Эта реализация осуществляется в рамках теории выбора и оптимальной остановки на производственном сообщении, которое содержит риск максимального ранга. Выполнение соотношения (18) позволяет по заданному рангу производственного риска  $NR$  целенаправленно получать желаемую величину параметра  $\lambda_0$  информационного потока  $I_0$  в пределах  $[\lambda_{\min u}, \lambda_{\max}]$ .

В свою очередь, выбор желаемой величины параметра  $\lambda_0 \in [\lambda_{\min u}, \lambda_{\max}]$  по рангу производственного риска  $NR$  из функциональной зависимости вида

$$\lambda_0 = f(NR)$$

позволяет обеспечивать поддержание однозначности в причинно-следственных связях, а следовательно, формировать свойства управляемости и наблюдаемости в социо-технической системе.

Наличие свойства управляемости в социо-технической модели является обязательным условием для реального управления состоянием безопасной эксплуатации с минимизацией принятого критерия оптимальности, например, вероятности  $P(C|Z)$  навигационной аварии  $C$  судна при его заданном состоянии безопасности  $Z$ .

#### 4. Устойчивость "управленческой деятельности" судоводителя в социо-технической системе "Вахта"

Подсистема "Ходовой мостик" в процессе эксплуатации судна формирует базу производственных данных, которые используются судоводителем для индивидуального выбора управлений, направляемых на поддержание заданного уровня безопасной эксплуатации судна. Любую последовательность индивидуальных выборов, которую формирует судоводитель в процессе управления состоянием безопасной эксплуатации, назовем механизмом выбора, или "управленческой деятельностью" судоводителя.

В свою очередь, в рамках концепции индивидуального выбора далее будем предполагать, что судоводитель, делающий индивидуальный выбор для достижения поставленной цели, обязательно обладает множеством альтернатив. Кроме того, у судоводителя должно быть сформировано собственное отношение как к альтернативам (решениям), так и возможным последствиям их исполнения. Поэтому, после исследований, проведенных в предыдущих разделах, представляется необходимым рассмотреть, каким образом судоводитель, выбирая альтернативы, устойчиво поддерживает свою "управленческую деятельность". Причем основой такой устойчивой "управленческой деятельности" судоводителя является база производственных данных, поставляемых мультимедийной подсистемой "Ходовой мостик".

Далее будем полагать, что в качестве модели "управленческой деятельности" судоводителя (последовательности индивидуальных выборов) при управлении им состоянием безопасной эксплуатации в социо-технической системе "Вахта" можно использовать структуру, представленную в виде упорядоченной семерки множеств и записанную так:

$$\langle S, t, X, f, \Omega, \Phi, \Gamma \rangle, \quad (21)$$

где  $S$  – множество альтернатив;  $t$  – множество требуемых видов упорядочения альтернатив;  $X$  – множество свойств альтернатив;  $f$  – отображение  $S$  в  $X$ ;  $\Omega$  – множество сообщений, которое поступает судоводителю от мультимедийной подсистемы "Ходовой мостик";  $\Phi$  – множество функций выбора, которые выражены через отношение нестрогого предпочтения на  $X$ ;  $\Gamma \subset \Omega$  – полный набор сообщений, используемый судоводителем для решения конкретной безопасной производственной задачи.

Опишем наиболее важные для данного случая компоненты введенной структуры (21). Так, множество  $S$  представляет собой совокупность альтернатив, которые, удовлетворяя определенным ограничениям, рассматриваются как возможные способы достижения целей в части обеспечения безопасной эксплуатации судна. Для приобретения дееспособности моделью (21) необходимо сделать предположение о том, что альтернативы  $s$  из множества  $S$  полностью характеризуются вполне определенными свойствами, принимаемыми судоводителем во внимание при их сравнении. Если интенсивность свойств, сопутствующих каждой альтернативе  $s$ , измеряема, то в итоге могут быть получены точки  $f(s)$  на множестве  $X$ . В роли множества точек  $x = f(s)$  может выступать совокупность оценок производственных рисков, а каждая оценка, в свою очередь, будет соответствовать некоторому состоянию эксплуатации судна и его технических средств.

Далее под множеством  $\Omega$  в структуре (21) будем понимать некоторую совокупность подмножеств абстрактного множества  $\theta$ , элементы  $v$  которого, как и прежде, целесообразно называть сообщениями. В задаче выбора индивидуальной альтернативы, обеспечивающей поддержание заданного уровня безопасной эксплуатации, каждое сообщение  $v$  представляет собой высказывание, которое, само по себе или в совокупности (в наборе) с некоторыми другими сообщениями, позволяет попарно сравнивать элементы из  $X$ .

Допустимость набора сообщений из множества  $\Omega$  обуславливается принципиальной возможностью непосредственного получения этих сообщений от мультимедийной системы "Ходовой мостик" в течение решения задачи по выбору нужной индивидуальной альтернативы. В частности, сообщения из множества  $\Omega$  могут представлять собой сведения о вероятностях состояний безопасной эксплуатации, и их источником, кроме технических средств подсистемы "Ходовой мостик", может быть или некоторый руководящий документ, или непротиворечивый набор руководящих документов.

Полученные судоводителем сообщения  $\omega \in \Omega$  используются им для сравнения по предпочтительности точек из  $X$  при помощи некоторой функции индивидуального выбора  $\varphi \in \Phi$ , которая построена на отношении нестрогого предпочтения вида  $\varphi(\omega)$ . Пусть тогда каждая такая функция индивидуального выбора обязательно имеет свою область определения  $\Omega_\varphi \subseteq \Omega$  и обладает набором следующих свойств:

- если  $\emptyset \in \Omega_\varphi$ , то  $\varphi(\emptyset) = E$ ,  $E$  – отношение равенства на  $X$ ;
- $\varphi(\omega) \supseteq E$  при любом  $\omega \in \Omega_\varphi$ ;
- если  $\omega, \omega^* \in \Omega_\varphi$  и  $\omega \subset \omega^*$ , то  $\varphi(\omega) \subseteq \varphi(\omega^*)$ .

Кроме того, в дополнение к набору свойств функции выбора (22), введем два определения для функций индивидуального выбора, формулируя их в соответствии с отношением вложения. Так, в качестве первого определения будем использовать допущение о том, что функция индивидуального выбора  $\varphi_1$  "сильнее", чем функция индивидуального выбора  $\varphi_2$ , для  $\omega \in \Omega_{\varphi_1} \cap \Omega_{\varphi_2}$ , если имеет место вложение

$$\varphi_2(\omega) \subset \varphi_1(\omega).$$

Второе определение, являясь логическим расширением первого, может быть записано следующим образом: функция выбора  $\varphi^*$  будет "сильнейшей", если для любого  $\omega$  при условии  $\omega \in \Omega_{\varphi^*}$  и для любого  $\varphi$ , у которого  $\omega \in \Omega_\varphi$  верно

$$\varphi(\omega) \subseteq \varphi^*(\omega). \quad (23)$$

Очевидно, что множество сообщений  $\Gamma \subset \Omega$ , которое используется судоводителем для решения производственной задачи, всегда будет иметь "сильнейшую" функцию выбора  $R^* = \varphi^*(\Gamma)$ , которая при  $\omega \subseteq \Gamma$  и  $\varphi \in \Phi$  и при  $\omega \in \Omega_\varphi$  обеспечивает соблюдение неравенства

$$\varphi(\omega) \subseteq R^*. \quad (24)$$

Выполнение условий (23) и (24) придает свойство корректности функциям индивидуального выбора судоводителя. Если корректность функций индивидуального выбора соблюдена, то тогда целесообразно считать, что эти функции обладают свойством слабой непротиворечивости. Действительно, если  $\omega_1, \omega_2 \subseteq \Gamma$ ,



то для любых  $\varphi_1, \varphi_2$ , определенных на множествах  $\Omega_{\varphi_1}$  и  $\Omega_{\varphi_2}$  соответственно, функции индивидуального выбора  $\varphi_1(\omega_1), \varphi_2(\omega_2)$  действительно слабо не противоречивы. Кроме того, если  $\omega_1, \omega_2 \subseteq \Omega_{\varphi}$  и  $\omega_1 \subset \omega_2 \subseteq \Gamma$ , то, согласно третьему свойству функций индивидуального выбора (22), имеет место предпочтение вида

$$\varphi(\omega_1) \leq \varphi(\omega_2). \quad (25)$$

Поэтому, учитывая соотношение (25), далее будем рассматривать только такую структуру поведения судоводителя, при которой отношение  $R^*$  является квазипорядком, и функция индивидуального выбора  $\varphi(\omega)$  при любом  $\omega \in \Omega_{\varphi}$  также является квазипорядком. Заметим, что, если само сообщение  $\omega$  является бинарным отношением на  $X$ , то для него "сильнейшей" будет ограниченная сверху индивидуальная функция выбора  $\varphi^*$ , вводящая на  $X$  квазитранзитивное замыкание  $\omega$ , которое можно представить в виде (Вагнер, 1965):

$$\varphi^*(\omega) = E \cup \text{Tr} [\omega] \leq R^*, \text{ если } \omega \subseteq \Gamma, \quad (26)$$

где  $E$  – отношение равенства,  $\text{Tr}$  – отношение транзитивности.

Полученное выражение (26) будем использовать как основу для определения сути устойчивого "управленческого поведения" судоводителя, которое возникает при поддержании заданного уровня безопасной эксплуатации судна в социо-технической системе "Вахта". Особенностью такого поведения является то, что у судоводителя при выполнении им обязанностей "управляющего" элемента в социо-технической системе формируется стереотип выбора альтернатив  $\varphi^*(\omega)$ , который будет "сильнейшим" или "мажорирующим" по отношению к любой последовательности функций индивидуального выбора  $\varphi(\omega)$  судоводителя для условия  $\omega \subseteq \Gamma$ .

Полученная от мультимедийной подсистемы "Ходовой мостик" производственная информация может содержать ошибки, при которых не обязательно будет выполняться условие (25). Для оценки адекватности производственной информации  $\omega$ , выраженной справедливостью включения  $\omega \subseteq \Gamma$ , необходимо, чтобы эта информация была непротиворечива. Справедливость (25) достигается, если при любых  $\omega_1, \omega_2 \in \Omega$  и  $\varphi_1, \varphi_2 \in \Phi$  таких, что  $\omega_1 \in \Omega_{\varphi_1}, \omega_2 \in \Omega_{\varphi_2}$  квазипорядки  $\varphi_1(\omega_1)$  и  $\varphi_2(\omega_2)$  являются непротиворечивыми. Непротиворечивость квазипорядков есть основное требование к существованию некоего "универсального" механизма выбора типа (24).

С практической точки зрения выражение (24) можно использовать в процессе анализа и решения какой-либо конкретной и детерминированной задачи. Однако всегда следует учитывать, что в структуре (19) элементы  $S, t, X, f$  можно отнести к полностью известным множествам, а множества  $\Omega, \Phi$  и  $\Gamma$  – к известным, но лишь частично.

Действительно, система представлений судоводителя  $\Gamma \subset \Omega$  не может быть выявлена целиком и полностью, поскольку в своей практической деятельности этот судоводитель может использовать всего одну функцию выбора или достаточно ограниченное количество этих функций  $\varphi(\omega)$ .

В тех случаях, когда производственная информация  $\omega \in \Omega$ , поступающая к судоводителю от подсистемы "Ходовой мостик", неполна, но не является противоречивой, следует для поиска "сильнейшей" функции выбора (мажоранты механизма выбора) использовать подход, состоящий в следующем:

– производственная информация  $\omega$  делится на фрагменты  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  так, чтобы эта информация судоводителем использовалась полностью, т. е. выполнялось условие

$$\omega = \bigcup_{j=1}^n \omega_j;$$

– каждому фрагменту производственной информации  $\omega_j$  ставится в соответствие индивидуальная функция выбора  $\varphi_j$ ;

– конструируется механизм выбора

$$\varphi^*(\omega) = \text{Tr} \left[ \bigcup_{j=1}^n \varphi(\omega_j) \right], \quad (27)$$

который и вводит на  $X$  общий квазипорядок.

Теоретическим обоснованием практического приема (27) может служить допущение о том, что, если  $\omega_j \subset A$  и  $\varphi_j(\omega_j) \leq R^*$  при  $j = 1, 2, \dots, n$ , то

$$\varphi^*(\omega) \leq R^*,$$

где  $\varphi^*$  может конструироваться по методу (27).

В заключение этого раздела следует отметить, что устойчивые механизмы универсального выбора (24) и (26), вводящие квазипорядок на множестве условий для альтернатив  $X$ , формируются у судоводителя лишь при выполнении условия (25). Выполнение этого условия как при реализации судовой ключевой операции, так и при ее планировании, является обязательным.

### 5. Влияние механизма выбора альтернатив на управленческую деятельность судоводителя в социо-технической системе "Вахта"

Получив условия, при которых социо-техническая система обладает свойствами управляемости, наблюдаемости и устойчивости в "управленческой деятельности", далее рассмотрим влияние фиксированных индивидуальных качеств судоводителя на его системную деятельность. При выполнении функций управления в рамках социо-технической системы судоводитель, в соответствии с современными концепциями теории принятия индивидуальных решений, для достижения поставленных целей должен иметь в своем распоряжении некоторое множество альтернатив. Кроме того, у судоводителя должно существовать собственное отношение к альтернативам и их возможным исходам, т.е. он должен обладать некоторой системой представлений о свойствах выбранных альтернатив.

Существующие же концепции теории классификации, в свою очередь, дают право предполагать, что до выполнения операций с объектами судоводитель должен для достижения поставленной цели иметь в своем распоряжении множество этих объектов. Дополнительно, судоводитель обязан располагать априорной информацией относительно используемых классов разбиения.

Если провести сравнение указанных концепций теории классификации и теории управления, то нетрудно заметить, что в них общим является необходимость выполнения универсального выбора, формальное описание модели которого осуществимо, например, с помощью функции выбора (Гафт, 1979).

Выбор альтернатив можно рассмотреть в рамках следующей абстрактной и достаточной общей модели. Пусть задано некоторое множество  $S$  альтернатив  $(x, y, z, \dots)$ . Для простоты будем считать, что  $S$  конечно, и что любое непустое подмножество альтернатив  $\Psi \subseteq S$  может быть предъявлено для выбора. Предъявляемое подмножество  $\Psi$  не может включать в себя несколько элементов, выбираемых одновременно. Именно по этой причине выше и далее употребляется термин "альтернатива", относящийся, как правило, к взаимоисключающим объектам выбора.

Здесь следует заметить, что в задачах теории управления часто множество альтернатив бесконечно, но принципиальные вопросы удобнее изучать, рассматривая конечное множество  $S$ . Однако основные идеи и полученные результаты достаточно легко переносятся на случай бесконечного множества  $S$  и даже на случай, когда для выбора могут быть предъявлены не любые подмножества  $\Psi \subseteq S$ .

Акт выбора состоит в выделении из  $\Psi$  по некоторому правилу альтернативы  $y \in \Psi$ , при выполнении условия  $y \neq 0$ . Последнее условие в задачах управления обычно рассматривается как одна из аксиом "рационального" выбора.

Совокупность всевозможных актов выбора, порождаемая некоторым детерминированным способом выбора, определяет соответствующее множество пар  $\{(\Psi, y)\}$ . Последнее можно рассматривать как задание функции выбора  $G$ , сопоставляющей каждому  $\Psi \subseteq S$  его непустое подмножество  $y = G(\Psi)$ .

В качестве примера формально опишем модель механизма выбора, которая используется судоводителем при маневрировании с целью безопасного расхождения судов. В этом случае механизм выбора  $M$  порождается функцией  $G$ , и для его описания достаточно зафиксировать некоторую структуру  $\sigma$  на множестве  $S$  и задать правило  $\pi$ , указывающее, как при каждом предъявлении  $\Psi$ , используя структуру  $\sigma$ , найти альтернативу  $y$ . Структуру  $\sigma$  механизма выбора безопасного маневра можно задать, например, отображением  $\varphi$  множества  $S$  на числовую ось, имеющую смысл оси "рациональный выбор маневра – не рациональный выбор маневра". Такое отображение  $\varphi(\Psi)$  можно назвать "шкалой" "рационального маневра". Правилем  $\pi$  выбора "рационального маневра" у судоводителя будет являться экстремизация (для определенности максимизация)  $\varphi(\Psi)$  на множестве  $\Psi$ .

С формальной точки зрения модель механизма выбора судоводителем из всех возможных маневров  $\Psi$  "рационального маневра" (альтернативы)  $y$  можно определить так

$$G(\Psi) = y = \{y \in \Psi \mid \varphi(y) \geq \varphi(x) \text{ для всех } x \in \Psi\} \quad (28)$$

или, эквивалентно ей

$$G(\Psi) = y = \{y \in \Psi \mid \text{не существует } x \in \Psi, \text{ такого, что } \varphi(y) \geq \varphi(x)\}. \quad (29)$$

Здесь следует отметить, что формально составленная модель механизма акта выбора судоводителем "рационального маневра" (28) или (29) является выбором альтернативы  $y$  по максимальному значению  $\varphi$  на множестве  $\Psi$ .

Далее оценим влияние фиксированных индивидуальных качеств судоводителя, сконцентрированных в модели механизма выбора альтернатив  $M$ , и определим основные элементы поведения этого судоводителя при выполнении им функций управления в социо-технической системе безопасного судовождения, используя для этой цели формализованную модель (28) или (29).

Для этого примем, что модель механизма выбора  $M$ , определенная как объект в структуре  $\Xi(M, \Sigma)$ , обладает множеством состояний  $M(t, P, T_w)$ , где  $\Sigma$  – нервно-психическая сфера, в которой происходит сам акт выбора. Причем введенные определяющие параметры множества состояний

$M(t, P, T_W)$  имеют следующие значения:  $t$  – время, в течение которого работает механизм акта выбора (быстродействие механизма выбора);  $P$  – вероятность ошибки судоводителя при выборе верного решения;  $T_W$  – личный производственный опыт судоводителя.

Специфические условия, в которых протекает жизнь и трудовая деятельность судоводителя, характеризуются многочисленными экстремальными факторами как общими для всего судового экипажа, так и присущими именно этой профессиональной деятельности. Длительное, растянутое во времени воздействие факторов предъявляет повышенные требования к нервно-психической сфере судоводителя, снижает адаптивные возможности организма и влияет на надежность профессиональной деятельности, в том числе на механизм акта выбора альтернатив. Действительно, судоводитель, обладающий необходимой профессиональной подготовкой, но испытывающий нарушения в функционировании своего организма, будет потенциально опасным в смысле профессиональной надежности. Поэтому изучение взаимосвязи между нервно-психической сферой и надежностью профессиональной деятельности является достаточно перспективным направлением исследований. Однако такие исследования находятся еще в зачаточном состоянии и поэтому далее целесообразно принять, что нервно-психическая сфера деятельности судоводителя  $\Sigma$  и на судне, и в судоводной компании отвечает современным требованиям Международной морской организации (ИМО).

Используя принятые за основу параметры множества состояний  $M(t, P, T_W)$  в структуре  $\Xi$ , при фиксированной нервно-психической сфере  $\Sigma$ , была составлена модель механизма акта выбора, которая основывалась на результатах натурного эксперимента, проведенного аспирантом К.В. Меньшиковой. Эксперимент проводился в течение 2002-2004 гг. на базе радиолокационного тренажера МА МГТУ с привлечением судоводителей, проходивших переподготовку на этом тренажере. По данным, полученным в результате проведения натурного эксперимента, удалось зафиксировать аксиоматическую группу, которая и послужила основой формализации модели механизма выбора. В частности, аксиоматическую группу, описывающую модель механизма выбора рационального маневра для безопасного расхождения судов  $M_i$ , можно записать так:

- производственная деятельность  $W$ , выполняемая в рамках регламента  $R(\cdot)$ , отображается на множество альтернатив  $S$ , которое, в свою очередь, обеспечивает право судоводителя на выбор нужной альтернативы  $u$ , используемой для поддержания заданного уровня безопасности мореплавания;

- время производственной деятельности  $T_W$  (производственный опыт судоводителя) эквивалентен мощности множества альтернатив  $Card S$ ;

- мощность множества альтернатив  $Card S$  формирует два возможных класса моделей механизма выбора:

- а) класс судоводителей, принимающих решения вида  $CL(M_1)$ , у которых механизм акта выбора характеризуется минимальной вероятностью ошибки в принятии решения  $P_{\min}$  при максимальном времени принятия этого решения  $t_{\max}$  и максимальном производственном опыте судоводителя  $T_W^{\max}$ ;

- б) класс судоводителей, принимающих решения вида  $CL(M_2)$ , у которых механизм акта выбора характеризуется максимальной вероятностью ошибки в принятии решения  $P_{\max}$  при минимальном времени принятия этого решения  $t_{\min}$  и минимальном производственном опыте судоводителя  $T_W^{\min}$ .

Приведенная выше аксиоматика позволила формализовать модель механизма выбора и записать ее так:

$$\begin{matrix} R(\cdot) \\ \Sigma: W \rightarrow \Omega, \end{matrix} \quad (30)$$

$$M_i = F(Card S) \in \begin{cases} Card \Omega \sim T_W, \\ CL(M_1), \text{ при } M_1 \in M(t_{\max}, P_{\min}, T_W^{\max}), \\ CL(M_2), \text{ при } M_2 \in M(t_{\min}, P_{\max}, T_W^{\min}). \end{cases} \quad (31)$$

$$\quad (32)$$

Анализ модели (30-32) и условий реализации выражений (1), (3), (26), (27) на временном интервале меньше или равном продолжительности одной вахты дает право сформулировать набор общих приемов поведения, которыми должен руководствоваться социальный элемент (судоводитель) при управлении состоянием безопасной эксплуатации судна.

Так, у судоводителей, принадлежащих классу  $CL(M_1)$  и обладающих максимальным производственным опытом, основой производственного поведения является обязательное использование в своей деятельности принципа "экономии сознания". Привлечение этого принципа в основу поведения судоводителя из класса  $CL(M_1)$ , позволит ему, во-первых, избежать опасности потери управляемости социо-технической системой, во-вторых, обеспечит минимальную вероятность ошибки при преобразовании информации, идущей к социальному элементу от подсистемы "Ходовой мостик", в управления  $u \in U$  состоянием безопасной эксплуатацией судна.

Основой же производственного поведения судоводителей, принадлежащий к классу  $CL(M_2)$ , является самоконтроль. Действительно, при минимальном производственном опыте и минимальной затрате времени на преобразование информации, судоводители из этого класса обладают максимальной вероятностью ошибки в принятии решения. Поэтому единственным способом снизить влияние ошибки

судоводителя при выборе управления  $u \in U$  на процесс оптимального управления состоянием безопасной эксплуатации является операция самоконтроля "человеческого фактора".

Если расширить временной интервал и рассматривать процесс функционирования социо-технической системы в течение более длительного времени, чем одна вахта, то эту систему, с учетом (30-32), необходимо уже рассматривать, как систему с переменной структурой. Любая система из класса систем с переменной структурой представляет собой совокупность непрерывных подсистем, которые обычно называют структурами этой системы. На настоящий момент времени можно отметить три возможных принципа построения траектории деятельности судоводителей в социо-технической системе с переменной структурой.

Первый принцип заключается в том, чтобы из отдельных кусков траекторий деятельности "сшить приличную" по какому-либо критерию траекторию управленческой деятельности судоводителей в социо-технической системе с переменной структурой в целом. Второй принцип предполагает нахождение отдельных траекторий управленческой деятельности судоводителей, выделение из них одной доминирующей и использование такой деятельности в качестве вырожденной. Третий принцип состоит в том, что для системы с переменной структурой создаются скользящие режимы управленческой деятельности судоводителя, возникающие в пространстве состояний (фазовом пространстве) вдоль поверхностей, на которых происходят разрывы механизма выбора (начало и конец вахты).

Для выделения особенностей управленческой деятельности судоводителей в социо-технической системе с переменной структурой из всех перечисленных выше принципов построения общей траектории приемлемым является лишь первый принцип. Целесообразность его применения заключается в том, что механизм выбора в системе "Вахта" имеет признак разнотемповости. Именно этот признак механизма выбора позволяет "склеить" общее управленческое поведение судоводителей из отдельных парциальных и независимых составляющих поведения отдельных судоводителей. В частности, применительно к модели механизма выбора (30-32) общим управленческим поведением судоводителей в социо-технической системе "Вахта" с переменной структурой является детерминированная и "склеенная" последовательность деятельности выделенных классов судоводителей  $CL(M_1)$  и  $CL(M_2)$ .

Описанный синтез управленческой деятельности судоводителей в социо-технической системе с переменной структурой имеет ряд весьма важных практических особенностей. Так, объединение деятельности судоводителей осуществляется на последовательных интервалах времени, т.е. отдельные фрагменты управленческой деятельности судоводителя выстраиваются последовательно друг за другом. Эффект объединения деятельности судоводителей достигается с помощью конечных состояний механизма выбора, и синтез в этом случае имеет точный, а не асимптотический характер. Последней особенностью рассматриваемого синтеза управленческой деятельности судоводителей, является грубость и независимость конечных состояний механизма выбора при наличии малых динамических неидеальностей, которые могут всегда возникнуть в реальных социо-технических системах.

## 6. Заключение

Любая социо-техническая система, реализующая процесс управления состоянием безопасной эксплуатации на судне и соответствующая требованиям Международной Конвенции ПДНВ – 78/95 и Кодексов к ней, обладает свойствами управляемости и наблюдаемости, если в этой системе очередь на преобразование информации в управляющие силовые действия является маловероятным событием.

Социо-техническую систему управления состоянием безопасной эксплуатацией можно отнести к классу устойчивых систем, если судоводитель в рамках своей деятельности способен, привлекая принцип "экономии сознания", реализовывать квазитранзитивный мажорированный механизм выбора альтернатив.

На временном интервале меньшем или равном длительности вахты управленческое поведение судоводителя в социо-технической системе "Вахта" зависит от класса механизма выбора и определяется множеством определяющих параметров, таких, как быстрдействие и вероятность ошибки при принятии решения на использование управлений состоянием безопасной эксплуатации судна.

На временном интервале, превышающем длительность вахты, социо-техническая система "Вахта" приобретает признаки системы с переменной структурой и управленческая деятельность судоводителей в ней может быть описана с помощью детерминированной и "склеенной" последовательности деятельности экспериментально выделенных классов судоводителей.

## Литература

- Айзерман М.А., Малишевский А.В. Некоторые аспекты общей теории выбора лучших вариантов. М., Автоматика и телемеханика, с.65-83, 1981.
- Вагнер В.В. Теория отношений и алгебра частичных отображений. В кн.: Теория полугрупп и ее приложения. Саратов, Саратовский гос. ун-т, вып. 1, с.3-178, 1965.

**Воронов А.А.** Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. *М., Наука*, 336 с., 1979.

**Гафт М.Г.** Принятие решений при многих критериях. *М., Знание*, 347 с., 1979.

**Дынкин Е.Б., Юшкевич А.А.** Теоремы и задачи о процессах Маркова. *М., Наука*, 426 с., 1967.

Международная конвенция о подготовке и дипломировании персонала рыболовных судов и несении вахты (ПДНВ-Р 95) (International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping of Fishing Vessel Personnel (STCW-95)). *СПб., ЗАО ЦНИИ МФ*, 192 с., 2000.