

УДК 612.875.8+613.685

# Информационные модели процесса формирования надежной операторской деятельности

**В. В. Кальниш**

ГУ «Институт медицины труда АМН Украины», Киев

## Резюме

Разработаны иерархическая и компромиссная информационные модели надежного взаимодействия человека и машины. Установлено, что межуровневые связи в иерархически организованной сложной системе имеют специфическую организацию и во времени проявляются как регулярные и иррегулярные. Роль каждого из рассмотренных видов связей особая и обусловлена выполняемыми ими функциями стабилизации (регулярные связи) и коррекции работы системы (иррегулярные). Степень регулярности и иррегулярности функционирования межуровневых связей определяется конкретными условиями деятельности системы и возникающими внешними воздействиями и не может быть всегда постоянной. Благодаря гибкой трансформации этих связей в системе создается возможность формирования надежного функционирования и эффективного приспособления к изменяющимся условиям среды. Межуровневое взаимодействие в сложной системе организовано таким образом, чтобы максимально используя компромисс в межуровневых взаимоотношениях, накапливать полезный для системы результат, тем самым оптимизируя работу отдельных уровней и всей системы в целом.

**Ключевые слова:** информационные модели, надежность операторской деятельности, организация компромиссного межуровневого взаимодействия, регулярные и иррегулярные связи.

**Клин. информат. и Телемед.**  
**2009. Т.5. Вып.6. с.18–25**

## Введение

Значительный рост количества аварий на промышленных предприятиях, транспорте, энергетике и других отраслях хозяйства, наблюдающийся в последнее время, заставил задуматься о четком понимании процесса осуществления операторской деятельности как гармонизированной процедуры взаимодействия человека с машиной. Современные научные достижения свидетельствуют о том, что необходимо соблюдать и поддерживать равновесие между человеком и машиной, поскольку реализация технологических операций невозможна без гармонизации функционирования каждого из этих элементов. Подобные совместные трансформации человека и машины называют коэволюционными и рассматривают как цепочку последовательно сменяющих друг друга, взаимообусловленных, нерасторжимо согласованных изменений, которые могут протекать в обоих компонентах рассматриваемой системы [12]. В связи с этим актуальным становится выявление механизмов рационального взаимодействия человека и машины, препятствующих появлению и оперативному исправлению допущенных работником ошибок.

Особенно такая гармония необходима в условиях развития аварийной ситуации, которая характеризуется появлением новых раздражителей, способствующих переключению определенных усилий человека на их оценку, путем активации ориентировочно-исследовательских реакций. Установлено, что аварийная ситуация, которая

часто сопровождается существенным снижением надежности деятельности, способствует повышению чувствительности анализаторов, мобилизации внутренних резервов организма, в том числе и соответствующих вегетативных компонентов этих резервов [10]. Считается, что специфика подобных реакций на поведенческом уровне характеризуется отсутствием плана действий, что в итоге приводит к подключению средств воспроизведения динамического стереотипа. Поскольку в автоматических реакциях отсутствуют элементы выбора из множества ответов, в частности, элементов оценки нового события, которые крайне необходимы в аварийной ситуации, происходит истощение ресурсов внимания [13]. В этих условиях высокомотивированное одновременное решение нескольких задач, направленных на осуществление стереотипных действий по извлечению из долговременной памяти нужной информации о способах преодоления создавшейся ситуации, способствует значительному увеличению напряженности труда оператора, что в свою очередь, стимулирует разрушение стандартной схемы поведения и включает в структуру действий новые или непредусмотренные операции.

В литературе широко описаны результаты поиска путей совершенствования человеко-машинных взаимодействий. Представлены результаты изучения механизмов психической регуляции и обоснован метод структурно-динамического построения деятельности [3]. Рассмотрены особенности обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте путем повышения надежности управляющей деятельности локомотивных бригад [17].

## Существующие модели

Для углубления понимания механизмов человеко-машинного взаимодействия было разработано ряд моделей. Отличительной чертой одной из таких моделей является описание вероятностного ресурса работоспособности оператора, представленного в виде двух компонентов, которые действуют на показатель его надёжности в противоположных направлениях. Один из указанных компонентов трактуется как расходимый, а другой — как восполняемый ресурс работоспособности оператора [14].

Глобально проблему надёжности операторской деятельности попытался решить Р. Д. Григорян. Аргументируя направление по созданию моделей деятельности, он предполагает, что значительная доля ошибок в работе оператора вызвана ее ненадлежащим физиологическим обеспечением [5]. Для построения комплексной модели надёжной деятельности человека-оператора автором была сформулирована гипотеза о том, что всякая адаптация многоклеточного организма к изменившимся условиям окружающей среды происходит децентрализованно, исключительно благодаря одной движущей силе — текущей ассимиляционной активности каждой клетки. Развивая предложенную концепцию в своих последующих работах, автор констатирует, что организм функционирует как сообщество динамических клеток с их автономными механизмами реактивной адаптации [6]. Он считает, что всякая стимуляция лишь временно перераспределяет имеющиеся ресурсы энергии. В условиях общего дефицита энергии ее перерасход одними группами клеток непременно создает дефицит баланса в актуально пассивных клетках, что при продолжительной стимуляции чревато клеточными деструкциями. Поэтому дефицит энергии играет важную роль в ухудшении качества операторской деятельности. Указанная концепция исследования и повышения функциональной надёжности оператора компьютера, по мнению автора, основана на учете фундаментальных причинных механизмов обеспечения операторской деятельности. На основании изложенных постулатов в рассматриваемой работе построена модель деятельности, которая позволяет связать колебания уровня внимания оператора с колебаниями физиологического обеспечения его работы. Не останавливаясь на разборе изложенных подходов, не-

обходимо отметить, что анализ ряда моделей деятельности (в частности, пользователя компьютера) показал, что большинство из них не обладает характеристиками универсальности, свойствами прогнозирования и не может широко использоваться в научных исследованиях [9].

## Модель организации взаимодействия в человеко-машинной системе

Надёжность операторской деятельности формируется под действием многих факторов. Одним из ключевых является информационный фактор, действие которого особым образом разворачивается во времени. Важным аспектом влияния информационного фактора в условиях операторской деятельности является характер взаимодействия человека с машиной в процессе труда [7]. Схематически такое взаимодействие представлено на рис. 1.

При взаимодействии человека и машины (в анализируемом случае, соответственно М и Е) особое место занимают регулярные связи. Они предусматривают активный обмен информацией при «нормативном» протекании операторской деятельности. Системо-

образующим фактором, обеспечивающим функционирование таких связей, является производственная программа и здесь информационный обмен (при не отклоняющейся от заданных пределов направленности производственного процесса), как правило, осуществляется на оптимальном или близком к нему уровне.

В рассматриваемом контексте необходимо также отметить, что всякое информационное взаимодействие может сопровождаться определенными сбоями — такова природа любого двустороннего или многостороннего влияния. В условиях штатного протекания производственного процесса вероятность появления сбоев достаточно мала. При развитии сложных, а особенно, аварийных ситуаций, связанных с существенным недостатком нужной информации и дефицитом времени для принятия решений, часто нарушается возможность человека-оператора выполнять предписанные функции, то есть снижается надёжность его деятельности. Ликвидация допущенных ошибок осуществляется за счет подключения дополнительных ресурсов организма человека и машины и на информационном уровне характеризуется появлением иррегулярных и нестандартных информационных обменов. Появление иррегулярных связей между управляющим и управляемым объектами вполне «нормальный» феномен. С помощью этих связей, имеющих существенное влияние на функционирование человеко-машинной системы, осуществляется коррекция действий, направленная на устранение появившихся сбоев и неточностей в деятельности оператора.

Здесь можно провести определенную аналогию с функционированием ультра-

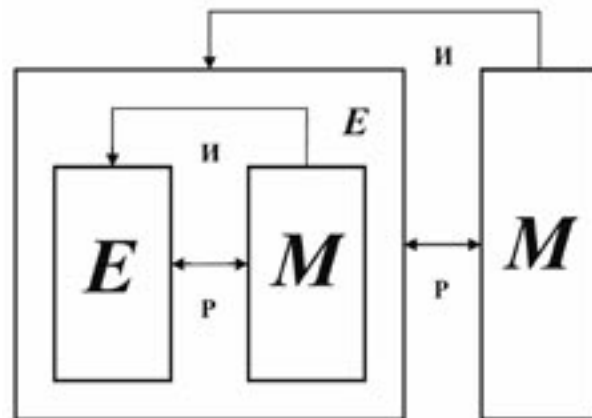


Рис. 1. Структурно-функциональная схема взаимодействия человека и машины при осуществлении операторской деятельности. Е — управляемый элемент; М — управляющий элемент; Р — регулярные взаимодействия; И — иррегулярные взаимодействия.

стабильной системы, работу которой подробно описал У. Р. Эшби [19]. Он подчеркивал, что организм, способный к адаптации, имеет две явно различимые формы обратной связи. Одна из них ( $Z_1$ ) часто или непрерывно дает информацию об окружающем мире. Вторая ( $Z_2$ ) – влияет на существенные переменные и несет информацию о том, выходят ли эти переменные из нормальных пределов. Именно эта связь определяет, какая именно реакция должна произойти. Если же реакция не достигла цели, поведение должно быть изменено. В противном случае форма поведения должна быть закреплена в ультрастабильной системе с помощью обратной связи ( $Z_1$ ), а  $Z_2$  может временно приостановить свои функции до появления новой проблемы. Автор установил, что для быстрого приспособления к изменяющимся условиям необходимо, чтобы определенные части системы не сообщались с другими подсистемами или не влияли на них, поскольку адаптация может требовать не только взаимодействий, но и независимости этих частей. Поэтому в организме существует многообразная сложная картина постоянно меняющихся взаимодействий его частей.

Для объяснения феномена проявления в организме меньшего числа межсистемных взаимоотношений (чем внутрисистемных) он приводил следующие аргументы. Если в некоторой совокупности подсистем число связей велико, каждая переменная в такой же степени подвержена влиянию переменных из других подсистем, как и в своей собственной. И в этом случае адаптация к изменениям внешней среды может происходить весьма длительно, поскольку необходимо согласование и гармонизация большого числа сильно взаимосвязанных параметров. Когда же связи между подсистемами развиты значительно слабее, чем внутри подсистем, период адаптации такой системы в целом будет значительно меньшим.

Однако, чем меньше связей в системе, тем меньше у нее возможных форм поведения. С этой точки зрения полезность дополнительных связей очевидна, так как они позволяют увеличить число возможных форм поведения. У. Р. Эшби доказал теорему согласно которой, объединенная система обладает более богатым выбором способов поведения, чем система, представляющая собой совокупность изолированных частей. Он считал, что увеличение числа связей между реагирующими частями в сложной системе имеет как определенные преимущества, так и недостатки и, очевидно, организм в этом отношении должен стремиться к некоторому оптимуму.

Основной особенностью формирования подобного оптимума является то, что организм находит такие состояния или величины существенных переменных, которые лежат в заданных пределах.

Таким образом, приспособление происходит за счет удерживания существенных переменных в определенных пределах. Оно также существенно ограничено временем для осуществления необходимых перестроек. Благодаря гибкому «выключению» связей внутри целого создается возможность формирования эффективной адаптации. Целое становится как бы агрегатом подсистем, внутри которых связи развиты сильно, но между которыми они менее сформированы. Поэтому приспособление организма в сложной среде может быть достигнуто за относительно короткое время, если среда состоит из последовательно соединенных подсистем, имеющих между собой каналы с небольшой пропускной способностью.

Такая же мысль проводится и другими авторами, которые считают, что организм стремится гармонизировать свои информационные обмены со средой. Поскольку любые отклонения от оптимального уровня нерациональны они сопровождаются определенным «штрафом» [4]. В некоторых случаях, организм расширяет это взаимодействие (например, ориентировочно-исследовательские реакции), а в других – снижает (например, сон). В целом для нервных центров «штрафом», по-видимому, является не только избыток, но и недостаток афферентации (информационная и сенсорная депривация), что стимулирует к формированию мнения о поддержании между различными иерархическими уровнями нервной системы оптимального уровня информационного взаимодействия.

Если создаются условия, когда связи между отдельными иерархическими уровнями системы «человек-машина» становятся регулярными, например, когда образование и устранение ошибок осуществляется постоянно, тогда их действие становится более «привычным» и менее действенным. Появление подобной ситуации, характеризующейся усилением межуровневых связей, ведет к включению нового механизма регуляции деятельности системы.

Указанный механизм сводится к подключению управляющих сигналов более высокого уровня (например, уровня администрации предприятия). В этом случае, поступающую для восстановления нормальной работы описываемой системы информацию, можно считать управляющей (М), а агрегат, состоящий из управляемого и управляющего элементов, в такой ситуации выступает

в качестве исполнительного элемента (Е). Связь между этими новыми элементами будет носить иррегулярный характер, если такое воздействие более высокого уровня управления является эффективным. В итоге, с высокой вероятностью происходит восстановление прежних надлежащих отношений между человеком и машиной. Если же эффективность действия такой расширенной системы мала, тогда характер связи преобразуется из иррегулярного в регулярный. Следовательно, необходимым является подключение к управлению еще более высокого уровня системы и т.п.

Таким образом, при нормативном функционировании внутри подсистемы действует достаточно большое количество регулярных связей, а между иерархически соподчиненными уровнями обобщающей системы эти связи носят иррегулярный характер. Сбои в работе системы приводят к существенным перестройкам качества связей, имеющихся между ее подсистемами. Преимуществом такой комбинированной системы управления являются одновременно более высокая точность и быстродействие при устранении появляющихся сбоев, а также возможность управления в основном по детерминированному алгоритму, сводя роль иррегулярной составляющей к выполнению коррекции непредсказуемых возмущений.

Опираясь на рассмотренное необходимо отметить, что организм человека и человеко-машинную систему принципиально невозможно редуцировать до клеток, органных систем или отдельных иерархических уровней. Объективно существуют механизмы обеспечения надежной деятельности, объединяющие отдельные уровни системы в цельную человеко-машинную систему. Некоторые из этих механизмов рассмотрены в [7], другие – будут обсуждаться дальше.

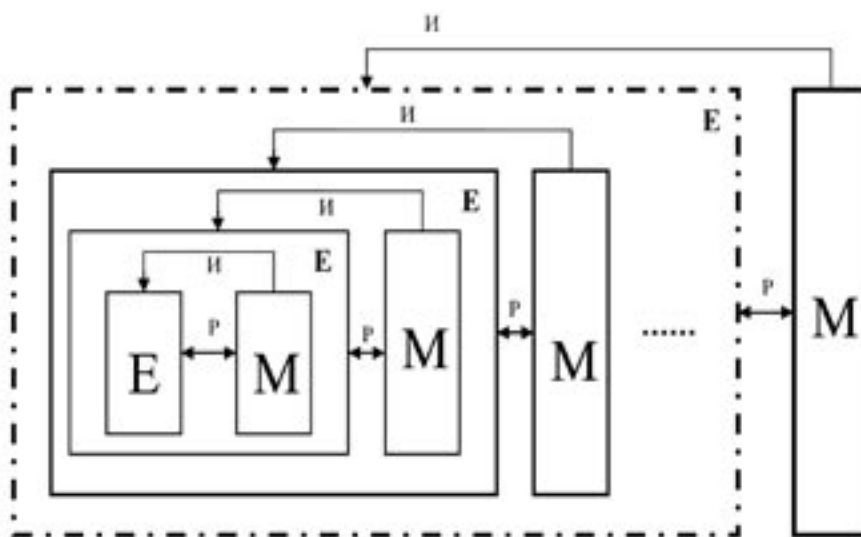
## Иерархическая информационная модель

В общем виде мысль о иерархической организации нервно-психической структуры организма человека была сформулирована еще А. А. Ухтомским. В своих работах 1938 и 1942 годов «Об условно-отраженном действии» [15] и «Система рефлексов в восходящем ряду» [16] он выдвинул идею о том,

что при эволюционном усложнении организма параллельно происходит функциональное разделение нервной системы и постепенно образуется определенная иерархическая структура, в которой высшие уровни передают нижшим решение большинства текущих задач. В этом случае сами высшие уровни, которым принадлежит ведущая роль во взаимодействии человека со средой, приобретают функции ее «локации» и выработки на основании полученной и проанализированной информации новых функциональных органов и механизмов, направленных на реализацию внутренних программ организма. В результате организмом достигается максимальная самостоятельность в действиях и независимость от среды. Указанный процесс протекает под контролем доминанты, которая определяет «стратегическое» направление деятельности организма.

Иерархическая система представляет собой сложную целенаправленную систему с взаимозависимыми функциональными элементами, распределенными по уровням, между которыми в определенном смысле установлены отношения соподчиненности [18]. Такая структура системы способствует децентрализации управления и согласованию решений между отдельными ее уровнями. Поскольку в работе системы одна центральная задача большой размерности заменяется последовательностью относительно независимых задач значительно меньшей размерности и осуществляется согласование их решений в единую целостную систему, направленную на решение исходной задачи, функционирование такой системы будет более эффективным.

В системном анализе существует понятие изоморфизма механизмов управления, вырабатываемых на различных уровнях сложной системы. Если предположить, что описанный выше механизм информационного обмена между человеком и машиной является неспецифическим и универсальным, то можно сформировать информационную модель сложной системы, действующей согласно рассмотренным механизмам обеспечения операторской деятельности как на различных уровнях организма оператора, так и на разнообразных уровнях производства. В этом месте уместно также подчеркнуть, что здесь используются максимально упрощенные схемы, которые в реальной системе «человек-машина» действуют на несравненно более высоком уровне сложности. Однако общие механизмы функционирования системы становятся понятными и на упрощенных моделях. Такую модель можно представить в виде



**Рис. 2.** Структурно-функциональная схема информационной модели операторской деятельности, обеспечивающей высокую надежность функционирования системы «человек-машина». Е — управляемый элемент; М — управляющий элемент; Р — регулярные взаимодействия; И — иррегулярные взаимодействия.

структурно-функциональной схемы (рис.2).

Внешний контур описываемой системы отображает взаимодействие человека и машины. В общем случае, если деятельность оператора будет сопряжена с регулярным появлением ошибок, для более полного отражения функционирования системы будет наращиваться еще один уровень управления, представляющий администрацию предприятия. Такое преобразование схемы в случае необходимости может охватывать и более высокие уровни управления производством.

Если рассматривать внутренний контур представленной схемы, то он отражает иерархически соподчиненные уровни управления организмом человека, обеспечивающие его надежную деятельность. Реальное существование таких уровней управления может быть подтверждено литературными данными, которые описывают организацию взаимодействия определенных систем организма, в частности, отраженные в широко известной двухконтурной модели управления ритмом сердца, разработанной Р. М. Баевским [1]. В этой модели центральный контур представлен уровнями А (обеспечивает взаимодействие организма с внешней средой), Б (обеспечивает гомеостатическое межсистемное равновесие) и В (представлен вазомоторными центрами, обеспечивающими локальное и общее приспособление сосудистой системы к изменениям

ударного и минутного объема крови), а автономный контур — синусовым узлом, который непосредственно связан с сердечно-сосудистой системой. Однако, достаточно подробно описывая функции отдельных иерархических уровней системы регуляции функционирования сердечно-сосудистой системы, автор все же детально не останавливается на вопросах, характеризующих взаимодействие между отдельными уровнями описываемой системы.

Высокая надежность функционирования не предполагает неподвижности или негибкости рассматриваемой системы. Она характеризуется динамической стабильностью, свойственной всей системе в целом, а не отдельным ее частям. Если такая система будет выведена из состояния равновесия она перейдет к активным, порой достаточно сложным действиям, которые все же не будут вызывать значительных отклонений ее параметров. При этом допущенные на уровне любой подсистемы ошибки будут использоваться системой для дальнейшего совершенствования своих действий. Такая динамическая стабильность, устанавливается за приемлемое для системы время, и как показал У. Р. Эшби [19], может быть достигнута поэтапно, когда частичные успехи сохраняются и постепенно аккумулируются, поскольку сложное событие не может свершиться достаточно быстро, если входящие в него элементарные события должны совершиться одновременно.

## Компромиссная информационная модель

Построение информационной модели взаимодействия человеческого организма с машиной в процессе операторской деятельности задача крайне сложная. В настоящее время, вероятно, можно попытаться без учета многочисленных деталей описать только некоторые схематичные представления относительно организации такой многоуровневой системы. Но даже такая декомпозиция деятельности целостного организма и человека-машинной системы, на наш взгляд, является определенным шагом в направлении уточнения на содержательном уровне глубинных механизмов организации функционирования рассматриваемой сложной системы.

Таким образом, в используемом описании информационных процессов в человеко-машинной системе мы будем придерживаться определенных идеализированных случаев, которые важны потому, что поддаются более точному определению и не слишком сложны для анализа. Это позволит приблизиться к пониманию некоторых механизмов лишь в известном приближении. Предлагаемое далее информационное описание системы «человек-машина» определяет взгляд на ее организацию и отражает способность приспособления к изменяющимся условиям деятельности не только на уровне целостного образования, но и на уровне взаимосвязанных подсистем и, в общем случае, выглядит как некая структура потоков информации, пронизывающих всю систему. При построении информационной модели была учтена, с одной стороны, необходимость наглядности и простоты трактовки полученных результатов, а с другой — сложность организации межуровневого взаимодействия и сложность самой системы в целом. Исходя из указанных антагонистических критериев, можно разработать модель, показывающую только отдельные стороны информационных событий происходящих в реальном объекте.

В качестве прообраза такой простейшей модели был выбран двоичный счетчик, изменение состояний которого имеет некоторые интересные особенности. Во-первых, организация пересчета должна быть таковой, чтобы, как и в функционирующем в оптимальных условиях живом организме, все ее

элементы примерно одинаково изнашивались за период его работы. Следовательно, для определения деталей деятельности такого счетчика не годится обычная схема двоичного счета, а необходимо применить специальные коды, способствующие обеспечению эффективной работы этого устройства. Во-вторых, заданный критерий эффективности должен касаться не только работы счетчика в целом, но и его функционирования на отдельных временных отрезках, что можно будет интерпретировать как адаптацию отдельных иерархических уровней рассматриваемой системы.

Счетчик импульсов является устройством, внутреннее состояние которого зависит только от количества импульсов, поданных на вход. Результат счета импульсов обычно фиксируется в виде некоторого кода, который позволяет определить количество импульсов, поданных на вход счетчика. Счетчик, формирующий выходные сигналы только после подачи на его вход определенного количества импульсов, называется пересчетной схемой. Закон функционирования пересчетной схемы определяется коэффициентом пересчета. Коэффициентом пересчета называется число, равное количеству импульсов, которое необходимо подать на вход пересчетной схемы, чтобы получить импульс на ее выходе. Исходя из условия, что коэффициент пересчета, например, равен 30 можно определить минимальное количество двоичных элементов, необходимых для построения пересчетной схемы ( $n=5$ ). В исходном состоянии все элементы пересчетной схемы должны хранить код «0».

Из всего сказанного можно сформулировать задачу — построить пересчетную схему, применяя для внутреннего кодирования состояний код Грея. Код Грея — специальный двоичный код, в котором при переходе изображения одного числа к изображению следующего соседнего числа изменяется значение цифры только одного разряда. Код Грея является непозиционным кодом, где вес единицы не определяется номером разряда [2, 11].

Механизм работы пересчетной схемы таков, что состояния ее элементов не должны повторяться внутри одного цикла. Так как в исходном состоянии каждого цикла все элементы схемы должны находиться в состоянии «0», то при подаче первого импульса на схему должен срабатывать только один ее элемент. При подаче второго импульса в единичном состоянии должно находиться два элемента. 28-й шаг счетчика характеризуется тем, что в единичном состоянии находятся два элемента,

а на 29-м шаге — только один элемент. Для построения наиболее экономичной пересчетной схемы необходимо, чтобы все элементы схемы срабатывали равномерно, то есть при коэффициенте пересчета 30 и количестве элементов 5 каждый элемент должен срабатывать по 6 раз. Причем, желательно, чтобы и на протяжении всего цикла — работа элементов счетчика была максимально равномерной.

Для конструирования указанной пересчетной схемы необходим алгоритм задающий схему ее построения. В простейшем случае из 32 ( $2^5$ ) возможных комбинаций состояний 5 элементов пересчетной схемы можно методом перебора отобрать и упорядочить нужные состояния схемы. Однако такой комбинаторный подход слишком нерационален и может дать последовательность кодов, которая не удовлетворяет условию равномерного срабатывания элементов схемы во времени. Поскольку идеальной равномерности срабатывания элементов в условиях постоянного дефицита ресурсов достичь невозможно вследствие существенной ограниченности числа исходных комбинаций состояний элементов схемы (выбор 30 комбинаций из 32 возможных), необходимо разработать подход, который бы максимально удовлетворял этому условию. Такой подход основан на идее компромисса, когда изменение каждого следующего во времени состояния схемы максимально (но не идеально) удовлетворяет критерию равномерности срабатывания ее элементов. В результате применения указанного подхода происходит отбор таких конфигураций организации функционирования пересчетной схемы, которые дают возможность показать, что компромиссные отношения между отдельными уровнями внутри большой системы помогают создать объект, обладающий особой способностью оптимально функционировать на целостном уровне. Примерами таких объектов, реально существующих в природе, являются любые структурные единицы живых систем: клетка, организм, популяция, биоценоз. И только нецелесообразные, насильственные действия человека или природных условий на отдельных уровнях этих систем могут привести их к нерациональному функционированию или разрушению.

Один из множества вариантов компромиссного изменения состояний пересчетной схемы представлен в табл. 1. Из приведенного примера видна принципиальная возможность построения оптимальной пересчетной схемы с заданными условиями ее функционирования.

Табл. 1. Организация функционирования и интегральные характеристики работы пересчетной схемы.

ШАГ ПЕРЕСЧЕТА	СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕСЧЕТНОЙ СХЕМЫ					СУММАРНОЕ КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕСЧЕТНОЙ СХЕМЫ					ОБОБЩЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ		
	$n_p$	$n_i$	$ n_p - n_i $										
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	4	0
3	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	3	0
4	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	2	0
5	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
7	1	1	1	1	0	1	1	1	1	2	4	4	0
8	1	1	1	0	0	1	1	1	2	2	3	3	0
9	1	0	1	0	0	1	2	1	2	2	2	2	0
10	0	0	1	0	0	2	2	1	2	2	1	1	0
11	0	0	1	0	1	2	2	1	2	3	2	0	2
12	0	0	0	0	1	2	2	2	2	3	4	4	0
13	0	1	0	0	1	2	3	2	2	3	3	3	0
14	0	1	1	0	1	2	3	3	2	3	2	2	0
15	0	1	1	0	0	2	3	3	2	4	3	1	2
16	0	1	1	1	0	2	3	3	3	4	2	0	2
17	0	0	1	1	0	2	4	3	3	4	3	4	1
18	1	0	1	1	0	3	4	3	3	4	3	3	0
19	1	0	0	1	0	3	4	4	3	4	2	2	0
20	0	0	0	1	0	4	4	4	3	4	1	1	0
21	0	0	0	1	1	4	4	4	3	5	2	0	2
22	0	0	1	1	1	4	4	5	3	5	3	4	1
23	1	0	1	1	1	5	4	5	3	5	2	3	1
24	1	0	1	0	1	5	4	5	4	5	2	2	0
25	1	1	1	0	1	5	5	5	4	5	1	1	0
26	1	1	0	0	1	5	5	6	4	5	2	0	2
27	1	1	0	0	0	5	5	6	4	6	3	4	1
28	1	1	0	1	0	5	5	6	5	6	3	3	0
29	0	1	0	1	0	6	5	6	5	6	2	2	0
30	0	1	0	0	0	6	5	6	6	6	1	1	0
31	0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	0	0	0

Примечание:  $n_p$  – реальное количество элементов, состояние которых не соответствует возможному на данном шаге локальному оптимуму;  $n_i$  – «идеальное» количество шагов изменений состояния элементов пересчетной схемы;  $|n_p - n_i|$  – оценка уровня компромисса, достигнутого при конструировании пересчетной схемы на каждом шаге ее функционирования.

Через 30 тактов пересчетная схема возвращается к своему первоначальному состоянию. Причем на глобальном уровне все элементы рассматриваемой схемы меняют свое состояние одинаковое число раз. Пошаговый анализ преобразования состояний элементов показывает, что использованный компромиссный механизм конструирования счетчика в большинстве случаев дает удовлетворительный результат. Однако, и это очень интересно, в некоторых случаях наблюдаются небольшие отклонения от идеального переключения

состояний счетчика. Наличие таких участков вполне понятно с той точки зрения, что в сложной многокритериальной системе принципиально не может существовать положения, когда удовлетворяются требования всех критериев. Использованный компромиссный подход минимизирует отклонения от идеального результата.

Вместе с тем, необходимо отметить, что наличие четырех участков с определенными аномалиями от идеального функционирования пересчетной схемы (на шагах пересчета: 11, 15–17, 21–23,

26–27) может свидетельствовать о наличии «узких мест», где возникает повышенная вероятность формирования сбоев в работе системы. По-видимому, такие «узкие места» имеются и при функционировании человеческого организма, и при работе системы «человек-машина».

## Заключение

При обсуждении приведенных моделей уместно сделать следующий

комментарий. Он касается понятий работоспособность и надежность деятельности. В первом случае — это непрерывная функция, динамика которой зависит от уровня профессионально важных функций, здоровья, возраста и текущего функционального состояния человека [8]. Можно предположить, что в процессе работы системы «человек-машина» снижение работоспособности, в основном, постепенно затрагивает все более глубокие уровни регуляции функций человеческого организма. При появлении значимой ошибки, как ступенчато изменяющейся функции, коренным перестройкам подвергаются сразу несколько уровней управления, возможно, в большей степени затрагивающих имеющиеся в системе «узкие места». Поэтому «фатальная» ошибка имеет более существенное влияние на организм человека, чем постепенное снижение работоспособности, связанное, например, с развитием утомления.

Таким образом, разработанные иерархическая и компромиссная информационные модели надежного взаимодействия человека и машины показывают, что связи в иерархически организованной сложной системе имеют специфическую организацию и во времени проявляются как регулярные и иррегулярные. Роль каждого из рассмотренных видов связей особая и обусловлена выполняемыми ими функциями стабилизации (регулярные связи) и коррекции работы системы (иррегулярные). Регулярность и иррегулярность функционирования межуровневых связей определяется конкретными условиями деятельности системы и возникающими внешними воздействиями и не может быть всегда постоянной. Межуровневое взаимодействие в сложной системе организовано таким образом, чтобы максимально используя компромисс в межуровневых взаимоотношениях, накапливать полезный для системы результат, тем самым оптимизируя работу отдельных уровней и всей системы в целом.

## Литература

- Баевский Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. — М.: «Медицина», 1979. — 298 с.
- Бауэр Ф. Л., Гооз Г. Информатика. Вводный курс. — Ч. 1. — М.: Мир, 1990. — 336 с.
- Бодров В. А. Развитие системного подхода в исследованиях профессиональной деятельности // Психологический журнал. — 2007. — № 3 — С. 23–28.
- Гельфанд И. М., Цетлин М. Л. О математическом моделировании механизмов центральной нервной системы // Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем. — М., 1966. — С. 9–28.
- Григорян Р. Д. Концепция виртуального организма в биоинформатике // Проблемы програмування, 2007. — № 2. — С. 140–150.
- Григорян Р. Д. Механизм колебаний функциональной надежности оператора компьютера // Проблемы програмування. — 2008. — № 2–3. — С. 756–764.
- Кальниш В. В. Психофизиологические аспекты изучения надежности операторской деятельности // Український журнал з проблем медицини праці. — 2008. — № 3. — С. 81–88.
- Кальниш В. В. К вопросу об определении понятий работоспособность и трудоспособность // Український журнал з проблем медицини праці. — 2009. — № 1. — С. 13–22.
- Кирхар Н. В., Ходаков Д. В. Модели деятельности пользователя компьютеризированной системы // Вестник ХНТУ. Информационные технологии. — 2007. — № 4(27). — С. 370–378.
- Китаев-Смык Л. А., Боброва Э. С. Стресс как психофизиологический фактор операторской деятельности // Психологические факторы операторской деятельности. — М., 1988. — С. 111–125.
- Кузьмин И. В., Кедров В. А. Основы теории информации и кодирования. — К.: Вища школа, 1986. — 238 с.
- Огурцов А. П. Тектология А. А. Богданова и идея коэволюции // Системный подход в современной науке. — М.: Прогресс-Традиция, 2004. — С. 191–201.
- Пономаренко В. М., Турзин П. С., Рысакова С. Л. Проектирование диалога «оператор-ЭВМ» (психологические аспекты). — М., 1993. — 120 с.
- Смагин В. А. Техническая синергетика. Вероятностные модели элементов сложных систем. — Вып. 1. — СПб, 2003. — 62 с.
- Ухтомский А. А. Об условно-отраженном действии // Собр. соч. — Л., 1954. — Т. 5. — С. 226.
- Ухтомский А. А. Система рефлексов в восходящем ряду // Собр. соч. Л., 1954. Т. 5. С. 228–231.
- Худоногов И. А. Повышение надежности управляющей деятельности операторов транспортных средств // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. — 2007. — № 5. — С. 202–206.
- Чернышев М. К., Гаджиев М. Ю. Математическое моделирование иерархических систем с прило-

жениями к биологии и экономике. — М.: Наука, 1983. — 192 с.

- Эшби У. Р. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. — 398 с.

## Information models for formation process of reliable operators' activity

V. V. Kalnysh

State Institution  
INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL HEALTH  
of the Academy of Medical Sciences  
of Ukraine, Kiev

### Abstract

The hierarchical and compromise information models of reliable interaction between the man and machine have been developed. There was established, that interlevel communication in the hierarchically organized complex system have specific organization and they are shown as regular and irregular. The whole roles of the considered kinds of communications are special and it is caused by stabilization (regular communications) functions, carried out by them, and correction of system work (irregular). The degree of a regularity and irregularity of interlevel functioning of communications has been determined by concrete conditions of system activity and arising external influences. It can't be always constant. Due to flexible transformation of these system communications, the occasion of reliable functioning formation and effective adaptation in environment's various conditions has been created. The interlevel interaction in complex system is so organized, that is took the most compromise in interlevel mutual relation, to accumulate useful to system result, thus separate levels' optimizing work for whole system.

**Key words:** information models, reliability of operator activity, organization compromise of interlevel interaction, regular and irregular communication.

## Інформаційні моделі процесу формування надійної операторської діяльності

V. V. Kalnysh

ДУ «Інститут медицини праці АМН  
України», Київ

### Резюме

Розроблено ієрархічні й компромісна інформаційні моделі надійної взаємодії людини та машини. Установлено, що міжрівневі зв'язки в ієрархічно організованій складній системі мають специфічну організацію та проявляються у часі як регулярні та іррегулярні. Роль кожного

з розглянутих видів зв'язків особлива і обумовлена виконуваними ними функціями стабілізації (регулярні зв'язки) і корекції роботи системи (іррегулярні). Ступінь регулярності та іррегулярності функціонування міжрівневих зв'язків визначається конкретними умовами діяльності системи та виникаючих зовнішніх впливів і не може бути завжди постійною. Завдяки гнучкій трансформації цих зв'язків у системі створюється можливість формування надійного функціонування й ефективного при-

стосування до умов змінюваного середовища. Міжрівневу взаємодію в складній системі організовано таким чином, щоб максимально використовуючи компроміс у міжрівневих взаєминах, накопичувати корисний для системи результат, тим самим оптимізуючи роботу окремих рівнів і всієї системи в цілому.

**Ключові слова:** інформаційні моделі, надійність операторської діяльності, організація компромісної міжрівневої взаємодії, регулярні й іррегулярні зв'язки.

### Переписка

д.биол.н., професор **В. В. Кальниш**  
Тел. +380 (44) 289 46 05  
ел. пошта: kalnysh@mail.ru