

УДК 004.065

## Организация методов и средств повышения безопасности функционирования интерактивных систем мониторинга и управления

В. В. Гучук

[polma@bk.ru](mailto:polma@bk.ru)

Институт проблем управления РАН, Москва

*Поступила в редакцию 18 июня 2020 г.*

**Аннотация.** При создании высоконадежных интерактивных систем мониторинга и управления сложными научно-техническими изделиями среди прочего инструментария и технологий по предотвращению возникновения нештатных и аварийных ситуаций, особое место занимает организация полноценного участия человека-оператора в процессе интеллектуального прогнозирования неблагоприятного развития управленческой ситуации. Необходимо обеспечить эффективное участие человека-оператора в процессе мониторинга и управления за счет такой визуализации, которая дает полное представление о состоянии управляемого объекта, и в то же время позволит человеку-оператору адекватно воспринимать представленную информацию и принимать осознанные и правильные действия. В работе рассмотрено несколько определяющих аспектов разработки механизмов предотвращения возникновения нештатных и аварийных ситуаций для систем мониторинга и управления сложными динамическими объектами, включая вопросы интерфейсного обустройства взаимодействия человека-оператора и программно-аппаратных средств. Описана организация визуальной поддержки логического анализа ситуации человеком-оператором на основе предложенных каузальных мнемосхем. Приведены основные принципы, которыми следует руководствоваться при создании такой поддержки. На основе собственного опыта и обширного библиографического материала разработана программная среда формирования интерфейсного образа мнемосхем. Предлагаемые в работе технологии использовались при проектировании системы программного контроля и интерактивного управления стенда для испытания сложных научно-технических объектов.

**Ключевые слова:** критерий; адаптация; нештатная ситуация; интерактивная система; мониторинг; управление; человек-оператор; визуализация; программно-аппаратные средства; каузальная мнемосхема.

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач при создании высоконадежных интерактивных систем мониторинга и управления перспективными сложными научно-техническими объектами является разработка механизмов

предотвращения возникновения нештатных и аварийных ситуаций [1]. В таких объектах зачастую время между явным проявлением скатывания управляемого объекта в нештатный режим и началом неуправляемого развития аварии бывает настолько мало, что ситуацию уже

невозможно выправить никаким образом [2]. Одним из путей решения проблемы является своевременная перестройка системы управления, а именно упреждающая критериальная адаптация, предложенная автором [3] и опирающаяся на подобные технологии, известные из теории и практики мониторинга и управления сложными объектами [4].

Упреждающая критериальная адаптация является по сути ситуационно-контекстной настройкой системы управления для наиболее эффективного реагирования на возникающую ситуацию в управляемом объекте, включающая в себя актуализацию необходимых алгоритмов выхода из конкретной нештатной ситуации, освобождение системы прерывания для возможности оперативного реагирования на сигналы о развитии нештатной ситуации, корректировку пороговых значений определяющих параметров для более раннего обнаружения разладки и т.п. Процессы, протекающие в новых разрабатываемых научно-технических объектах, часто бывают не полностью изучены и не должным образом формализованы. Поэтому, кроме соответствующего конструирования алгоритмов управления, следует обеспечить полноценное участие человека-оператора в процессе управления. Это может позволить обнаружить тенденции ухода управляемых процессов от штатных режимов на самых ранних стадиях их проявления. Для эффективного участия человека-оператора в процессе мониторинга и управления необходимо создавать такую визуализацию, которая даст достаточно полное (валидное, компетентное) представление о состоянии управляемого объекта и в то же время позволит ему адекватно воспринимать представленную информацию и принимать осознанные и правильные действия. Далее описываются особенности реализации упреждающей критериальной адаптации, а также потенциальные возможности визуализации параметров управляемых процессов.

## ТЕХНОЛОГИЯ УПРЕЖДАЮЩЕЙ КРИТЕРИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ

Использование технологии упреждающей критериальной адаптации (ТУКА) – это попытка подойти наиболее подготовлено к возникающей ситуации в управляемом объекте.

В арсенале технологии:

- актуализация всех необходимых алгоритмов выхода из возможной нештатной ситуации, что требует дополнительной обработки данных в реальном и часто «жестком времени»;
- освобождение системы прерываний от обработки поступающих данных, не актуальных для возникающей ситуации;
- оценка корректировка пороговых значений контрольных параметров для более раннего определения самого факта разладки в контексте текущей ситуации.

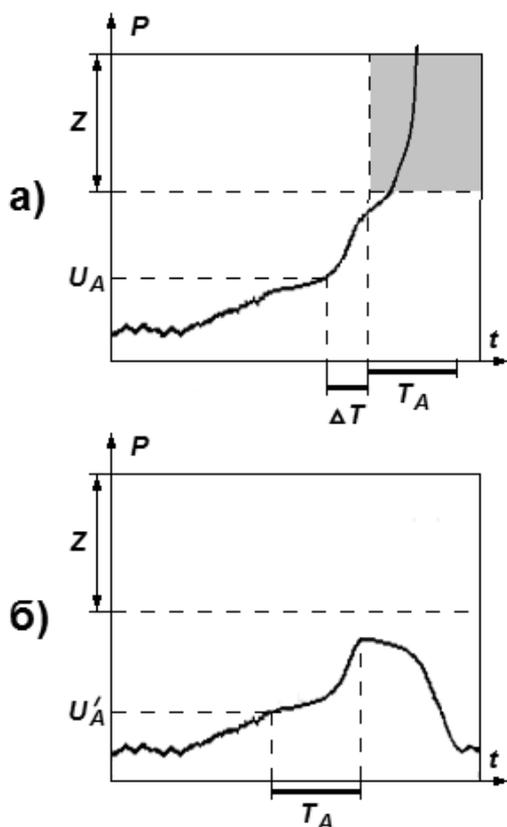
Возможный эффект от использования упреждающей критериальной адаптации на примере работы алгоритма предотвращения развития нештатной ситуации иллюстрирует рис. 1.

На рисунке:

- $P$  – значение контролируемого параметра;
- $Z$  – зона неуправляемого развития нештатной ситуации;
- $U_A$  – порог срабатывания алгоритма;
- $T_A$  – время, необходимое для отработки алгоритма;
- $\Delta T$  – время ожидания отработки других, уже запущенных алгоритмов;
- $U'_A$  – скорректированный порог срабатывания алгоритма.

Упреждающая критериальная адаптация:

1. Позволяет выстроить адекватную для текущей ситуации систему приоритетов и ранжиров параметров и показателей, что исключает запуск неактуальных алгоритмов, могущих заблокировать на определенное время  $\Delta T$  (рис. 1) включение нужного алгоритма (важнейший фактор для работы сложно-технических изделий в условиях жесткого временного лимита).



**Рис. 1.** Работа алгоритма предотвращения развития нештатной ситуации: *а* – без использования ТУКА (реальная авария сложного научно-технического изделия); *б* – с использованием ТУКА (гипотетическая кривая, построенная по апостериори найденным признакам скатывания в нештатную ситуацию)

2. Настраивает уровни прерывания, пороги и условия срабатывания алгоритма предотвращения неблагоприятного развития нештатной ситуации, что позволяет осуществить более ранний запуск алгоритма и тем самым кардинально повысить его эффективность.

3. Одновременно, за счет настройки уровней прерывания, порогов и условий срабатывания алгоритма, порождает и комплементарный эффект – уменьшение вероятности ложного срабатывания алгоритма, что дает возможность корректной эксплуатации дорогостоящего объекта управления.

4. Дополняется ситуационно-контекстной визуализацией, которая дает максимально возможное представление о состоянии управляемой системы в каждый конкретный момент и в то же время позволяет человеку-оператору адекватно воспринимать

представленную информацию и принимать осознанные и эффективные действия.

5. Может включать визуальную поддержку человека-оператора при осуществлении им логического анализа текущей ситуации (см. выше).

Понижение порога срабатывания – это один из возможных вариантов подстройки системы диагностики и прогнозирования к текущей ситуации. В зависимости от конкретного объекта такая процедура может быть и не допустимой, или для ее реализации не будет достаточных знаний о процессах в объекте. В общем случае понижение порога срабатывания может дополняться или замещаться другими процедурами. Достаточно прозрачным для определенного режима эксплуатации может быть решение объединить ряд параметров в группу и определять достоверно начало движения к выходу из штатной ситуации по одинаковой почти неявной динамике всех или большинства параметров этой группы. Понижение порога в определенном смысле может быть чисто символическим понятием. В простейшем случае можно сузить коридор допустимых значений параметров, характеризующих уровень вибраций или шумов [5].

Что касается дополнительной задержки для срабатывания алгоритма диагностики и прогнозирования (время ожидания отработки других уже запущенных алгоритмов на рис. 1), то ее наличие или отсутствие не является актуальным для медленнотекущих процессов. Однако при управлении сложным объектом, подверженным по разным причинам мгновенному скатыванию в нештатный или аварийный режим, такая задержка играет определяющую роль, поскольку приходится постоянно включать те или иные процедуры корректировки параметров, и на этом фоне может быть упущен момент для подготовки к выходу из наиболее проблемной ситуации.

Основная сложность реализации ТУКА состоит в необходимости обеспечения достоверного прогнозирования развития управленческой ситуации и в определении момента перестройки системы управления. Конечно, есть тривиальные решения, когда

объект управления переходит из одного режима работы в другой – это и является сигналом к перестройке. Также ясно, что необходимо использовать наиболее эффективные алгоритмы прогнозирования. Как показывает практика [6], такие алгоритмы достаточно просто разработать для моделирования предупреждения возникновения неуправляемой нештатной ситуации по данным уже произошедшей аварии, но эти алгоритмы нельзя распространить на более широкий класс задач. Это обусловлено наличием неопределенностей и неполного представления о свойствах новых научно-технических объектов. В связи с этим представляется целесообразным привлекать человека-оператора для оценки состояния объекта управления еще на подходах к возможным нарушениям в его работе с целью заблаговременной перестройки управляющего комплекса для лучшего выхода из создающейся нештатной ситуации.

#### СИТУАЦИОННО-КОНТЕКСТНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

На основе обширной библиографии (проблемно-ориентированные пользовательские интерфейсы [7] и т.п.) и собственного многолетнего опыта предлагается концепция и механизмы такого представления данных, которое достаточно полно, но без излишнего нагромождения, отображает конкретную возникшую ситуацию и помогает человеку-оператору оперативно осуществлять обоснованные и эффективные решения в контексте возникшей ситуации.

Назовем интерфейс, реализующий такого рода представление, ситуационно-ориентированным интерфейсом. Конечно, все серьезные разработки подразумевают использование качественной и разумной визуализации.

Однако в нашем случае делается особый упор на представление, дающее возможность самого оперативного решения локализованной задачи выработки управляющих действий по пресечению усиливающихся негативных тенденций, поскольку на практике малейшее

промедление может привести к необратимому неуправляемому состоянию. И, что весьма существенно, представление должно соответствовать ситуации, создавшейся на текущий момент времени. Здесь, среди использования прочих концептуальных решений, целесообразно придерживаться технологии, которую можно назвать ситуационно-контекстной визуализацией (СКВ), или ситуационно-контекстным представлением контролируемых параметров.

Основной смысл такой визуализации в том, что наблюдаемые параметры разворачиваются во времени (динамический анализ) или по значениям некоторого управляющего параметра (параметрический анализ) в обрамлении определяющего показателя, который является базовым для определения скатывания к нештатной ситуации, в том числе главным ориентиром для системы аварийной защиты.

Такой показатель назовем потенциальным уровнем нештатной опасности  $L^*$ . При этом для каждой конкретной ситуации в «базовой» зоне визуализации (т.е. в достаточно компактной области экрана, наиболее комфортной для визуального восприятия) формируется свой конгломерат параметров, включающий в себя актуальный на данный момент времени набор контекстных параметров (т.е. параметров, напрямую связанных с обнаруженным явлением существенного или просто заметного отклонения от штатного функционирования системы) и параллельно фиксированный набор постоянно предьявляемых параметров.

Возможен выбор типа или способа представления параметров, наиболее отвечающего текущей задаче описания создавшейся ситуации. Возможные решения по оптимальной с эргономической точки зрения визуализации параметров изложены в [8] – выбор аналогового или цифрового представления, использование цветовой кодировки или иного типа кодировки значений параметров, использование различного вида диаграмм и составных изображений и т.д.

В существующих системах человек-оператор также имеет возможность визуально оценивать общую ситуацию и оценивать значения различных параметров. Речь идет лишь о более интегрированном, взаимосвязанном представлении и о четком следовании высказанной идее ситуационно-контекстного представления.

Визуальное наблюдение за отдельными параметрами происходит на фоне содержательного представления ситуации в целом.

Рис. 2 иллюстрирует один из вариантов такой визуализации, в которой основной первичный визуальный анализ заключается в оценке *отклонения от нормативного значения* (ООНЗ) определенных параметров.

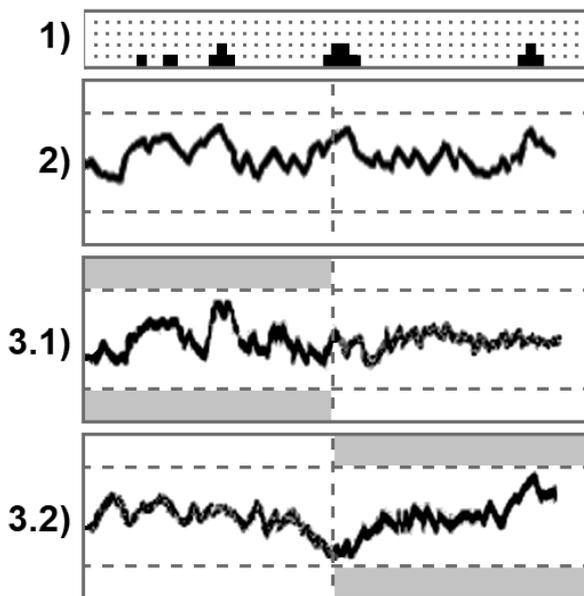


Рис. 2. Пример ситуационно-контекстной визуализации

На рисунке: штриховые горизонталы – границы предусмотренных вариаций параметра; сплошные – границы предельно допустимых вариаций; штриховая вертикаль соответствует моменту смены контекста; 1) потенциальный уровень нештатной опасности  $L^*$ ; 2) развертка во времени постоянно наблюдаемых параметров (на рис. 2 показан один параметр); 3.1 и 3.2 – развертки во времени ситуационно-контекстных наблюдаемых параметров (показано по одному параметру), набор которых конкретен для каждой конкретной

ситуации (до смены контекста человеку-оператору предъявляется набор ситуационно-контекстных параметров 3.1, а после смены – 3.2).

Опыт эксплуатации сложных интерактивных систем с опасными и вредными условиями функционирования показывает, что человек-оператор инстинктивно при любых, даже незначительных, отклонениях в работе системы, первым делом оценивает состояние жизненно важных параметров, возможно напрямую и не связанных с обнаруженными ООНЗ, но сигнализирующих о наличии или отсутствии угрозы для жизни, в том числе для самого оператора.

Такие параметры конечно коррелируют с потенциальным уровнем нештатной опасности, но в определенных случаях целесообразно непосредственно представлять и их в базовой зоне. Потенциальный уровень нештатной опасности запишем в виде  $L^* = \max_i(K_i L_i)$ , где  $L_i$  – локальный уровень нештатной опасности (например, нормированная величина отклонения от стандартного значения) в узле, подсистеме или фрагменте системы, а  $K_i$  – вес (вклад локального уровня нештатной опасности в общее состояние системы).

Более эргономичным представляется использование нескольких дискретных потенциальных уровней, 3-7 в зависимости от конкретной реализации.

Вообще, в представленной зависимости отображена гипотетическая структура формирования общей оценки. В частном случае нештатная ситуация может явиться порождением сочетания двух и более факторов. Такие случаи еще менее формализуемы.

Для сложной распределенной системы потенциальный уровень нештатной опасности вообще может быть трудно осязаемой и вычисляемой величиной. Самым разумным и действенным является конструирование показателя с использованием экспертных оценок [9]. Такие оценки, в частности, используются при разработке алгоритмов диагностики

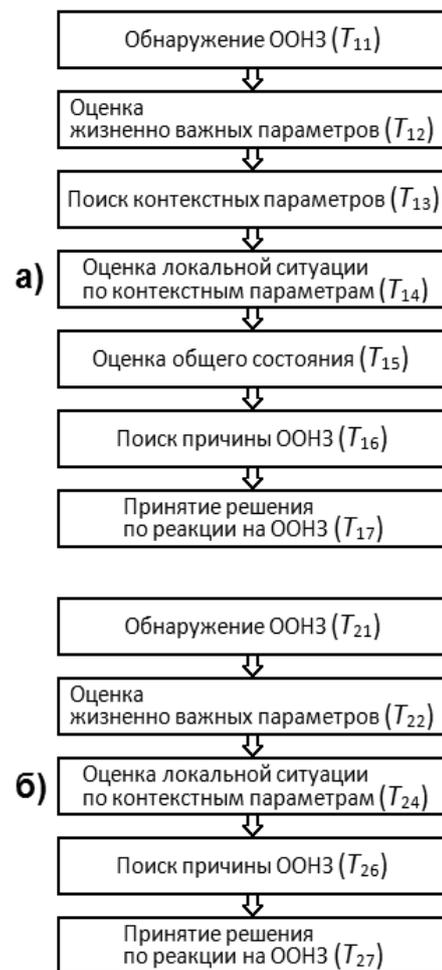
и прогнозирования в самых сложных и дорогостоящих системах.

Переход от одного к другому визуализационному набору осуществляется в соответствии с идеологией СКВ, и должен происходить с некоторым опережением по сравнению с моментом явного проявления конкретной нештатной опасности, для чего и следует использовать технологию упреждающей критериальной адаптации.

Исходя из опыта эксплуатации сложных интерактивных систем и анализа деятельности человека-оператора по мониторингу и управления в условиях жесткого лимита времени, в предлагаемой технологии следует учесть ряд существенных факторов. Необходимо экспериментальным путем находить разумный компромисс. Нельзя перегружать поле зрения несущественными деталями, но представляемая информация должна достаточно полно отражать текущую ситуацию (при этом не всегда заранее можно оценить «несущественность» информации). Необходимо обеспечить возможность быстрого доступа к любым параметрам системы, но не позволить человеку-оператору утонуть в их многообразии. Необходимо обеспечить возможность оперативного вмешательства человека в текущий процесс, но блокировать любые его действия, которые могут привести к необратимым негативным последствиям (еще один труднодостижимый компромисс, но просто решаемый на последних стадиях развития нештатной ситуации, когда автоматика должна полностью отключать ручное управление и запускать алгоритмы выхода из нештатного состояния). Конкретная реализация СКВ должна осуществляться с учетом специфики испытуемых изделий. В связи с недостаточной изученностью использования предлагаемой технологии, для успешного ее воплощения необходима экспериментальная отработка - моделирование деятельности оператора в различных ситуациях, поиск оптимальных наборов постоянных и ситуационно-контекстных параметров и т.д. На рис. 3 представлены этапы деятельности человека-оператора по локализации

обнаруженного негативного явления без использования СКВ и с использованием СКВ.

Представленные схемы являются достаточно упрощенными. В реалии последовательность действий может быть иной, могут отсутствовать определенные этапы, могут осуществляться и другие действия, однако рисунок позволяет оценить потенциал СКВ как бы в количественном разрезе.



**Рис. 3.** Этапы деятельности человека-оператора: а – без использования СКВ; б – с использованием СКВ. В скобках – время выполнения этапа

При использовании СКВ:

- взгляд оператора не покидает «базовую» зону визуализации для оценки жизненно важных параметров (они в этой же зоне), поэтому  $T_{22} < T_{12}$ . Выигрыш по времени невелик, но при работе в условиях жесткого лимита времени может оказаться полезным;

- отсутствует поиск контекстных параметров (они в «базовой» зоне) и поэтому экономится время  $T_{13}$ ;
- оценка локальной ситуации происходит быстрее ( $T_{24} < T_{14}$ ), т.к. контекстные параметры собраны вместе;
- от оператора не требуется оценка общего состояния – экономится время  $T_{15}$ ;
- принятие решения по реакции на ООЗ может быть более обоснованным.

Что касается времени на поиск причины возникновения ООЗ  $T_{26}$ , то для его сокращения предлагается использовать технологию, описываемую далее.

### КАУЗАЛЬНЫЕ МНЕМОСХЕМЫ

Как уже было сказано, при создании высоконадежных интерактивных систем мониторинга и управления сложными динамическими объектами особое место занимает организация полноценной и эффективной работы человека-оператора по интеллектуальному прогнозированию вариантов неблагоприятного развития управленческой ситуации и предотвращения возникновения нештатных и аварийных ситуаций. Необходимо обеспечить эффективное участие человека-оператора в процессе мониторинга и управления за счет такой визуализации, которая дает достаточно полное (валидное, компетентное) представление о состоянии управляемого объекта, и в то же время позволяет человеку-оператору адекватно воспринимать представленную информацию и принимать осознанные и правильные действия.

Одним из инструментов визуальной поддержки, который может способствовать оперативному оцениванию текущей ситуации человеком-оператором, являются мнемосхемы [10]. В основу построения мнемосхем положены принципы, выработанные в процессе многолетней практики их применения. Мнемосхемы помогают человеку-оператору, который работает в условиях большого количества поступающей информации, облегчить процесс информационного поиска, подчинив

его определенной логике, порождаемой реальными связями процессов и параметров исследуемого объекта.

В работе [11] автором предложен новый класс представлений – каузальные мнемосхемы, которые могут существенно расширить возможности обычных мнемосхем.

Каузальные мнемосхемы являются именно тем инструментарием, который дает возможность человеку-оператору получить развернутое и детальное представление о состоянии управляемого объекта, выявить первопричину возникновения нештатной ситуации, оценить масштаб происходящего события и определить возможность его локализации, предпринять осознанные действия по предотвращению развития нештатной или аварийной ситуации.

Каузальные мнемосхемы предназначены для отображения не столько элементов системы, сколько взаимосвязи процессов, протекающих в ней, а также причинно-следственной картины наблюдаемых событий, взаимоувязанных реакций подсистем на управляющие воздействия, отображения динамики распределения напряженности узлов и агрегатов и т.п. Каузальные мнемосхемы могут быть использованы как инструмент для организации встречного логико-иерархического анализа ситуации [12], в котором параллельно осуществляются два иерархических процесса.

На верхнем уровне (гипотетическом, огрубленном) анализируется связь макроявления (например, значение базового, определяющего показателя) с наиболее вероятными порождающими причинами. Далее – подтверждение на более низком уровне каждого из выбранных вариантов потенциально возможными причинами, например, происходящими процессами в подсистемах, описанных измеряемыми параметрами. На нижнем уровне – выделение по измеряемым параметрам не совсем нормативно протекающих процессов в подсистемах, а на более высоком уровне – проверка влияния этих процессов на смежные (непосредственно связанные) подсистемы и далее определение

возможного участия всего предыдущего в наблюдаемом макроявлении. Рис. 4 иллюстрирует такого типа представление.

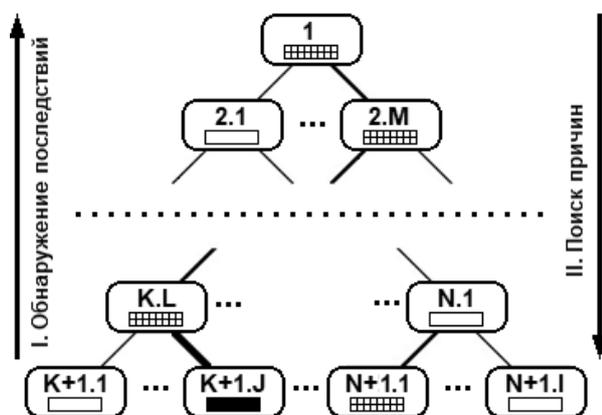


Рис. 4. Обобщенная каузальная мнемосхема для визуальной поддержки встречного логико-иерархического анализа

На рисунке степень затемнения прямоугольника в каждом элементе схемы (который будем именовать пиктограммой) соответствует степени «неблагополучия» или отступления от нормы соответствующего элемента. Толщина связующих линий – степень актуальности этой связи. Номер перед точкой – номер уровня в иерархии, а после точки – порядковый номер на данном уровне (для человека-оператора вместо номеров отображаются наименования пиктограмм – процессов, узлов, явлений и т.д.). В реальности используется более широкий ассортимент средств, включая числовые данные, цветовые метки и т.п. При нисходящем анализе (II), т.е. при переходе от вышележащего уровня вниз, осуществляется «поиск причин». В противном случае (I) производится «обнаружение последствий».

Анализируемая иерархия может быть функциональной (например, по выполняемым функциям с подчиненными связями) или построенной на основе причинно-следственных связей разной степени интегрированности, или композиционно-декомпозиционной, в которой упорядочивается иерархия «система–подсистема – блок – субблок...». При анализе «сверху» осуществляется поиск

причины произошедшего системного события, а при анализе «снизу» производится попытка обнаружения последствий локальных нарушений.

В этих условиях использование одновременного двунаправленного иерархического построения анализа производится с целью обеспечить более успешную диагностику системы.

Конкретная реализация может быть совершенно иной, причем может быть и несколько визуализированных структур для разных типов описания системы. Необходимо подчеркнуть важность именно идеи такого представления, которое направлено на создание условий для возможности оперативного оценивания ситуации человеком-оператором без необходимости рассматривать целое семейство визуализаций параметров, порознь представленных на экране АРМа оператора.

В определенном смысле элементы такого анализа реализуются при работе человека-оператора в уже существующих системах. Основное отличие в том, что для большей эффективности с помощью каузальных мнемосхем осуществляется визуальная поддержка такого анализа, что предположительно позволит проводить его более содержательно и оперативно.

При построении каузальных мнемосхем следует использовать экспертные технологии, поскольку пока не существует достаточно отработанных рекомендаций. Целесообразно также учитывать те принципы, которые положены в основу построения обычных мнемосхем, поскольку на каузальные мнемосхемы возлагаются весьма сходные задачи

Один из основных – принцип лаконичности, согласно которому мнемосхема должна быть простой, не должна содержать лишних, затемняющих элементов, а отображаемая информация должна быть четкой, конкретной и краткой, удобной для восприятия и дальнейшей переработки.

Принцип обобщения и унификации предусматривает требование, согласно которому надо выделять и использовать

наиболее существенные особенности управляемых объектов, т.е. на мнемосхеме не следует отображать элементы, относящиеся к весьма несущественным конструктивным особенностям системы.

Согласно **принципу акцента** к элементам контроля и управления на мнемосхемах в первую очередь необходимо выделять размерами, формой или цветом элементы, наиболее существенные для оценки состояния, принятия решения и воздействия на управляемый объект.

**Принцип автономности** требует необходимости обособления друг от друга участков мнемосхемы, соответствующих автономно контролируемым и управляемым объектам и агрегатам. Эти обособленные участки должны быть четко отграничены от других и согласно **принципу структурности** должны иметь завершенную, легко запоминающуюся и отличающуюся от других структуру.

**Принцип использования привычных ассоциаций и стереотипов** предполагает применение на мнемосхемах таких условных обозначений параметров, которые ассоциируют с общепринятыми буквенными обозначениями этих параметров.

#### МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДЛЯ КАУЗАЛЬНЫХ МНЕМОСХЕМ

Предложенные в работе решения коррелируют с известными технологиями, такими как FAST (Functional Analysis System Technique), диаграмма Fishbone (Kaoru Ishikawa) и т.д. [13]. Вообще, тематика, в контексте которой предложен новый класс представлений – каузальные мнемосхемы, имеет давнюю и разностороннюю историю [2, 14, 15]. При разработке каузальных мнемосхем для решения конкретных задач целесообразно использовать накопленный опыт решения схожих задач.

Приведем краткий перечень основных принципов диагностических исследований. Основой организации диагностических исследований должны служить принципы, реализация которых позволит обеспечить повышение эффективности проводимых работ. К их числу относятся принцип

ключевого звена, системности, причинно-следственного соответствия.

**Принцип ключевого звена.** Система управления потоками относится к числу сложных систем. Процессы, протекающие в ней, формируются под влиянием множества факторов. Учесть и исследовать их все практически невозможно, необходимо выбрать из них решающие, наиболее существенные.

Выделение ключевых проблем и основных причин, порождающих проблемную ситуацию, составляет один из принципов диагностического исследования. Данный принцип достигается путем декомпозиции функций и целей логистической системы, классификации проблем, определения приоритетности отдельных факторов при оценке проблем.

**Принцип системности.** Системность в диагностическом исследовании означает всестороннее и взаимосвязанное изучение проблем управляющей системы и выявление всех последствий и взаимосвязи каждого частного решения проблемы. В соответствии с данным принципом программа совершенствования системы управления материальными потоками и включение в нее мероприятий по устранению отдельных частных проблем должна оцениваться с точки зрения эффективности функционирования всей системы управления материальными потоками как единого целого с тем, чтобы исключить возможность неожиданных и непредвиденных последствий.

**Принцип причинно-следственного соответствия.** Одним из требований к диагностике является познание причин возникновения нарушений в системе и отклонений от нормы ее параметров.

Одной из основ построения каузальных мнемосхем является причинно-следственный анализ. Как известно, причинная зависимость – это связь явлений, одно из которых порождает другое. Приведем основные логические методы причинно-следственного анализа, которые тесно взаимосвязаны.

**Метод исключения.** Суть этого метода в том, что, анализируя сложный комплекс

причинно-следственных отношений, можно обнаружить непосредственную причину путем исключения всех предполагаемых обстоятельств (реально не влияющих, хотя и присутствующих), способных вызвать сходные события, кроме одного фактора, который после тщательной проверки и принимается за причину изучаемого явления.

**Метод сходства.** Использование метода сходства обусловлено тем, что интересующие события, причину которых аналитик хочет установить, возникают в самых разных обстоятельствах, но при этом всегда при наличии одного и того же фактора.

Сущность этого метода сводится к следующему: если наблюдаемое событие возникает в различных обстоятельствах, но при наличии одного общего фактора, то этот фактор и есть причина происходящего. Используя данный метод, можно изучить разные условия возникновения одного и того же события и вычислить из них один и тот же общий фактор, вызывающий это явление. С определенной долей вероятности можно утверждать, что этот фактор и есть причина, интересующая аналитика.

**Метод одного различия.** Метод сводится к сопоставлению случая, когда интересующее событие наступает, со случаем, когда оно не наступает. В обоих случаях должны быть одни и те же условия, за исключением одного, которое в одном из случаев отсутствует. Иначе говоря – если в одних и тех же обстоятельствах при наличии какого-то фактора событие наступает, а при его отсутствии исследуемое явление не происходит, то этот фактор и есть причина изучаемого явления.

Принципы и методы в основном были сформулированы еще в таких работах, как [15]. Затем они уточнялись и совершенствовались (см. [2, 4]). Существует множество подходов к решению выше сформулированных задач. Например, в [10] предложен метод построения моделей для представления, анализа и синтеза взаимосвязей и взаимодействий разнородных процессов в сложных системах. В основу положена формализация

причинно-следственных связей в структуре системы с использованием теории синтеза дискретных детерминированных систем. Для описания структуры системы используются звенья причинно-следственных связей, структура которых включает в себя блок причины, состоящий из причины и условия реализации причинно-следственной связи, и блок следствия, образованный следствием и условием, возникающим после реализации связи. Учитываются имеющиеся в системе информационные и материальные ресурсы (инструкции, запасы материалов и энергии), а также конгломерат внешних воздействий.

Приведенные принципы и методы имеют общий характер. Тем не менее, каждая новая практическая задача (см., например [13]) требует переосмысления имеющегося опыта и конкретной разработки достаточно специализированного инструментария, в арсенале которого каузальные мнемосхемы могут занимать вполне достойное место.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе затронуто несколько определяющих аспектов разработки механизмов предотвращения возникновения нештатных и аварийных ситуаций, а также наиболее важные вопросы интерфейсного обустройства взаимодействия человека-оператора и программно-аппаратных средств для систем мониторинга и управления сложными динамическими объектами. Описана организация визуальной поддержки логического анализа ситуации человеком-оператором на основе каузальных мнемосхем. Приведены основные принципы, которыми следует руководствоваться для создания такой поддержки.

Предлагаемые в работе технологии разрабатывались с использованием опыта проектирования системы программного контроля и интерактивного управления стенда для испытания ЖРД МТ [16].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гучук В. В.** Методологические аспекты повышения безопасности функционирования интерактивных систем мониторинга и управления // Труды VI Всерос. научной конф. "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 2018, Т.1, с. 154–161.
2. **Бигус Г. Ф., Даниев Ю. Ф., Быстрова Н. А., Галкин Д. И.** Основы диагностики технических устройств и сооружений. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 448 с.
3. **Guchuk V. V.** Development of Ergonomic Methods and Means of Ensuring the Safety of the Functioning of Large-Scale Interactive Monitoring and Control Systems [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8551844> (дата обращения 03.10.2018). [IEEE Explore Digital Library. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8551844>]
4. **Меньшиков В. А., Рудаков В. Б., Сычев В. Н.** Контроль качества космических аппаратов при отработке и производстве. М.: Машиностроение, 2009. 400 с.
5. **Гребенюк Е. А.** Методы анализа нестационарных временных рядов с неявными изменениями свойств // Автоматика и телемеханика. 2005. № 12. С. 3–30.
6. **Нестеров В. С., Гучук В. В., Рябых В. Ю.** Технологические аспекты организации процесса многоканальной регистрации разночастотного потока данных // Труды международной научно-практической конференции "Передовые информационные технологии, средства и системы автоматизации и их внедрение на российских предприятиях". Россия, Москва, 2011, С. 629–637.
7. **Мандел Тео.** Разработка пользовательского интерфейса. М.: ДМК Пресс, 2019. 420 с.
8. **Гучук В. В.** Эргономические аспекты визуализации информационных параметров в системах контроля и управления // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 2. С. 81–84.
9. **Гусев В. Б., Павельев В. В.** Использование непрерывных шкал при оценивании и принятии решений в сложных проблемных ситуациях. М.: ИПУ РАН, 2013. 118 с.
10. ГОСТ Р 7.0.5 2008 «Система Человек-машина. Мнемосхемы. Общие эргономические требования». М.: ГУП "СТАНДАРТИНФОРМ", 1986. 5 с.
11. **Гучук В. В.** Методология разработки каузальных мнемосхем для интерактивных систем контроля и управления // European science. 2016. №12. С. 9–11.
12. **Гучук В. В.** Интерфейсное обустройство принятия управленческих решений при испытании сложных научно-технических объектов // Proceeding of the 2nd International Conference "Information Technologies for Intelligent Decision Making Support". Russia, Ufa, 2014. Vol. 1. P. 118–124.
13. **Илларионов А. В., Клименко Э. Ю., Неизвестный С. И.** Самоучитель топ-менеджера. М.: Альпина Паблишер, 2013. 648 с.
14. **Резчиков А. Ф., Твердохлебов В. А.** Причинно-следственные комплексы как модели процессов в сложных системах // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 7. С. 2–8.
15. **Карибский В. В., Пархоменко П. П., Согомонян Е. С., Халчев В. Ф.** Основы технической диагностики. М.: Энергия, 1976. 464 с.
16. **Гучук В. В., Нестеров В. С., Рябых В. Ю.** Организация управления разночастотными потоками регистрируемой информации стенда для испытания ЖРД

МТ // Труды конференции MLSD-2010. Россия, Москва, 2010. С. 333–335.

## ОБ АВТОРЕ

**ГУЧУК Владимир Всеволодович**, ст. научный сотрудник лаб динамических информационно-управляющих систем ИПУ РАН. Диплом инж.-электрика (Львовский политехнич. ин-т, 1969), канд. техн. наук (ИПУ РАН, 1980). Исследования в области организации интерфейса в человеко-машинных системах, разработки методов и средств обеспечения безопасности функционирования крупномасштабных интерактивных систем контроля и управления.

## METADATA

**Title:** Organization of methods and means of improving the safety of the functioning of interactive monitoring systems and management

**Author:** V. V. Guchuk

**Affiliation:** Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Russia

**Email:** polma@bk.ru

**Language:** Russian

**Source:** SIIT (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 2, no. 1 (3), pp. 48-59, 2020. ISSN 2686-7044 (Online), ISSN 2658-5014 (Print).

**Abstract:** When creating highly reliable interactive systems for monitoring and managing complex scientific and technical products, a special place is played by the organization of the full participation of the human operator in the process of intellectual forecasting of the unfavorable development of the managerial situation. It is necessary to ensure the effective participation of the human operator in the monitoring and control process through such visualization that gives a complete picture of the state of the managed object, and at the same time allows the human operator to adequately perceive the information presented and take conscious and correct actions. The paper considers several defining aspects of developing mechanisms to prevent the occurrence of emergency and emergency situations for monitoring and control systems of complex dynamic objects, including issues of interface arrangement of human-operator interaction and software and hardware. The organization of visual support for a logical analysis of the situation by a human operator based on the proposed causal mnemonic schemes is described. The basic principles that should be followed when creating such support are given. Based on our own experience and extensive bibliographic material, a software environment for the formation of an interface image of mnemonic schemes is developed. The technologies proposed in the work were used in the design of a program control system and interactive control of the stand for testing complex scientific and technical objects.

**Keywords:** criterion; adaptation; emergency situation; interactive system; monitoring control; human operator; visualization; software and hardware; causal mnemonic schemes.

**About author:**

**GUCHUK, Vladimir Vsevolodovich**, Senior Researcher, Laboratory of Dynamic Information Management Systems of Institute of Control Sciences. Diploma of an electrical engineer (Lviv Polytechnic Institute, 1969), Candidate of Technical Sciences (Institute of Control Sciences, 1980). Research in the region organization of the interface in human-machine systems, development of methods and means of ensuring the safety of large-scale interactive control and management systems.