



ИНФОРМАТИКА

УДК 510.67; 656.081

КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ РЕСУРСОВ СЛОЖНЫХ ЧЕЛОВЕКОМАШИННЫХ СИСТЕМ

А. С. Богомолов

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математической кибернетики и компьютерных наук, Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, Alexbogomolov@ya.ru

Исследуется природа возникновения аварийных ситуаций и катастроф в сложных человекомашинных системах. В целях комплексной оценки и прогнозирования аварийных ситуаций предлагается рассматривать ресурс системы в виде набора показателей, включающего человеческие ресурсы и ресурсы машин. Прогнозирование аварий предлагается осуществлять с проверкой логических условий безопасности, которые объединяют разнородные ресурсы системы.

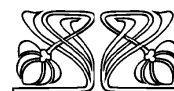
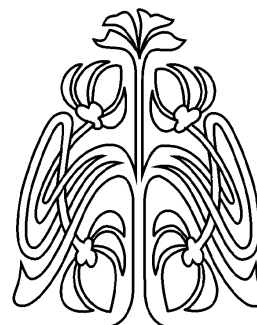
Ключевые слова: авария, безопасность, катастрофа, остаточный ресурс, причинно-следственная модель, сложные человекомашинные системы, СЧМС, человеческий фактор.

ВВЕДЕНИЕ

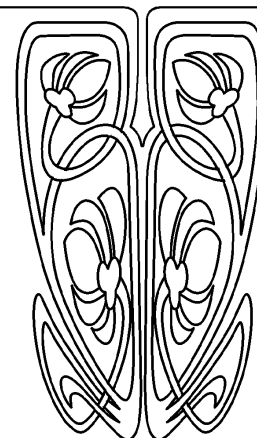
Функционирование современных производственных и транспортных комплексов, сложных человекомашинных систем (СЧМС) зависит от большого количества разнородных факторов, полный учет которых на больших участках и длительных промежутках времени практически невозможен. Это обуславливается высокой размерностью пространства состояния системы и большим количеством параметров, которые её характеризуют.

Вместе с тем, задача обеспечения безаварийного и безопасного функционирования СЧМС становится все более актуальной. Как свидетельствуют данные о многочисленных техногенных авариях и катастрофах современности, многие из них могли бы быть предотвращены путем своевременной комплексной оценки ресурсов и возможностей объекта в совокупности с ресурсами персонала. Традиционно используемое понятие остаточного ресурса [1] не дает достаточной точности в оценке безопасности. При расчете остаточного ресурса как предполагаемой суммарной наработки системы от момента контроля до перехода в предельное состояние не учитывается, как правило, ряд сложных взаимодействий процессов в системе, в особенности человекомашинное взаимодействие. В то же время большая часть техногенных аварий и катастроф происходит по причине бесконтрольных действий персонала управления, и в последние десятилетия эта доля растет. Например, в авиационной отрасли по вине экипажа происходят до 90 процентов аварий [2]. С другой стороны, во многих отраслях наблюдается значительный износ парка техники и оцениваемый остаточный ресурс машин приближается к тем граничным значениям, при которых использование его величины при расчетах безопасного функционирования на достаточно длительных промежутках времени связано со значительным риском аварии.

В связи со сказанным предлагается использовать для оценки безопасности СЧМС понятие комплексного ресурса — набора значений ресурсов отдельных подсистем и элементов. Выбор множества этих



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





подсистем зависит от конкретной СЧМС, истории эксплуатации и других соображений. Оценку возможности возникновения аварийных ситуаций и путей их предотвращения предлагается осуществлять в виде своевременной проверки комплекса логических условий, накладываемых на значения частей комплексного ресурса.

Целью исследования является разработка подхода к комплексному контролю ресурсов СЧМС, выявлению возможных аварийных ситуаций, а также путей оперативного возобновления критических ресурсов системы.

1. КОМПЛЕКСНЫЙ РЕСУРС СЧМС

Определение. Под *ресурсом* подсистемы или элемента СЧМС будем понимать показатель практически гарантированной работоспособности в течение некоторого времени работы в заданных режимах или в процессе решения некоторой задачи. *Комплексный ресурс (КР) СЧМС* — это определённый набор ресурсов её ключевых подсистем и элементов.

Значения ресурсов могут быть как числовыми, так и нечисловыми. Например, множество, список инструкций — как значение информационного ресурса. Сравнение двух значений комплексного ресурса осуществляется по компонентно в числовом или теоретико-множественном смысле.

Комплексный ресурс должен состоять как минимум из двух частей, одна из которых выражает ресурс машины (например, остаточный ресурс, если таковой может быть использован для данной задачи), другая — ресурс персонала (экипажа, операторов). Последнее значение при детальном учете не будет выражаться одним числом, так как зависит от состояния персонала, выработки часов, взаимодействия внутри коллектива, а также от режима взаимодействия с машиной и условий работы с ней.

Введение понятия КР связано с необходимостью более точной оценки условий безопасности функционирования СЧМС. В отличие от традиционного понятия остаточного ресурса понятие КР может применяться к системе, в которой взаимодействуют машина и экипаж, учитывая ресурсы экипажа. КР имеет смысл анализировать на небольших промежутках времени или в отношении отдельной поставленной задачи, что дает более тонкую оценку безопасности, так как значение КР предлагается пересчитывать с необходимой частотой с учетом восполнения ресурсов различных подсистем, изменений в их составе и других условий. Такой подход является актуальным, поскольку в настоящее время парк отечественной техники, находящейся в активной эксплуатации, в целом значительно изношен. Это во многом касается, например, производственных и авиационно-транспортных систем.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЧМС

Для моделирования работы СЧМС эффективно используется причинно-следственная модель [3]. Её необходимость обуславливается сложным характером связей разнородных факторов системы и невозможностью во многих случаях описать зависимости аналитическими формулами. Исследуемая система представляется причинно-следственным комплексом (ПСК) — композицией причинно-следственных звеньев. Каждое звено содержит группу причины, состоящую из причины и условия реализации связи, и группу следствия, состоящую из следствия и условий, возникающих после реализации связи. В ядре звена заложены процедуры и функции, преобразующие причины в следствие.

Степень детализации и количество звеньев ПСК зависят от конкретных характеристик СЧМС и подбираются так, чтобы существовала возможность рассчитать расход ресурса при прохождении каждого звена.

В рамках причинно-следственного подхода выделяются следующие основные группы базовых составляющих СЧМС: командно-информационная составляющая, персонал, оборудование, сырьё и комплектующие, энергетическая составляющая и окружающая среда. Функционирование СЧМС представляет собой сложное взаимодействие процессов потребления ресурсов, соответствующих этим группам. Данные базовые процессы взаимодействуют между собой и могут использовать ресурсы друг друга. Поэтому рассматриваются частные процессы, составляющие взаимодействие базовых в группах 2, ..., 6. Потребление ресурсов происходит во взаимодействии процессов, и поэтому существует возможность компенсировать недостаток одних ресурсов за счет других, что и происходит в ситуациях, когда функционирование системы нарушено, но при этом свою задачу она выполняет, аварии не случаются.

Выделим конечный список ресурсов системы, которые будут рассматриваться как ключевые и изучаться в вопросах безопасности. На различных этапах работы каждой СЧМС эти наборы, вообще говоря, также различны, поэтому мы не используем здесь их конкретных названий. Ключевые



ресурсы — это, как правило, ресурсы персонала (управляющего и участвующего в подготовке работы СЧМС), ресурсы подсистем, часто имеющих скрытые дефекты, ресурсы систем наблюдения за проявлениями окружающей среды.

Упорядоченный набор выбранных ресурсов r — назовем комплексным ресурсом системы в данный момент времени. Компоненты данного набора могут иметь различную размерность: числовые значения количества ресурсов (например, горючего), планируемое время безотказной работы подсистемы, агрегата или детали в заданном режиме, а также компоненты в виде множеств и мультимножеств (например, списки деталей).

Над значениями комплексного ресурса введем операцию сложения по компонентам, где числа складываются, а компоненты в виде списков объединяются. Операция умножения на натуральное число увеличивает соответствующим образом числовые компоненты КР и количество элементов мультимножественных компонент. Также введем частичную операцию сравнения, смысл которой состоит в определении, покрывает ли имеющееся значение КР то значение, которое требуется для выполнения дальнейшей задачи, этапа работы. Если все составляющие текущего КР r больше или равны как числа или включают как списки или мультимножества все элементы требуемого КР r^- , то r теоретически считается достаточным для проведения этапа. В этом случае возможно определить дополнение одного значения КР до другого. Пусть возобновление ресурсов перед началом участка обозначено через r^+ . Значение r^+ включает увеличение ресурса за счет планово-предупредительного ремонта, смены сотрудников, дозаправки и т. д. Если возобновления не производится, например, из-за непрерывности работ, то ситуацию можно обозначить как $r^+ = 0$ (имеется в виду, что числовые элементы равны 0, а компоненты-множества пусты). В наиболее простом случае условие нормального прохождения участка можно представить как

$$r + r^+ \geq r^-, \quad (1)$$

в момент начала работы на данном участке. Это означает, что каждая компонента из левой части неравенства не меньше (если это числа) или включает в себя (если это мультимножества) значения соответствующей компоненты правой части. В этом случае значение $r' = r + r^+ - r^-$ составят часть ресурса системы для следующих по времени этапов работы (безопасность которых не гарантируется условием (1)).

В более сложных случаях условие (1) выполняется не всегда и когда процессы расхода разнородных ресурсов взаимодействуют между собой, часть ресурсов одной подсистемы может быть перемещена на компенсацию отказа в другой, если ресурса первой подсистемы для этого достаточно. В этом случае даже при невыполнении (1) аварийной ситуации можно избежать, что будет более подробно рассмотрено ниже.

3. УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ

Аварийное состояние объекта рассматривается как следствие частичного исчерпания КР системы, что означает исчерпание ресурса одной или нескольких подсистем в условиях, когда необходимо их дальнейшее функционирование [4, 5]. Исчерпание ресурса подсистемы a означает достижение его показателем $r_a(t)$ критического минимума:

$$r_a(t) < \underline{r}_a, \quad (2)$$

где \underline{r}_a — некоторое пороговое значение. Если ресурс a характеризуется некоторым множеством, например, инструкций или деталей, то (2) следует понимать как $\underline{r}_a \notin r_a(t)$.

Последовательность отказов, приводящая к аварии, в этом случае характеризуется совокупностью условий исчерпания ресурсов подсистем, которая может быть записана как:

$$(r_a(t) < \underline{r}_a) \wedge (r_{a_1}(t_1) < \underline{r}_{a_1}) \wedge \dots \wedge (r_{a_n}(t_n) < \underline{r}_{a_n}), \quad (3)$$

где в каждой скобке справа — также критические значения ресурсов подсистем a_i . Ресурсы этих подсистем, если они в нужное время были в достаточном количестве, могли бы быть использованы для предотвращения аварии или парирования отказа подсистемы a .

То есть аварии и катастрофы часто случаются вследствие так называемого «неблагоприятного стечения обстоятельств», которое формально описывается (3) и представляет собой сочетание ряда отказов и действий внешних факторов, которые не позволяют системе парировать другие отказы. Цепь этих событий в течение достаточно быстрого промежутка времени приводит к аварии. Время в этом случае также можно рассматривать как ресурс, поскольку по истечении достаточного времени



подготовленный персонал может успеть возобновить ресурс какой-либо из подсистем a_i и парировать отказ a .

В предлагаемом подходе рассматривается возможность компенсации отказов одних подсистем за счет ресурсов других. Такая ситуация описывается принципом парирования единичного отказа, изложенном в [2, с. 37]: «Ни один единичный отказ агрегата (системы), ни одна единичная ошибка экипажа или служб обеспечения полетов не должны приводить к аварийной или катастрофической ситуации». Принцип парирования единичного отказа можно трактовать как возможность парировать отказ любой подсистемы за счет ресурсов других подсистем. Например, пусть отказ подсистемы a в момент t может компенсироваться ресурсами какой-либо из подсистем a_1, \dots, a_n . В этом случае для успешного парирования отказа должно выполняться условие

$$(r_a(t) < \underline{r_a}) \rightarrow (r_{a_1}(t_1) > \underline{r_{a_1}}) \vee \dots \vee (r_{a_n}(t_n) > \underline{r_{a_n}}), \quad (4)$$

где t_2, \dots, t_n — некоторые следующие моменты. Условие (4) предлагается в данном случае рассматривать как условие безопасности, своевременная проверка которого позволяет предотвратить возникновение цепи отказов, приводящей к аварийной ситуации, связанной с подсистемой a .

Заметим, что условия (3) и (4) записаны в укрупнённой форме, т.е. для выяснения деталей возникновения аварии может понадобиться сформулировать аналогичные условия для подсистем a_i .

Предлагаемый подход состоит в использовании баз знаний, наполняемых условиями безопасности. Эти условия формируются по результатам расследований произошедших аварий, статистики, процедур экспертных оценок, аналитических расчетов.

Функционирование СЧМС разбивается на несколько этапов, для каждого из которых формируется база условий безопасности. Разбиение на этапы соответствует возможностям оценки необходимого для данного этапа ресурса, для выбора степени детализации могут быть использованы принципы причинно-следственного подхода.

Перед началом каждого этапа проверяется возможность нарушения условия безопасности с учетом текущего значения комплексного ресурса и прогнозируемого расхода его компонент на предстоящем этапе. Возможность расчета расхода ресурсов позволяет предусмотреть возможные нарушения условия (4) в прогнозируемый отрезок времени выполнения этапа. В более простом случае моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n можно считать совпадающими и требовать выполнения условия (4) в виде $(r_a(t) < \underline{r_a}) \rightarrow (r_{a_1}(t) > \underline{r_{a_2}}) \vee \dots \vee (r_{a_n}(t) > \underline{r_{a_n}})$, где t — момент проверки.

Если условия выполняются, СЧМС осуществляет переход к исследуемому этапу. Если часть условий не выполняется, то соответствующая группа ресурсов объявляется критической, и возникает задача возобновления некоторых из них так, чтобы условие безопасности выполнялось. Препятствием к возобновлению ресурсов являются затраты, связанные с ними, и ограниченное их количество. В связи с этим возникает необходимость введения критерия качества возобновления, что позволяет рассматривать задачу дискретной оптимизации.

При нормальном функционировании объекта условия в начале каждого этапа достаточно ресурсов для его выполнения. При нарушенном функционировании некоторые процессы могут, взаимодействуя между собой, компенсировать недостаток ресурса, возникший в других процессах. Возможность этого выражается условиями безопасности.

В зависимости от масштаба и размерности перечисленные задачи могут рассматриваться на различных отрезках функционирования СЧМС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагается подход к прогнозированию аварийных ситуаций в сложных человекомашинных системах. Вводится понятие комплексного ресурса системы, который рассматривается в виде набора компонент, включающего, в частности, человеческий ресурс. Прогнозирование аварийных ситуаций и катастроф предлагается осуществлять с проверкой логических условий безопасности, которые объединяют значения разнородных ресурсов СЧМС.

Предлагаемый подход может быть использован при обучении персонала СЧМС, создании тренажеров, а также как аппарат систематизации и формализации при расследовании аварий, предсказания аварийных ситуаций и оперативного обеспечения безопасности функционирования транспортных и производственных объектов. Эффективная реализация комплексного подхода к контролю разнородных ресурсов сложных человекомашинных систем поможет предотвратить значительное число аварий и катастроф, возникающих в следствие критического взаимодействия внутренних процессов СЧМС.



Библиографический список

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М., 1990.
2. Новожилов Г. В., Неймарк М. С., Цесарский Л. Г. Безопасность полета самолета : концепция и технология. М. : Изд-во МАИ, 2007. 196 с.
3. Резчиков А. Ф., Твердохлебов В. А. Причинно-следственные модели производственных систем. Саратов : Научная книга, 2008.
4. Клюев В. В., Резчиков А. Ф., Богомолов А. С., Уков Д. А., Филимонюк Л. Ю. Системный подход к задаче оценки остаточного ресурса человеко-машинных систем // Контроль. Диагностика. 2011. № 8. С. 9–13.
5. Клюев В. В., Резчиков А. Ф., Богомолов А. С., Кошевая Е. М., Уков Д. А. Причинно-следственный подход к управлению ресурсом печи обжига при производстве цемента // Контроль. Диагностика. 2012. № 7. С. 30–36.

Integrated Resource Control of Complex Man-Machine Systems

A. S. Bogomolov

Saratov State University, Russia, 410012, Saratov, Astrakhanskaya st., 83, alexbogomolov@ya.ru

Investigate the nature of emergencies and disasters in complex human-machine systems. In order to assess and predict the complex emergency proposed to consider the resource system as a vector comprising human resources and computer resources. Prediction of accidents are encouraged to check with the logical security conditions applicable to heterogeneous system resources in the complex

Key words: accidents, security, disaster, remaining life, man-machine systems, the human factor.

References

1. State Standard 27.002-89. Industrial product dependability. General concepts. Terms and definitions. Moscow, Standartinform, 1990, 24 p. (in Russian).
2. Novojilov G. V., Neymark M. S., Tsesarskiy L. G. *Bezopasnost' poleta samoleta. Konceptija i tehnologija* [Providing of the flight safety of an airplane. The concept and technique]. Moscow, MAI, 2007, 196 p. (in Russian).
3. Rezchikov A. F., Tverdohlebov V. A. *Prichinno-sledstvennyye modeli proizvodstvennyh sistem* [Cause-effect models of production systems]. Saratov, Nauchnaja kniga, 2008 (in Russian).
4. Klyuev V. V., Rezchikov A. F., Bogomolov A. S., Ukov D. A., Filimonyuk L. Yu. System approach to a problem of appraisal of man-machine systems' remaining life. *Control. Diagnostika*, 2011, no. 8, pp. 9–13 (in Russian).
5. Kluev V. V., Rezchikov A. F., Bogomolov A. S., Koshevaya E. M., Ukov D. A. Cause-conditional approach to resource management of furnace in cement production. *Control. Diagnostika*, 2012, no. 7, pp. 30–36 (in Russian).

УДК 681.3.06, 681.322

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОИСКА ГЛОБАЛЬНОГО ЭКСТРЕМУМА МЕТОДОМ ИМИТАЦИИ ОТЖИГА, РАСПАРАЛЛЕЛЕННОГО РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

А. В. Высоцкий¹, А. С. Тараканов¹, К. И. Шоломов¹, Н. Е. Тимофеева², А. А. Ерофтиев³

¹Студент кафедры дискретной математики и информационных технологий, Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, alex_v2008@mail.ru, sholomov@mail.ru, tarakanov.alexey@gmail.com

²Ассистент кафедры дискретной математики и информационных технологий, Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, timofeevane@info.sgu.ru

³Аспирант кафедры математического обеспечения вычислительных комплексов и систем, Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, eroftiev.andrey@gmail.com

В данной статье представлены результаты создания параллельной вычислительной системы и проверки ее возможностей при решении учебных и научных задач. Рассмотрены и реализованы три варианта распараллеливания алгоритма оптимизации многоэкстремальной целевой функции двух переменных с явными ограничениями, основанного на стохастическом методе имитации отжига. Исследована зависимость надёжности и производительности параллельных версий алгоритма от их параметров и количества узлов параллельной вычислительной системы. Показано, что предложенные параллельные варианты алгоритма имитации отжига позволяют успешно находить глобальный минимум многоэкстремальной целевой функции.

Ключевые слова: глобальная оптимизация, алгоритм имитации отжига, многоэкстремальная целевая функция, явные ограничения, параллельные вычислительные системы.