

УДК 614.843.4

В.А. Карпенко, проф., канд. техн. наук;

И.В. Севриков, доцент, канд. техн. наук;

А.В. Цуканов, проф., д-р техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г.Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ПРЕДПОСЫЛКИ ПОСТРОЕНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

Обосновываются задачи исследования к решению проблемы оптимизации структур эргатических систем контроля и защиты объектов повышенной опасности. В общем виде формулируются особенности объектов, критерии и условия оптимизации.

Производственный и бытовой травматизм в Украине продолжает увеличиваться. Наиболее устойчивая тенденция роста травматизма с летальным исходом наблюдается на объектах повышенной опасности. К объектам повышенной опасности относятся: отдельное оборудование, участки, зоны, цехи и в целом предприятия, внешние объекты в виде станций, трубопроводов, линий электропередач и другие, условия эксплуатации которых сопровождаются проявлением повышенной опасности или вредности по отношению к работающему и обслуживающему персоналу, а также к окружающей природной среде. Повышенная опасность объектов определяется нормативными документами, как, например, "Перечень работ с повышенной опасностью" Комитета Госнадзорохрантруда или другими актами.

Наиболее эффективными мерами предупреждения опасного и вредного воздействия объектов на человека и окружающую среду является применение автоматических систем контроля и защиты и регламентирования этого воздействия путем нормирования. К сожалению, в настоящее время в Украине применение автоматических систем защиты объектов крайне ограничено, а применяемые недостаточно эффективны из-за отсутствия необходимой научной обоснованности построения их структур с учетом условий объектов. Поэтому Национальной программой улучшения состояния безопасности, гигиены труда и производственной санитарии на 2001-2005 гг. предусмотрено расширение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области автоматических средств защиты. Целью данной статьи является обоснование предпосылок построения эргатических систем защиты объектов повышенной опасности.

Правоммерно выделить социально-технические системы, в которых человек выполняет физическую и умственную роли. Такие системы в области безопасности жизнедеятельности называются эргатическими. Наиболее эф-

фективными по своему назначению являются автоматические эргатические системы, которые выполняют две основные функции: контроль состояния объекта и предупреждение или устранение опасной ситуации. Успешность функционирования такой системы определяется совершенством взаимодействия человека и техники. И в этом случае человек (оператор) может рассматриваться как физический элемент системы. Техническая часть эргатической системы также может быть по-разному структурирована и собрана из различных элементов.

Очевидно, что функциональная возможность действия (качество) эргатических систем различна. Это предопределяет необходимость оптимизации структур таких систем. Для чего необходимы единый подход и методологическое обоснование оценки критерия оптимизации структур эргатических систем объектов повышенной опасности. Применительно к эргатическим системам под их эффективностью следует понимать свойство системы выполнять заданные функции с требуемым (регламентированным) качеством при соответствующих ему затратах и предотвращенном ущербе [1]. Это определение имеет фиксированные характеристики: регламентированное качество, соответствующие затраты, предотвращенный ущерб.

Для сравнения эффективности эргатических систем необходимо иметь их количественные оценки по одинаковым (объективным) или сопоставимым (адекватным) показателям (критериям). При этом возникают сложности с определением объективных и адекватных оценок. Наиболее доступны оценки по отдельным показателям качества (к.п.д., масса, производительность, себестоимость и т.п.). Более сложны оценки по обобщенным показателям качества – целевым функциям высокого порядка. В первом случае производится односторонняя оценка (неполная оптимизация), и она допустима при равных прочих условиях. Во втором случае производится более полная оценка (оптимизация). Однако, она затруднительна при выборе целевой функции и адекватной оценке эффективности эргатических систем в связи с недостаточной их изученностью, что и обуславливает дальнейшие исследования.

Приведенное выше определение эффективности эргатических систем включает в себя три составляющие: техническую, эргономическую и экономическую. Наличие двух и более составляющих предопределяет при оценке эффективности систем использование обобщенных показателей.

Техническая составляющая эффективности системы связана с выполнением заданных функций защиты при требуемом уровне качества ее технической части, т.е. с обеспечением эффекта поставленной цели, например, тушения пожара, устранения аварии, предотвращения загазованности, недопущения радиационного загрязнения и т.д. До настоящего времени не решена однозначно задача методологии оценки технической эффективности. Например, если взять даже один тип автоматических установок пожа-

ротушения, то оценка их эффективности производится по отдельным показателям: расходу огнетушащего вещества, времени тушения или защищаемому объему (площади) и п.р. Ни один из этих показателей не обладает общим приоритетом кроме приоритета оценки частного свойства эффективности. Весьма желательно иметь научно обоснованный обобщенный показатель оценки технической эффективности эргатических систем, адаптированный в целевой критерий.

Очевидно, что такой показатель должен отражать наиболее общее свойство технической эффективности или группу основных свойств. Понятно, что общим признаком достижения поставленной цели является конечный альтернативный результат – "да" или "нет", т.е. потушен или не потушен пожар, предотвращена или не предотвращена авария и т.д. Но этот признак отражает только качественную оценку, а для решения задачи оптимизации структур эргатической системы необходимо давать количественную оценку наиболее общему свойству технической эффективности. Эргатические системы таким свойством обладают, им является надежность. Не отходя от общепризнанного определения надежности [1-3], требуется уточнение его применительно к эргатическим системам с учетом их особенностей.

Под надежностью эргатической системы следует понимать ее свойство сохранять временные значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования с учетом человеческого фактора при достижении конечной цели. Такое определение надежности является фундаментальным понятием, охватывающим все стороны результата функционирования устройства и эксплуатации эргатических систем. Эта формулировка предполагает влияние на общую надежность ее составляющей – надежности человека-оператора в системе, которая, в свою очередь, является показателем эргономической составляющей эффективности.

Эргономическая составляющая эффективности эргатической системы характеризует эффективность человека-оператора как элемента единой системы. Это свойство может характеризоваться в полной мере также надежностью человеческого фактора. В качестве показателя количественной оценки надежности человека-оператора допустимо использование вероятности его безотказной работы в системе.

Ясно, что техническое решение эргатических систем и человеческий фактор в них влияют на экономическую эффективность защиты объектов повышенной опасности. Очевидно, что одними и теми же системами можно защищать объекты разной стоимости и ценности. При этом экономическая эффективность защиты будет разная, так как будет разный предотвращенный ущерб, включающий в себя значительную часть стоимости объек-

та защиты. Поэтому экономическая составляющая связана в выражении оценочного показателя соотношением затрат на технические средства защиты и предотвращенным ущербом.

Очевидно, что при выделении составляющих эффективности уместно ввести понятие общей эффективности эргатических систем. Для количественной оценки составляющих эффективности применяются обобщенные показатели, а для общей эффективности – интегральный показатель в виде целевой функции обобщенных показателей. Он же является и критерием оптимизации структур эргатических систем.

Оптимизация предполагает обоснованный выбор наилучшего из множества вариантов. В нашем случае необходимо выбрать наилучшую структуру эргатической системы. При этом важным моментом является выбор метода оптимизации, который зависит от вида целевой функции, характера ограничений и доступности информации. Математические методы оптимизации позволяют выбрать из большого множества возможных вариантов оптимальный при малых материальных и стоимостных затратах, но для этого необходима достаточная информация. В данном случае она недостаточна и для ее восполнения требуется проведение трудоемких работ исследовательского и практического характера.

При ограниченности информационных данных нередко используется поэтапная оптимизация. При этом, сначала с помощью математических методов из множества сравниваемых вариантов отбираются рациональные варианты, а затем из них находится оптимальный вариант. Такой подход также может быть затруднителен, так как информации может быть недостаточно.

При отсутствии необходимых информационных данных наилучший (оптимальный) вариант из числа рациональных может принимать руководитель, проектировщик, эксперты. Очевидно, что этот выбор отягчен снижением достоверности принятого решения.

На наш взгляд, задача по поиску рациональных вариантов может быть упрощена, если на начальном этапе выполнить качественную экспертную оценку, а затем провести параметрическую оптимизацию по целевой функции. Такой поэтапный метод оптимизации структур эргатических систем [1,3] позволяет снизить трудоемкость работ при проектировании и решить задачу оптимизации при ограничении информационных данных.

Важнейшее место в решении задач оптимизации структур эргатических систем, как и многих других систем, представляет выбор и формализация показателей и критериев, которые в основном определяют корректность оптимизации. С помощью этих показателей производится количественная оценка свойства системы в целом и ее основных структурных элементов. Выше было обосновано, что таким универсальным свойством является эффективность, которую целесообразно дифференцировать по составляющим –

техническая, эргономическая, экономическая, которые, в свою очередь, интегрировать в общую эффективность по их оценочным показателям. Если эти показатели совпадают с оценочными критериями, то они являются и критериями оптимальности составляющих системы в целом. Критерий эффективности называют помимо критерия оптимальности, критерием выбора или критерием решения. Под этим критерием понимают признак, на основании которого можно дать сравнительную оценку возможных решений (альтернатив), в нашем случае, структур системы, и выбрать наилучшее.

Критерий эффективности системы служит средством для суждения о степени соответствия конечного результата функционирования системы цели и средству ее достижения. В этом случае модель критерия системы является трехзвенной: цель-средство-результат [4]. Применительно к эргатической системе целью является предупреждение (предотвращение) аварии, средством – сама система "человек-техника", результатом – устранение аварии. Критерий должен иметь простую и удобную для практического использования аналитическую формулу и при этом точно и достоверно отражать информацию. Решению задачи наиболее удовлетворяет из известных в теории принятия решений критериев критерий типа эффект-затраты. Желательно, чтобы критерии имели количественное выражение в относительных единицах. В этом случае универсальность и удобство применения критериев возрастает.

Исходя из отмеченного, в качестве оценочных показателей эффективности при оптимизации структур эргатических систем целесообразно принять: для технической составляющей – обобщенный показатель надежности P_m , для эргономической – обобщенный показатель надежности человека-оператора $P_{ч}$, для экономической – обобщенный показатель экономичности $\mathcal{E}$.

При формализации обобщенного показателя надежности, руководствуясь необходимостью более глубокого изучения надежности эргатических систем и кратчайшего пути ее повышения при наименьших затратах, целесообразно рассматривать надежность по ее составляющим: структурно-функциональной $P_{с-ф}$, параметрической (точностной) $P_{n(m)}$, эксплуатационно-прочностной $P_{э-п}$. При этом общая надежность технической части эргатической системы $P_{с.т.}$ определяется по формуле:

$$P_{с.т.} = P_{с-ф} \cdot P_{n(m)} \cdot P_{э-п} = \prod_{i=1}^3 P_i.$$

Используя аналогичный подход к формализации обобщенного показателя надежности человека-оператора по вероятности его безотказной работы в эргатической системе, можно записать

$$P_{ч-о} = P_{вх} \cdot P_{вн} \cdot P_{вых} = \prod_{j=1}^3 P_j,$$

где P_{ax} – безотказность оператора по восприятию входного сигнала; $P_{вн}$ – безотказность работы оператора, охватывающая внутренний процесс распознавания; $P_{вых}$ – безотказность оператора по выходному отклику.

Следуя этой логике, надежность эргатической системы в целом

$$P_c = P_{c.m.} \cdot P_{ч.-o.}$$

Обобщенный показатель экономической составляющей эффективности может быть представлен в виде отношения Y/Z , где Y – предотвращенный ущерб, а Z – затраты на технические средства защиты.

Обобщенный показатель полной эффективности эргатической системы (он же критерий оптимизации структур системы) представляет собой интегральный критерий в виде целевой функции $\mathfrak{J} = f(P_{c.m.}, P_{ч.-o.}, Z, Y)$. Для оптимизации структур эргатических систем авторами предлагается следующий общий вид формализованного критерия:

$$\mathfrak{J} = P_c \cdot \frac{Y}{Z} \rightarrow \max.$$

Выше отмечалось, что оптимизацию структур эргатических систем целесообразно проводить уточненным методом последовательной оптимизации. В основу уточнения метода должны быть положены особенность структур, их компоновка, связи и функционирование систем, методология решения задач с учетом нормативных и других смысловых ограничений, обоснованности критериев и последовательности оптимизации структур. Эргатическая система с ее структурой и функциональными свойствами, а так же сам процесс контроля и защиты объекта принимается как техническая динамическая система с человеческим фактором. Структурно эта система состоит из отдельных взаимосвязанных подсистем (модулей), которые в свою очередь состоят из отдельных взаимосвязанных блоков (дета-

лей, элементов). Под модулем понимается отдельная характерная по структуре, функциональному назначению или свойствам подсистема, принадлежащая одной динамической системе. Человека-оператора с некоторыми допущениями также можно рассматривать как модуль динамической системы. При таком допущении каждый модуль будет обладать всеми признаками технической динамической системы с открытыми границами. К таким признакам относятся следующие: система состоит из отдельных взаимодействующих подсистем; состояние подсистем и в целом системы изменяется во времени; система в целом и каждая подсистема характеризуется текущим состоянием и историей развития; переход структуры от одного варианта к другому дискретен; множество вариантов может быть установле-

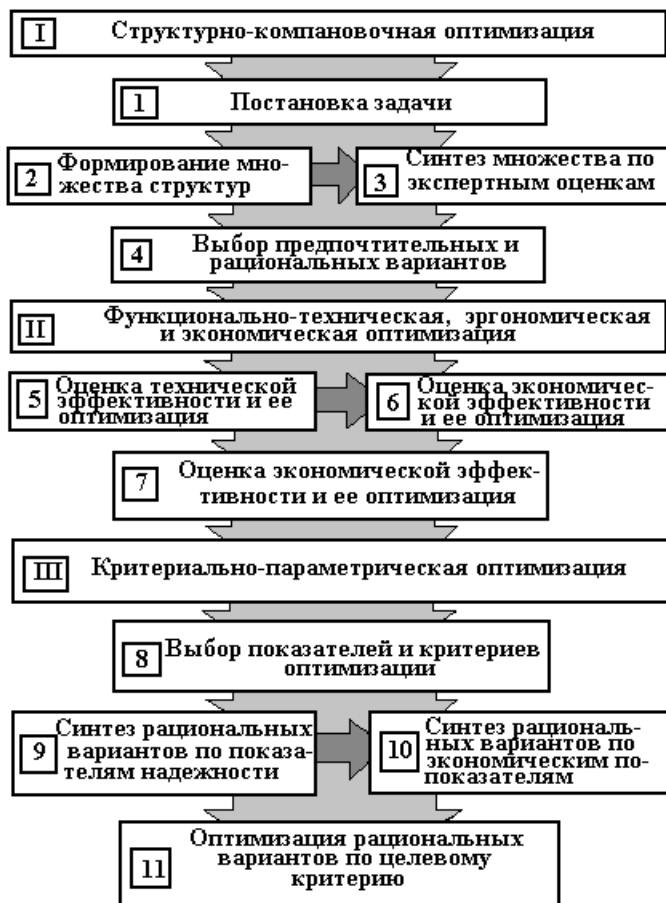


Рисунок 1 – Схема алгоритма оптимизации эргатической системы

Поскольку на принципы построения эргатических систем и условия их оптимизации большое влияние оказывают ограничительные факторы в виде нормированных количественных оценок и качественных решений, а также субъективные факторы в виде опыта и интуиции разработчиков (проектировщиков), то начальные этапы последовательной оптимизации структур системы могут выполняться на уровнях качественного синтеза по укрупненным экспертным оценкам без снижения качества параметрической оптимизации на последующих этапах, решение задач по которой проводится также с учетом ограничений. Схема алгоритма последовательности оптимизации структур эргатических систем изображена на рисунке 1.

ВЫВОДЫ

1. Недостаточное применение эффективных автоматических систем защиты объектов повышенной опасности является одной из основных причин роста травматизма, в том числе и с летальным исходом.

2. Низкая эффективность имеющихся автоматизированных систем защиты обусловлена недостаточной научной обоснованностью их построения с учетом условий применения и отсутствием оптимизации их структур при разработке и проектировании.

3. Изложен единый подход и алгоритм поэтапной оптимизации структур эргатических систем защиты объектов повышенной опасности по составляющим технической, эргономической и экономической эффективности и интегральному критерию в виде целевой функции.

4. Разработка научно обоснованных методик оптимизации эргатических систем защиты объектов различных отраслей является перспективой дальнейших научных исследований.

Библиографический список

1. Севриков В.В. Надежность и эффективность автоматических установок пожаротушения / В.В. Севриков, В.А. Карпенко, И.В. Севриков. — М.: Машиностроение, 1993. — 105 с.

2. Глазунов Л.П. Основы теории надежности автоматических систем управления / Л.П. Глазунов, В.П. Гробовецкий, О.В. Щербаков. — Л.: Энергоиздат, 1984. — 210 с.

3. Севриков В.В. Автоматические быстродействующие системы пожарной защиты / В.В. Севриков, В.А. Карпенко, И.В. Севриков. — К.-Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1996. — 260 с.

4. Гарантийный надзор за сложными техническими системами / Г.Е. Аллаидзе, Л.Г. Романов, А.А. Червоный, Ф.К. Шахтарин. — М.: Машиностроение, 1988. — 230 с.

Поступила в редакцию 01.03.2003 г.