

УДК 519.812.3: 504.06.3

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

Е.К. Паньков, студент, А.И. Севриков, студент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

УТОЧНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУР

АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Уточнён научно обоснованный подход к оптимизации структур автоматизированных систем и выбора средств контроля для объектов повышенной опасности. Представлено выражение критерия оптимизации структур систем в виде целевой интегральной функции.

Украина по техногенным авариям и травматизму с летальным исходом вышла на одно из первых мест в мире. Наиболее подвержены авариям объекты повышенной опасности, по которым имеется закон Украины «Про об'єкти підвищеної небезпеки». Среди них наиболее опасными являются взрывопожароопасные объекты, широко распространённые в угольной, горнорудной, химической, нефтегазовой и других отраслях промышленности, а также отдельные объекты транспортирования, хранения и обращения со взрывоопасными веществами и материалами, имеющими повсеместное распространение[1]. Аварии на этих объектах сопровождаются не только значительным экономическим ущербом, повреждением и загрязнением окружающей природной среды, но и нередко ничем невозполнимыми человеческими жертвами. Проблема повышения безопасности таких объектов и, в первую очередь взрывоопасных, остаётся весьма актуальной.

Анализ проблемы, постановка исследования. В основе безопасной эксплуатации объектов находится профилактика аварийных ситуаций. Профилактика, в свою очередь, основана на контроле информативных параметров. Наиболее эффективным является активный автоматизированный контроль. Он позволяет получать не только информацию по состоянию объекта (процесса) для принятия решения по обеспечению его безопасности, но и автоматически управлять режимами технологического процесса или обращения со взрывопожароопасными и вредными веществами, что предупреждает аварию и загрязнение окружающей природной среды. Автоматизированные информационные системы включают в себя не только техническую часть (подсистему, модуль), но и действия человека-оператора. Автоматизированная и автоматическая системы, предназначенные для объектов повышенной опасности, таких как взрывопожароопасные, а также представляющие ядерную, химическую и другие виды опасностей, включают в себя кроме подсистемы контроля и подсистему защиты, которая приводится в действие по сигналу первой или, при необходимости, действием оператора.

Для особо опасных объектов, или имеющих стратегическое значение, автоматические системы защиты включают в себя и действие человека, что обычно исключается из определения автоматических систем. Это, очевидно, связано с тем, что в этих системах действие человека ограничено. Однако, в автоматических системах защиты особо опасных объектов, роль человека, может оказаться решающей в достижении цели – предотвращении или локализации аварии.

Автоматические системы контроля и защиты объектов повышенной опасности находятся в поле зрения ответственных лиц, которые следят за их исправным состоянием и при необходимости осуществляют проверку этого состояния, текущую диагностику, подналадку системы или поднастройку её отдельных элементов и выполняют другие надзорные операции. Если какая-то из этих операций выполнена неадекватно условиям возможной опасности, то система в целом, с участием человека в ней, не предупредит или не предотвратит аварию, или не устранил её последствия. В этом случае конечная цель защиты объекта не будет достигнута, а значит, надёжность системы будет равна нулю, несмотря на то, что надёжность технической части её довольно высокая. Это объясняется тем, что надёжность человека, как элемента системы (безотказность его действия) равна нулю по конечному результату достижения цели. Автоматизированные и автоматические системы контроля и защиты особо опасных объектов и объектов окружающей среды называются *информационно-эргатические*.

Эти объекты могут быть защищены системами (установками) различных типов, например, взрывоопасные нефтехранилища, ликёроводочные цеха, сероводородные станции, подготовительные и очистные забои в угольных шахтах и другие могут быть защищены автоматическими установками пенного, порошкового, газового или комбинированного тушения. Отвечая на вопрос о целесообразности выбора той или иной установки, или выбора её структуры (датчиков, преобразователей, исполнительных, контрольно-сигнальных устройств и т.д.), авторы приходят к выводу, что эффективность их применения различна. Это вызывает необходимость оптимизации структур информационно-эргатических систем. Даже при применении различных индивидуальных приборов контроля одного и того же объекта эффективность защиты различна, что также вызывает необходимость оптимального выбора средств

контроля. При контроле различных по стоимости объектов одними и теми же приборами и системами эффективность контроля и защиты также различна. Поэтому оптимизация структур систем контроля и защиты объектов повышенной опасности и оптимальный выбор средств контроля неоспоримы.

В настоящее время отсутствуют практические методики оптимизации структур автоматических информационно-эргатических систем и оптимального выбора средств контроля взрывопожароопасных объектов и других объектов повышенной опасности и вредности, включая объекты окружающей природной среды. Имеется единственная учебная методика А.Д. Забежинского по оптимизации выбора средств контроля в машиностроении (г. Ленинград)[2]. Однако эта методика не предлагает универсального подхода к обоснованному выбору средств контроля для различных условий и отраслей и ограничивается только точностной оценкой по критерию погрешности выходного параметра при контроле качества изделий выпускаемых предприятием.

Научной школой профессора В.В. Севрикова, к которой принадлежат и авторы данной работы, проводятся исследования по оптимизации структур информационно-эргатических систем и оптимальному выбору средств контроля взрывопожароопасных объектов. Предложен универсальный научно-обоснованный метод оптимизации систем и средств контроля наиболее опасных объектов. Этот метод также пригоден для любых других объектов. Началу данных исследований посвящены работы [3–6].

Целью данного исследования является уточнение научно-обоснованного подхода к оптимизации структур информационно-эргатических систем и оптимальному выбору средств контроля объектов повышенной опасности.

Важным в оптимизации структур автоматических систем является обоснованный выбор критерия оптимизации в виде целевой функции. Анализ этого вопроса показал, что для информационно-эргатических систем наиболее информативным является интегральный критерий, учитывающий характеристики технической части системы, действия человека-оператора и экономические показатели [5]. До сих пор остаётся неразрешённой проблема обоснованного оптимального выбора средств контроля объектов повышенной опасности, окружающей природной среды и, в первую очередь, взрывоопасных объектов. В последних работах [4, 6] предложен комплексный подход к оптимизации структур систем и выбору средств контроля по трём основным условиям: исполнению, метрологическому обеспечению и технико-экономической целесообразности. В этих работах учтена безусловная подчинённость всех условий, что является бесспорным для взрывопожароопасных объектов. Но в этом случае подход к оптимизации структур систем и оптимальному выбору средств контроля следует уточнить необходимым запасом безопасности.

За оценочный показатель *исполнения* средств контроля принимается лимитированный параметр Π_{cp} , согласованный с параметрами взрывоопасной смеси Π_{cm} . Функция исполнения средств контроля в этом случае имеет вид: $\Pi_{cp} = f(\Pi_{cm})$, условия их выбора $\Pi_{cp} < \Pi_{cm}$, а с учётом необходимого запаса безопасности

$$\Pi_{cp} \leq K_{\delta} \Pi_{cm}, \quad (1)$$

где K_{δ} – коэффициент безопасности, или коэффициент занижения опасности лимитирующего параметра средств контроля ($K_{\delta} < 1$).

Исполнение является главным требованием к средствам контроля и системам в целом, для взрывоопасных сред (условий).

К известным классификациям и нормативным требованиям электрооборудования, предназначенного для взрывоопасных условий, нами дополнительно классифицировано пять типов средств контроля электрического и неэлектрического принципа действия для взрывоопасных сред и сформулированы в общем виде условия взрывобезопасности их применения.

Тип первый – устройство электрического принципа действия с искроопасными цепями (контактами) и взрывозащищённой оболочкой. Лимитирующим параметром взрывоопасной смеси является наименьшая её температура самовоспламенения $T_{св.см.}$, а лимитирующим параметром устройства (средства контроля) является температура продуктов взрыва, истекающих из оболочки T_{cp1} через критический зазор. Условие взрывобезопасного контроля для выбора средств, в соответствии с (1) имеет вид

$$T_{cp1} \leq 0,6 T_{св.см.} \quad (2)$$

Если соотношение (2) не соблюдается, то следует уменьшить размер критического зазора, например, на этапах разработки и проектирования оборудования, или при эксплуатации относить оборудование (средства контроля) в более низкую категорию по чувствительности смеси к самовоспламенению.

Тип второй – средства электрического действия с отсутствующими искрящими цепями (контактами) или имеющие оболочки, заполненные инертным газом, маслом или сыпучим инертным

материалом. Лимитирующим параметром устройства является температура поверхности контактирующей с взрывоопасной смесью T_{cp2} , а лимитирующим параметром взрывоопасной смеси является её наименьшая температура самовоспламенения $T_{св.см.}$. Условие взрывобезопасности для данного типа устройств (средств контроля) имеет вид

$$T_{cp2} \leq 0,7T_{св.см.} \quad (3)$$

В случае не выполнения условия (3) необходимо принимать конструктивные изменения устройств по взрывозащите или при эксплуатации их относить к более низкой категории по чувствительности смеси к самовоспламенению.

Тип третий – устройства неэлектрического принципа действия, применяемые в диэлектрических потоках, или имеющие диэлектрические движущие элементы. Лимитирующими параметрами являются энергия разряда зарядов статического электричества с устройств (средств контроля) W_{cp} и минимальная энергия зажигания взрывоопасной смеси $W_{min.см.}$. Условие взрывобезопасности для данного случая, в соответствии с (1) имеет вид

$$W_{cp} \leq 0,4W_{min.см.} \quad (4)$$

При несоблюдении соотношения (4) необходимо изменять условия и режимы эксплуатации средств контроля и другого технологического оборудования, в частности усиливать электропроводимость электризующихся поверхностей (элементов) и улучшать электростатический отток в землю путём их заземления.

Тип четвёртый – устройства и их элементы неэлектрического принципа действия, подверженные трению без воспламенения поверхностей или наличию и движению в них разогретых веществ и материалов, в результате чего происходит нагрев поверхностей, контактирующих с взрывоопасными смесями. Условие взрывобезопасности для данного случая имеет вид

$$T_{cp4} \leq 0,8T_{св.см.} \quad (5)$$

где T_{cp4} – температура нагретых поверхностей средств четвёртого типа; $T_{св.см.}$ – температура самовоспламенения взрывоопасных смесей.

При невыполнении условия (5) необходимо изменять режимы и условия эксплуатации технологического оборудования и средств контроля с целью снижения температуры нагрева контактирующих со взрывоопасной смесью поверхностей.

Тип пятый – устройство с элементами неэлектрического принципа действия, которые при механических повреждениях (падениях) или движении создают механические, так называемые «холодные» искры. Условие взрывобезопасности имеет вид:

$$T_{cp5} \leq 0,5T_{св.см.}, \quad (6)$$

Где T_{cp5} – температура механических искр; $T_{св.см.}$ – температура самовоспламенения смеси.

В случае несоблюдения этого условия необходимо принимать меры к снижению температуры «холодных» искр или отсутствию их путём конструктивных решений средств контроля, например, замены материала (стали) их элементов цветными металлами и полимерами.

Значения коэффициента безопасности K_b в выражениях (2) – (6) приняты из стандартов [7,8] и на основании экспертных оценок. Их можно рекомендовать как ориентировочные.

К сожалению, для выбора средств контроля отсутствуют расчётные методы оценки условий безопасности. В связи с этим математическое моделирование этих условий является актуальной задачей повышения безопасности. Авторами, вместе с профессором В.В.Севриковым, условия (2) – (6) смоделированы в математической форме и в настоящее время пассивным экспериментом оценивается их достоверность.

Выполнив на первом этапе оценку средств контроля по взрывозащищённости и выбрав из них удовлетворяющие конкретным условиям применения, подвергаем их дальнейшему анализу по метрологическому обеспечению контроля. Главной задачей метрологического обеспечения является точность и достоверность контроля лимитирующих параметров. Оценкой точности является погрешность измерения и её составляющая погрешность средства измерения. Предложено два подхода [3, 4]: ориентировочный и уточнённый выбор средства контроля, соответственно, для нормальных и менее опасных условий и более опасных условий и смесей. Критерием выбора является функция $\Delta = f(\Delta_{lim})$, уточнённая коэффициентом безопасности K_b . При этом условия выбора имеют вид

$$\Delta_{\Sigma} \leq K_b \Delta_{lim} \leq \Delta_n; \quad \Delta_n \leq K_b \Delta_{lim} \leq \Delta_n, \quad (7)$$

где Δ_{Σ} – суммарная расчётная (назначенная) погрешность при уточнённом выборе средств контроля (характера для автоматизированных систем, лабораторных методов и установок); Δ_n – паспортная

погрешность (характерна для индивидуальных приборов); Δ_{lim} – предельная допустимая погрешность средства контроля, назначенная разработчиком (проектировщиком); Δ_n – нормированная погрешность средства измерения.

Оценив погрешность средств контроля, выбор их для конкретных условий производится с учётом других метрологических характеристик, например, диапазона измерения, чувствительности прибора, нижнего предела измерения.

Выполнив два первых этапа оптимизации структур информационно-эргатических систем и оптимального выбора средств контроля, производится третий этап оптимизации по условию *технико-экономической целесообразности*. При этом, в качестве целевой функции принимается критерий вида

$$I = \frac{P \cdot \Delta Y}{K + \mathcal{E}_3 \cdot T} \rightarrow \max, \quad (8)$$

где P – надёжность системы (устройства, прибора) в виде вероятности безотказной работы технической части P_m и человека-оператора $P_{\text{ч}}$ ($P = P_m \cdot P_{\text{ч}}$); ΔY – предотвращённый ущерб, в случае обеспечения контроля объекта и наличия на объекте автоматизированной системы; $\mathcal{E}_3$ – эксплуатационные годовые затраты по обслуживанию системы контроля и защиты; T – период эксплуатации системы (прибора, устройства).

Определение предотвращённого ущерба в настоящее время затруднительно из-за отсутствия статистических данных и методологии оценки его. Поэтому предлагается нетрадиционное решение этого вопроса, а именно: с использованием возможного и не предотвращённого ущерба, которые, в свою очередь, определяются через стоимость защищаемого объекта и системы (средств контроля) при отсутствии и наличии их на объекте, а также возможных затрат.

Предотвращённый ущерб, в случае оснащения объекта системой контроля и защиты оценивается по выражению

$$\Delta Y = Y_{\text{в}} - Y_{\text{н}}, \quad (9)$$

где $Y_{\text{в}}$ – возможный ущерб при отсутствии системы контроля и защиты объекта; $Y_{\text{н}}$ – не предотвращённый ущерб, в случае оборудования объекта системой.

Возможный ущерб можно выразить через стоимость защищаемого объекта $C_{\text{об}}$, ликвидационную стоимость остатков объекта после аварии $C_{\text{л}}$ и суммарные затраты на ликвидацию последствий аварии $З_{\text{ав}}$, т. е.

$$Y_{\text{в}} = C_{\text{об}} - C_{\text{л}} + З_{\text{ав}}. \quad (10)$$

Библиографический список

1. Нормативи порогових небезпечних речовин для ідентифікації та обліку підвищеної небезпеки. ДНАОП 0.00–3.08–02. Порядок ідентифікації та обліку об'єктів підвищеної небезпеки. ДНАОП 0.00–8.21–0.2. Порядок декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. ДНА 0.00–8.22–02. — Харків: Видавництво «Форт», 2003. — 40 с.
2. Забежинский А.Д. Методика ориентировочного выбора средств контроля параметров / А. Забежинский. — Л.: ЛГУ, 1991. — 48 с.
3. Карпенко В.А. Новый подход и методика технико-экономического обоснованного выбора средств контроля / В. Карпенко // Вестник СевНТУ. Сер. Экономика: сб. науч. тр. — Севастополь, 2003. — № 44. — С. 3–7.
4. Севриков И.В. Постановка задачи исследования по научному обоснованию выбора средств контроля взрывоопасных объектов / И. Севриков, Ю. Иванов, А. Клемяшова // Зб. наук. пр. СНУАЕіП. — Севастополь, 2006. — № 18. — С. 133–140.
5. Севриков И.В. Экономическая составляющая критерия эффективности вариантов систем защиты объектов повышенной опасности / И. Севриков, А. Квасова // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. — Севастополь, 2006. — Вып. 75. — С. 118–122.
6. Севриков В.В. Рациональный выбор средств контроля объектов / В. Севриков, Ю. Хашин, А. Клемяшова // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. — Севастополь, 2007. — Вып. 10. — С. 134–139.
7. ГОСТ 12.1.044–85. Пожарная безопасность. Общие требования. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 77 с.
8. ГОСТ 12.1.044–84. Пожарная безопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методов их определения. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 134 с.

Поступила в редакцию 17.12.2008 г.