КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ С ЗАЩИТОЙ

Б.В. Дзюндзюк
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

Т.Е. Стыценко
Старший преподаватель кафедры*

*Кафедра «Охрана труда»
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Контактный телефон: 702–13–60

Предложены математические модели защитных систем в самом случае: в виде функции защиты в рамках дозового подхода, и с использованием линейного функционала биовоздействия. Показано, что общая задача моделирования систем защиты может быть поставлена как задача оптимизации. Получены расчетные формулы первого приближения при весьма общих предложениях о виде временных зависимостей вредных факторов.

1. Введение и постановка задачи

В настоящее время известно, что результатом функционирования любой сложной технической системы (СТС) является [illegible] работа (полезная) и вредное воздействие [illegible] для самой системы, так и для обслуживающего [illegible] окружающей среды и т.д. [illegible] в каждой тех-

...нической системе оказывает негативное влияние на человека, т.е. является неизбежным злом или «платой за технический прогресс», следовательно СТС должна иметь защиту от вредного воздействия. Таким образом, моделирование систем защиты СТС является актуальной задачей.

Целью работы является оптимизация систем защиты без учета связей с другими элементами системы «человек–машина–среда».

Методом исследования является построение математических моделей различного уровня детализации в рамках двух подходов: оптимизация качества и оптимизация стоимости.

2. Защитная функция системы защиты

В качестве критерия уровня безопасности предприятия используется предложенный в работе критерий – защитная функция, которая позволяет сравнивать существующие предприятия по уровню их безопасности. Для целей проектирования новых сложных технических систем (СТС) и системы защиты (СЗ) к ним предлагается другой – оптимизационный подход.

Ввиду сложности и неоднозначности выбора глобального критерия, рассмотрим сначала СЗ без учета ее связей с другими элементами системы «человек–машина–среда».

Пусть $D \geq 0$ – доза вредного воздействия. Индексом «з» далее везде будет обозначаться значение параметра системы или величины вредного фактора, полученное в результате (и после) действия системы защиты. Таким образом, $D_з$ – значение D после действия защиты.

Введем функцию Ф, связывающую эти величины

$$Ф(D,V(t),t)=D_з \qquad (1)$$

Назовем $Ф(D, \bar{V}, t)$ защитной функцией системы защиты (ЗФСЗ).

Очевидно, что

$$0 \leq Ф(D, \bar{V}, t) \leq D \text{ и } Ф(0, \bar{V}, t) = 0$$

В случае линейности функции $Ф(D, \bar{V}, t)$ по переменной D имеет место соотношение:

$$D_з = K_з(\bar{V}, t)D$$

$$\text{Функцию } K_3(V,t) = Ф(1,V,t) \qquad (2)$$

назовем коэффициент защиты.

Отметим, что вопреки названию, цель работы СЗ состоит, согласно (1) и (2), в уменьшении $K_з$. Согласно «здравому смыслу» коэффициентом защиты следовало назвать величину, обратную к $K_з$.

Если рассматриваемая ТСЗ является структурной, т.е. ее параметры $\bar{V}$ и $K_з$ не зависят от времени. В этом случае разработка системы сводится к выбору значений параметров, дающих минимум $K_з$. При этом если выполняется требование линейности дозы, то достаточно ее оценить по уровню воздействия.

Отметим, что понятие защитной функции и коэффициента защиты могут быть введены посредством (1) и (2) единообразно как для одного устройства, так и для сложной ТСЗ.

Оптимизация ТСЗ естественным образом разбивается на два иерархических уровня: верхний (первый) уровень – структурная оптимизация (СО): выбор типов защитных устройств, их расположения и связей ТСЗ, и нижний (второй) уровень – параметрическую оптимизацию (ПО) самих устройств при известной структуре ТСЗ. В настоящее время первый уровень слабо формализован и выполняется в основном в ручную, на основании личного опыта разработчика, или, в лучшем случае, с помощью экспертных оценок. Формализация задач второго уровня принципиальных сложностей не вызывает, но наталкивается на целый ряд вычислительных трудностей, например, проблема размерности

Пусть на нижнем (параметрическом) уровне оптимизации известен набор $\{Z_i\}$ из m (i = 1,...m) защитных устройств, каждое из которых описано зависимостью коэффициента защиты $K_з$ от параметров H_k этого устройства:

$$K_з = Z^{n_i}(H_1,...,H_{n_i}), \qquad (3)$$

где n_i – верхний индекс, означающий размерность векторов параметров i–го устройства;

$$H^i = \bigotimes_{1}^{n_i}\{H_k^i\}$$

На множестве H^i для каждого индекса i, т.е. для i–го устройства, определена функция стоимости

$$C_i^{n_i}(H_1,...,H_n) > 0$$

Здесь и далее, если речь идет о конкретном устройстве, индекс i будем опускать. Знак $\bigotimes_1^n$ означает декартово произведение из n множеств. Конкретизация параметров $\{H_k\}$ зависит от типа защитного устройства.

Определение требуемых коэффициентов защиты $K_з$ основывается, в конечном счете, на зависимости функционального состояния оператора от уровня вредных факторов.

В зависимости от характера изменения во времени вредных факторов на рабочем месте персонала и свойств оператора «воздействие – эффект» изменяется подход к выбору $K_з$.

Если уровень вредных факторов незначительно колеблется возле своего среднего значения, то можно ориентироваться на существующие нормы предельно допустимых вредностей. В этом случае исходное требование к $K_з$ будет иметь вид

$$K_з \leq \frac{x_{норм}}{x}$$

Если вредные факторы x внешней среды рабочего места изменяются во времени и в операторе «воздействие – эффект» наблюдается кумулятивная составляющая, то целесообразен дозовый подход к выбору $K_з$.

3. Определение коэффициента защиты при дозовом подходе

При дозовом подходе в общем случае допустимым является следующее приближение для биовоздействия y:

в автореферат

$$y = \phi\left(\int_0^T g(x(\tau))d\tau\right)$$

где ϕ, g – монотонно неубывающие функции.

Определение норматива дозы $D_{норм}$ за смену производится из уравнения

$$y_{норм} = \phi(D_{норм}) \quad (4)$$

Так как ϕ – монотонная функция, то уравнение (4) имеет единственное решение

$$D_{норм} = \phi^{-1}(y_{норм})$$

После этого $K_з$ определяется из соотношения

$$\int_0^T g(K_з x(\tau))d\tau \le D_{норм} \quad (5)$$

В первом приближении здесь можно ограничиться случаем $x(\tau) = \text{const}$.

Тогда имеют место соотношения:

$$g(K_з x)T \le D_{норм} \Leftrightarrow g(K_з x) \le \frac{D_{ng}}{T} \Leftrightarrow K_з x \le$$

$$\le g^{-1}\left(\frac{D_{норм}}{T}\right) \Leftrightarrow K_з \le \frac{g^{-1}\left(\frac{D_{норм}}{T}\right)}{x}.$$

С другой стороны, так как $\int_0^T g(x)dt = Tg(x) = D$ – величина дозы за смену без применения защиты, то $x = g^{-1}\left(\frac{D}{T}\right)$.

Таким образом при дозовом подходе в первом приближении можно принять условие

$$K_з \le \frac{g^{-1}\left(\frac{D_{нор}}{T}\right)}{g^{-1}\left(\frac{D}{T}\right)} \quad (6)$$

Отметим, что в частном случае $g(x) = x$ неравенство 5 имеет вид

$$\int_0^T K_з x(\tau)d\tau \le D_{норм}$$

или

$$K_з D \le D_{норм} \Leftrightarrow K_з \le \frac{D_{норм}}{D}$$

Величина D может быть определена экспериментально, а для проектируемых систем – на основании обобщенного структурного метода

4. Выбор коэффициента защиты при описании системы линейной динамической моделью

При неприменимости дозового подхода выбор $K_з$ должен опираться непосредственно на модель взаимосвязи «воздействие – эффект». Для линейной динамической модели имеем:

$$y(t) = \int_{\infty}^{t} w(\tau)x(t-\tau)d\tau. \quad (7)$$

Момент t_0 выбирается из условия максимального биовоздействия $\max\limits_{t\in T} y(t) = y(t_0)$

Тогда требования к $K_з$ определяются из соотношения

$$\int_0^{t_0} w(t)K_з x(t_0-\tau)d\tau \le y_{норм}$$

$$K_з \le \frac{y_{норм}}{\int_0^{t_0} w(\tau)x(t_0-t)dt} = \frac{y_{норм}}{y_{max}} \quad (8)$$

Для проведения этой оценки нужна информация о характере изменения $x(t)$ в течении рабочей смены T. Для действующих производств эти характеристики можно получить экспериментально. Для проектируемых технологических процессов рациональным является численное стохастическое моделирование функции $x(t)$ с учетом априорной информации.

Если вредный фактор вызывает существенное изменение нескольких параметров состояния здоровья, то по каждому из них нужно определить значение коэффициента защиты и выбрать из этих чисел наименьшее.

5. Выбор коэффициента защиты как задача оптимизации

На этапе технического проекта любого из средств или устройств защиты необходимо решать задачу:

$$\text{opt}K_з | C \le C^*, \quad (9)$$

где роль C^* играет величина стоимости C на этапе техническо-экономического обоснования. В случае оптимизации системы из m устройств отметим, что $K_з \ne \sum_{i=1}^{m} k_{iз}$. Что касается критерия стоимости C, то он традиционно считается аддитивным

$$C = \sum_{i=1}^{m} C_i \quad (10)$$

Если защитные устройства между собой не связаны, то все множество устройств естественным образом разбивается на не пересекающиеся классы. Это условие всегда выполняется для стационарных систем защиты (что непосредственно следует из их определения), а также для большинства систем функциональных. Таким образом, оптимум каждого устройства в отдельности приводит к оптимальности всю систему. Этот прием, существенно упрощающий задачу, интуитивно всегда использовался проектировщиками защитных систем. При этом, однако, не учитывается ограничения – положительность $K_{iз}$ и условие непересечения классов параметров, что может привести к заниженной или завышенной оценке стоимости системы защиты. Защитные устройства, классы параметров которых пересекаются, следует объединить и рассматривать как макроустройства (или подсистему). Этот процесс может значительно увеличить размерность задачи параметрической оптимизации, но позволяет пользоваться знаком равенства в (9) и упрощает опти-

Рассмотрим теперь задачу оптимизации верхнего ...зня – структурную. Для первого приближения бу... полагать, что размещение всех устройств оптималь... отметим, что в области оптимального геометриче...го размещения известны значительные результаты, ...торые могут быть при необходимости использованы. ...ким образом, наша задача свелась к оптимальному ...бору v устройств из совокупности N. Всего воз...ностей выбора: $\sum_{v=1}^{N} C_N^v = 2^N - 1$, поскольку порядок ...бора роли не играет, а число выбранных устройств ...ределяется эффективностью и стоимостью) может ...ть любым $1 \le v \le N$. Эта задача может быть названа «...дачей оптимизации на сочетаниях» (по аналогии с ...появшимся термином «оптимизация на перестанов...ках») и записывается подобно задаче (9) и (10)

$$1)\ \underset{\Omega_N}{\mathrm{opt}} K_3 \,\middle|\, C \le C^*; \quad 2)\ \underset{\Omega_N}{\min} C \,\middle|\, K_3 \le K^*, \qquad (11)$$

...де Ω_N – множество всех сочетаний из N по $1 \le v \le N$. От...тим, что здесь под «устройством» может пониматься ... макроустройство. В задачах (11) предполагается, что ...тимизация на нижнем уровне уже произведена. В про...тивном случае переменные K_3 и C будут нечеткими.

6. Заключение и выводы

Основными результатами работы являются:

- постановка задач построения систем защиты по критериям Ф, K_3 и C на основании весьма общих моделей вида (1), (2) и (10), что составляет ее научную новизну;
- получение простых расчетных формул (8), связывающих вновь определенный критерий качества защиты с параметрами, которые можно сравнительно легко измерить и нормировать из биологических и санитарных соображений, что и определяет практическую ценность работы.

Дальнейшая работа в данном направлении будет сосредоточена на выявлении свойств ядра $w(\tau)$ в (7) и вида функций y и g в (4) и (5) для конкретных систем защиты.

Литература

1. Основы безопасности эргатических систем. Учебное пособие. Дзюндзюк Б.В. Киев. УМК ВО 1990, 56 с.
2. Оценка дозы вредного воздействия при испытании и настойке РЭА. Дзюндзюк Б.В., Степанова Т.И .АСУ и приборы автоматики. Высшая школа, №88,1988, 6с.