

## ИЕРАРХИЯ КРИТЕРИЕВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ МОДУЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ERP-СИСТЕМАХ

The expanded structure of ERP-system with the switched on module of the ecological monitoring, divided on a subsystem of the analysis of industrial dangers and ratings of risk and a subsystem of support of decision-making is offered. On the basis of a method of the analysis of hierarchies the problem of optimization is considered in multicriteria's to production when the purposes, alternatives and outcomes are set indistinctly, but for which relations of preference, i. e. function of utility, set precisely, and it considered not as probability, and as indistinct size. As means of realization of a managing part of expert system CLIPS environment on the basis of which the program prototype of the mechanism of a conclusion for rules of a subject domain (about 300 products rules) is developed is used.

**Введение.** Стандартное построение автоматизированных систем управления высшего уровня (ERP-системы) промышленным предприятием включает следующие характерные модули [1, 2]:

- бизнес-планирование;
- планирование продаж и деятельности;
- планирование производства;
- формирование графика выпуска продукции;
- планирование потребностей в материальных ресурсах;
- планирование производственных мощностей;
- оперативное управление производством.

Преобладание производственно-технических и финансово-экономических модулей в существующей архитектуре ERP-систем явно не согласуется с принципом безусловности экологических приоритетов при решении научно-технических задач.

Проблему обеспечения экологической безопасности промышленных объектов следует рассматривать на всех стадиях жизненного цикла, в частности, его функционирование (эксплуатацию). Функционирование производства обуславливает стохастическую природу экологической опасности, т. е. всегда с некоторой вероятностью существуют источники опасности и факторы риска, которые могут привести к тому или иному виду экологического риска. Поэтому задачей автоматизированного управления производством является достижение безопасности промышленного объекта с целью обеспечения приемлемого уровня риска для человека и окружающей среды. В рамках этого подхода предлагается при проектировании систем названного класса учитывать данное обстоятельство и дополнить архитектуру ERP-системы экологическим модулем, призванным отвечать за улучшение экологических аспектов при функционировании промышленного предприятия.

Так как по своей сути ERP-системы являются сложным информационным продуктом и представляют собой многофункциональные иерархические распределенные системы, то для осуществления совместной обработки сложно-организованных данных и знаний важно для модуля экологического мониторинга выбрать

критерии оптимизации, обеспечивающие повышение уровня информационной и интеллектуальной поддержки принятия решений.

**Основная часть.** Концептуально безопасность промышленных комплексов на стадии эксплуатации должна оцениваться следующими базовыми оптимизационными критериями, которые должны обеспечить:

1) приемлемый (минимальный) уровень риска для производственного персонала и населения, находящегося на территориях, прилегающих к предприятию, с использованием адекватных моделей анализа и оценки производственных опасностей и риска возникновения аварий;

2) максимальную степень качества окружающей среды с использованием систем контроля и управления качеством атмосферного воздуха на базе современных информационных технологий для прогнозирования уровней загрязнения воздушной среды источниками выбросов промышленных предприятий и в результате аварий на них.

Данная проблема включает в себя решение множества весьма сложных, нелинейных, трудно формализуемых и требующих знаний по многим аспектам задач мониторинга окружающей среды. Поэтому в нашем случае мониторинговый модуль рассматривается как мониторинговая экспертная система, выполняющая контроль над состоянием среды и помогающая руководству предприятия влиять на это состояние путем принятия эффективных решений.

Предлагаемая функциональная структура ERP-системы с включенным модулем экологического мониторинга представлена на рисунке. В ней традиционная подсистема сбора и хранения данных о состоянии технологических процессов и оборудования предназначена для длительного хранения и распределенной обработки данных различными производственно-техническими и финансово-экономическими модулями ERP-системы и с точки зрения экологических аспектов включает в себя совокупность следующих баз данных (БД):

– о регламентных состояниях технологических процессов, оборудования;

- возможных отказах оборудования, технологических нарушениях при проведении процессов и способах устранения неполадок и отказов в системе (БД формируются на основе технологических регламентов производств для каждого цеха и установки);

- известных авариях на производствах и оценках последствий этих аварий;

- реальном времени для сбора информации, поступающей от систем контроля и управления отдельными объектами.

В дополнение к данной подсистеме сбора и хранения предлагается в модуль экологического мониторинга включить подсистему анализа производственных опасностей и оценки риска, а также подсистему поддержки принятия решений. Такое разделение позволит обеспечить функционирование подсистем управления баз знаний (БЗ) и вывода знаний как единого целого и адаптировать модуль к различному программному обеспечению вне зависимости от компьютерной платформы.

Основными функциональными задачами, решаемыми в подсистеме анализа производственных опасностей и оценки риска, будут:

- мониторинг состояния процессов и оборудования, обеспечивающий оценку и своевременное выявление тенденций изменения состояния технологических переменных;

- диагностика неисправностей и обучение операторов-технологов производств их устранению;

- идентификация потенциальных опасностей, выявление аварийных ситуаций, факторов риска, анализ сценариев развития аварийных ситуаций;

- количественная оценка различных видов рисков для всех возможных вариантов развития аварийных ситуаций;

- количественная оценка ущербов в натуральном выражении в случае возникновения аварийных ситуаций на производственном объекте.

На наш взгляд, наиболее уязвимым местом с точки зрения экологических аспектов является идентификация потенциальных опасностей, выявление аварийных ситуаций, факторов риска, анализ сценариев развития аварийных ситуаций, так как при принятии определенных управляющих решений необходимо проводить анализ и оценку риска на различных уровнях. Алгоритм процесса идентификации потенциальных опасностей, анализа и оценки риска предлагается осуществить поэтапно:

1. Выбор метода идентификации опасностей, анализа и оценки риска на основании руководящих документов и стандартов [3].

2. Формализация специфических особенностей анализа и оценки риска производств.

Данная формализация специфики анализа и оценки риска необходима для формирования соответствующих баз знаний экспертной системы. Для технологического оборудования (в емкостях, хранилищах, трубопроводах), располагаемого на территориях промышленных предприятий, специфика заключается в следующем:

- наличие внезапных отказов, вызванных длительным накоплением причин, их вызывающих, без видимых изменений; отказов, вызванных воздействием внешних причин; вторичных отказов;

- возникновение типовой аварийной ситуации от отказов различной природы;

- ограниченное (значительно меньшее, чем для функционирующих технологических схем) количество сценариев развития аварийной ситуации.

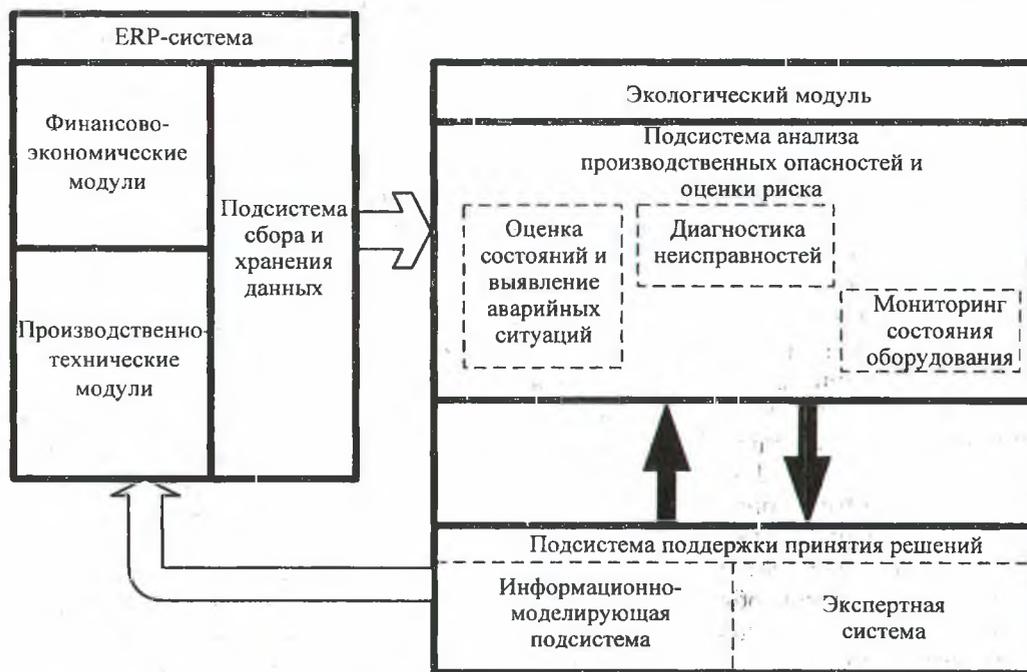


Рисунок. Структура ERP-системы с включенным модулем экологического мониторинга

В периодических производствах к специфическим особенностям можно отнести:

1) отсутствие первичных отказов и причин, их вызывающих;

2) возникновение типовой аварийной ситуации на различных единицах технологического оборудования;

3) множественность сценариев развития аварийной ситуации;

4) возможность быстрой остановки и локализации аварийной ситуации в пределах одного аппарата, технологического модуля или блока.

В непрерывных производствах к специфическим особенностям можно отнести:

– наличие первичных технологических отказов, связанных с функционированием производства, и причин, их вызывающих; организационно-технологических отказов, обусловленных прекращением подачи сырья, пара, электроэнергии и т. п.;

– развитие аварийной ситуации, вызванной одним или несколькими отказами по множеству сценариев;

– возможность управления безопасностью установки на различных уровнях с целью ликвидации причин, вызвавших отказ, с последующей локализацией и ликвидацией развития аварийной ситуации.

3. Количественная оценка риска по всем возможным сценариям развития аварии.

4. Выработка эффективных решений в процессе управления экологической безопасностью на основе критериев оптимизации, учитывающих, что при решении ряда экологических задач возникают ситуации, когда либо отсутствуют необходимые датчики первичной информации, либо существующие средства измерений не обеспечивают получение требуемой информации в темпе с процессом, либо в наличии имеется лишь качественная информация.

Для этого случая рассмотрим задачу многокритериальной оптимизации в постановке, когда цели, альтернативы и исходы заданы нечетко, но для которой отношения предпочтения, т. е. функция полезности, заданы четко. Для решения поставленной задачи оптимизации нужно определить и максимизировать функцию полезности  $U$  рассматриваемых альтернатив  $x$ :

$$\max \{U(z_1, z_2, \dots, z_k)\}, \quad (1)$$

где  $z_i = f_i(x \in S)$ ,  $i = 1, \dots, k$  – составляющие вектора критериев;  $S$  – множество допустимых решений.

Основной трудностью, возникающей при решении таких задач, является проблема получения математического описания функции полезности. В теории полезности функция полезности рассматривается и рассчитывается как вероятностная величина, однако для многих сложных неформализованных задач принятия

решений оценить многомерное распределение вероятности очень сложно. В работе функция полезности рассматривается не как вероятностная, а как нечеткая величина, в частности как субъективные измерения лиц, принимающих решения (ЛПР).

Многокритериальную задачу оптимизации представляем в виде иерархической декомпозиции, где множество целей обозначено  $G$ , а множество альтернатив –  $X$ . Если цели обозначены слишком сложными понятиями, их можно представить в виде иерархии более простых понятий. Элементы иерархии, т. е. цели и альтернативы, являются нечеткими множествами  $G_j$ ,  $j = 1, \dots, m$ , где  $m$  – количество целей, и  $X_r$ ,  $r = 1, \dots, n$ , где  $n$  – количество альтернатив.

Для решения данной задачи был использован метод анализа иерархий [4], предназначенный для решения многокритериальных задач с иерархическими структурами, включающими неформализованные элементы, в частности, определения функций принадлежности нечетких множеств.

Пусть требуется найти функцию принадлежности  $\mu_D(x)$  нечеткого множества  $D'$ , определяющего некоторое качественное понятие. Для этого ЛПР предлагается сравнить количественные элементы универсального множества  $X$  между собой по степени их соответствия этому качественному понятию и заполнить матрицу попарных сравнений  $A = \{a_{ij}\}$ , элементы которой  $a_{ij}$  являются оценками степени принадлежности элементов  $a_i \in X$  нечеткому множеству  $D'$  по сравнению с элементами  $a_j \in X$ . Функция принадлежности находится как собственный вектор  $\omega$  матрицы  $A$ , соответствующий ее максимальному собственному значению  $\lambda_{\max}$ :

$$A \omega = \lambda_{\max} \omega. \quad (2)$$

Если  $H$  – полная иерархия с элементом  $b$  на верхнем нулевом уровне и  $h$  уровнями,  $B_n$  – матрица приоритетов  $n$ -го уровня,  $n = 1, \dots, h$ , и  $W$  – вектор приоритетов  $p$ -го уровня относительно некоторого элемента  $z$  в  $(p - 1)$ -м уровне, то вектор приоритетов  $W$   $q$ -го уровня ( $p < q$ ) относительно  $z$  рассчитывается как  $W = B_q B_{q-1} \dots B_{p+1} W'$ , а вектор приоритетов самого нижнего уровня относительно элемента определяется следующим выражением:  $W = B_h B_{h-1} \dots B_2 W'$ .

В данном случае глобальный вектор приоритетов альтернатив (вектор приоритетов) последнего уровня можно изучать как функцию принадлежности глобальной цели решения задачи, которая, в свою очередь, может рассматриваться как функция полезности при решении многокритериальных задач в нечеткой постановке.

Для реализации последнего пункта алгоритма в экологическом модуле ERP-системы

используется подсистема поддержки принятия решений, предназначенная для обеспечения принятия решений по управлению предприятием в случае возникновения технологических отклонений и отказов, производственных и организационных нарушений, приводящих к возникновению и развитию аварийных ситуаций на предприятии. Подсистема состоит из двух частей: информационно-моделирующей и управляющей.

Информационно-моделирующая часть состоит из баз данных вычислительного эксперимента (ВЭ), моделирующего блока, предназначенного для оперативного моделирования (прогнозирования) состояния опасного промышленного объекта. По каждому цеху и установке в базах данных хранятся:

- результаты вероятностной оценки риска по каждому сценарию развития аварийной ситуации;

- итог оценок границ областей приемлемых уровней всех видов риска при различных значениях вероятностей возникновения отказов, аварийных ситуаций, факторов риска;

- результаты расчетов всех видов ущербов в натуральном выражении по существующим методикам оценки последствий аварий на опасных химических объектах;

- итог стоимостных оценок возможных (по результатам для проектируемых производств) и фактических (по результатам эксплуатации действующих производств) ущербов.

Кроме того, к базам данных ВЭ следует отнести базы данных по известным авариям на производствах и оценкам фактических ущербов этих аварий (на основе литературных и статистических отраслевых данных).

Управляющая часть включает экспертную систему (ЭС), которая состоит из баз данных экспертных систем, формируемых в зависимости от их функционального назначения, и баз знаний, содержащих методы, модели и алгоритмы принятия решений по управлению объектом. В качестве средства реализации экспертной системы использована среда CLIPS v.6.0, лучшая на сегодня для работы в реальном времени среди свободно распространяемых оболочек, разработанных на C++ [5]. Веб-ориентированные средства на базе Java (системы Exsys Corvid, JESS) являются более медленными, чем CLIPS, которая может удовлетворительно работать в реальном времени при времени реакции более 0,1 с.

Разработанный программный прототип механизма вывода для правил предметной области (около 300 производственных правил), в принципе, может обеспечивать работу с производственными системами объемом 1000–2000 правил в реальном времени [6]. Примером решения задачи планирования последовательности действий

ЛПР на нижнем уровне иерархии может служить фрагмент программы управления механизмом по переключиванию взрывоопасных изделий в стеке 1 и 2 определяется путем перечисления изделий сверху вниз. Задавая различные комбинации в deffacts initial-state, мы получим конкретные последовательности действий.

```
(deftemplate goal
  (slot move)
  (slot on-top-of))
(deffacts initial-state
  (stack A B C)
  (stack D E F)
  (goal (move C) (on-top-of E)))
(defrule move-directly
  ?goal < - (goal (move ?block1)
  (on-top-of ?block2))
  ?stack-1 < - (stack ?block1
  $?rest1)
  ?stack-2 < - (stack ?block2
  $?rest2)

  (retract ?goal ?stack-1 ?stack-2)
  (assert (stack $?rest1))
  (assert (stack ?block1 ?block2
  $?rest2))
  (printout t ?block1 "moved on
  top of" ?block2 crlf))
(defrule move-to-floor >
  ?goal < - (goal (move ?block1)
  (on-top-of object))
  ?stack-1 < - (stack ?block1
  $?rest)

  (retract ?goal ?stack-1)
  (assert (stack ?block1))
  (assert (stack $?rest))
  (printout t ?block1 "moved to
  the object" crlf))
(defrule clear-upper-block
  (goal (move ?block))
  (stack ?top $? ?block $?)

  (assert (goal (move ?top) (on-
  top-of object))))
(defrule clear-lower-block
  (goal (on-top-of ?block))
  (stack ?top $? ?block $?)

  (assert (goal (move ?top) (on-
  top-of object))))
```

Листинг. Программа управления

С целью принятия решений на разных уровнях в дальнейшем предполагается управляющую подсистему мониторингового модуля ERP-системы расширить и диверсифицировать на группу экспертных систем:

1) по технологическим нарушениям, откатам и способам их устранения. ЭС формируются согласно рекомендациям технологических регламентов производства;

2) типовым аварийным ситуациям, сценариям их развития и возможным способам их ликвидации и локализации. ЭС создаются на основе экспертных и статистических данных, полученных в результате анализа и оценки последствий аварий на аналогичных производственных объектах;

3) производственным и организационно-административным действиям по локализации и ликвидации последствий аварий. ЭС формируются на основе нормативных документов штабов ГО и ЧС различного уровня подчинения и предназначены для организации действий в условиях чрезвычайных ситуаций, а также на других уровнях управления (районном, городском и т. д.) в зависимости от масштаба аварии.

Получение первичной информации может быть возложено на соответствующие службы предприятия, в том числе на его лабораторно-информационную систему [7].

**Заключение.** Архитектура ERP-системы дополнена модулем экологического мониторинга в виде подсистем анализа производственных опасностей, оценки риска и поддержки принятия решений. Данный модуль позволяет вырабатывать эффективные решения на основе критериев оптимизации, учитывающих, что при решении ряда экологических задач возникают ситуации, когда либо отсутствуют необходимые датчики первичной информации, либо существующие средства измерений не обеспечивают получение требуемой информации в темпе с процессом, либо в наличии имеется лишь качественная информация.

Задача оптимизации решается с использованием метода анализа иерархий, который предназначен для решения многокритериальных задач с иерархическими структурами, включающими неформализованные элементы, и с учетом того, что функция полезности рассматривается не как вероятностная, а как нечеткая величина.

В качестве средства реализации экспертной системы поддержки принятия решений использована среда CLIPS v.6.0. Разработан программный прототип механизма вывода для

правил предметной области (около 300 производственных правил), обеспечивающий работу модуля в реальном времени с временем реакции более 0,1 с.

Интегрирование модуля экологического мониторинга, наряду с производственно-техническими и финансово-экономическими модулями ERP-систем управления промышленными предприятиями, сможет не только обеспечить их руководство достоверной, полноценной и своевременной информацией о технологических и экономических факторах, но и создать количественную основу для принятия решений в области экологии, что позволит более эффективно прогнозировать развитие экологической ситуации (в том числе и разрушений) на предприятии или его объектах.

### Литература

1. Баронов, В. В. Автоматизация управления предприятием / В. В. Баронов. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 239 с.

2. Советов, Б. Я. Теоретические основы автоматизированного управления: учеб. / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовский. – М.: Высш. шк., 2006. – 463 с.

3. Егоров, А. Ф. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий / А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая. – М.: Химия, КолоС, 2006. – 416 с.

4. Деменков, Н. П. Нечеткие системы экологического мониторинга и управления / Н. П. Деменков, В. А. Матвеев // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – № 1. – С. 29–32.

5. Частиков, А. П. Разработка экспертных систем в среде CLIPS / А. П. Частиков, Т. А. Гаврилова, Д. Л. Белов. – СПб.: BHV, 2003. – 608 с.

6. Барашко, О. Г. Проектирование модулей экологического мониторинга в составе ERP-систем / О. Г. Барашко, С. А. Касперович // Техника и технология защиты окружающей среды: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2006. – С. 146–147.

7. Барашко, О. Г. Перспективы использования промышленных лабораторно-информационных систем / О. Г. Барашко // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2006. – С. 46–48.