

На правах рукописи



АГАДУЛЛИНА Айгуль Ильдаровна

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Специальность:
05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (в промышленности)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа – 2014

Работа выполнена
на кафедре вычислительной техники и защиты информации
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф.
ГУЗАИРОВ Мурат Бакеевич

Официальные оппоненты: д-р техн. наук, проф.
ЧОПОРОВ Олег Николаевич
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»,
профессор кафедры систем информационной
безопасности

канд. техн. наук, доц.
НИЗАМУТДИНОВ Марсель Малихович
Институт социально-экономических
исследований Уфимского научного центра РАН,
заведующий сектором экономико-
математического моделирования

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»

Защита диссертации состоится 3 октября 2014 г. в 12⁰⁰ час.
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03 на базе ФГБОУ ВПО
«Уфимский государственный авиационный технический университет»
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО
«Уфимский государственный авиационный технический университет»
и на сайте <http://www.ugatu.ac.ru/>.

Автореферат разослан 1 сентября 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.



В.В. Миронов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Современные промышленные предприятия являются объектами повышенной экологической опасности для человека и окружающей среды (ОС). Негативные воздействия связаны как со штатным функционированием предприятий, так и с возможным возникновением чрезвычайных ситуаций и аварий на производствах, сопровождаемых сбросами в ОС загрязняющих веществ.

Обеспечение экологической безопасности на предприятии осуществляется с помощью системы экологического менеджмента (СЭМ). СЭМ – это системный подход к управлению природоохранной деятельностью предприятия, включающий в том числе контроль и сокращение негативных воздействий на ОС, анализ и управление эколого-экономическими рисками с целью предотвращения возникновения и развития аварийных ситуаций.

Одним из основных критериев результативности СЭМ является оценка экологической эффективности (ЭЭ) предприятия.

Согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 14031:2001 «Управление окружающей средой. Оценивание эффективности. Общие требования», процесс оценивания ЭЭ связан с принятием управленческих решений, относящихся к ЭЭ, с методами выбора показателей, сбора и анализа данных, оценки информации по критериям ЭЭ, периодическим пересмотром и улучшением этого процесса. Основными показателями при оценке эффективности СЭМ являются *показатели эффективности управления, показатели эффективности функционирования и показатели состояния ОС*.

Инструментом оценки эффективности СЭМ и процессов внутри нее, как правило, является экологический аудит.

Своевременность рассматриваемой темы исследования обусловлена прежде всего тем, что в последнее время экологический аудит, как внешний, так и внутренний, постепенно из инструмента контроля за соблюдением экологических норм превращается в экономический инструмент стимулирования природоохранной деятельности предприятия и повышения уровня ЭЭ. В работе рассмотрен экологический аудит, который в отличие от традиционного основан на риск-ориентированном подходе.

Важным фактором, влияющим на уровень ЭЭ промышленного предприятия, является величина эколого-экономических рисков предприятия и подготовленность предприятия к аварийным ситуациям. Кроме того, в основе СЭМ заложен принцип превентивного подхода к решению проблем, что требует разработки и внедрения предупреждающих мероприятий. В связи с этим, необходимо своевременно идентифицировать и оценивать эколого-экономические риски, выбирать соответствующие способы управления.

Таким образом, задача разработки системы поддержки принятия решений (СППР) в процессе проведения внешнего и внутреннего аудита на основе риск-ориентированного подхода для управления ЭЭ предприятия, которая позволит оценивать, эффективно управлять и обеспечивать необходимый уровень ЭЭ, является актуальной.

Степень разработанности темы исследования

Вопросам разработки методик оценивания ЭЭ посвящены труды российских и зарубежных исследователей: Б. В. Боравского, Е. В. Берстень, В. В. Жукова, П. А. Короткова, М. М. Рединой, А. П. Хаустова, R. N. L. Andrews, S. D. Edwards, I. K. Hui, S. Maier, G. Munda, I. M. Rashed и др. Значительный вклад в разработку и совершенствование методики проведения экологического аудита внесли Т. В. Гапоненкова, С. Ю. Дайман, Н. А. Страхова, С. В. Хачумов и др. Вопросы экологической поддержки принятия решений и проблемы управления эколого-экономическими рисками отражены в работах И. Т. Балабанова, В. Е. Гвоздева, А. Ф. Егорова, В. Г. Крымского, М. А. Николаевой, С. В. Павлова, И. М. Потравного, Т. А. Савицкой, Н. П. Тихомирова, Р. З. Хамитова и др. ученых.

Однако, несмотря на значительный объем исследований в данной научной области, в указанных работах в недостаточной степени рассмотрены вопросы обеспечения поддержки принятия решений и разработки риск-ориентированного аудита, механизмы которых могут быть использованы при управлении ЭЭ промышленного предприятия.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является СППР при управлении ЭЭ промышленного предприятия.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы риск-ориентированного подхода при проведении внешнего и внутреннего экологического аудита промышленного предприятия.

Целью диссертационной работы является повышение уровня ЭЭ промышленного предприятия за счет использования СППР в процессе проведения экологического аудита.

Для достижения поставленной цели требуется решить **задачи**:

1. Разработать структуру СППР управления ЭЭ промышленного предприятия с применением риск-ориентированного экологического аудита.
2. Разработать алгоритм качественной оценки уровня ЭЭ промышленного предприятия с учетом соответствия плановым и целевым показателям.
3. Разработать методику количественной оценки уровня ЭЭ промышленного предприятия с учетом влияния показателей состояния ОС на этапе проведения риск-ориентированного аудита.
4. Разработать алгоритм выбора способа повышения уровня ЭЭ промышленного предприятия, показателя эффективности экологического управления: а) решить задачу снижения эколого-экономического риска с помощью формирования превентивных мероприятий; б) разработать модель страхования с учетом показателей эколого-экономического риска.

5. Разработать программный прототип СППР при проведении внешнего и внутреннего экологического риск-ориентированного аудита, исследовать эффективность предложенного подхода на промышленном предприятии с учетом реальных условий.

Научная новизна результатов работы

1. Структура СППР управления ЭЭ промышленного предприятия, в основу которой, в отличие от известных, положена технология риск-ориентированного аудита, что позволяет ЛПП оценивать уровень ЭЭ и принимать обоснованные решения.

2. Алгоритм качественной оценки уровня ЭЭ промышленного предприятия на основе модифицированного ROC-анализа как инструмент сравнительного анализа и классификации для аудиторской компании, который в отличие от известных, позволяет определить класс ЭЭ предприятия с учетом оценки соответствия выбранным плановым и целевым показателям.

3. Методика совокупной оценки уровня ЭЭ промышленного предприятия на основе риск-ориентированного подхода при проведении как внешнего, так и внутреннего аудита, которая, в отличие от известных, позволяет уточнить качественную оценку уровня ЭЭ с учетом показателя эколого-экономического риска предприятия. Разработанная методика включает:

а) адаптацию метода на основе нечеткого подхода для идентификации и определения существенных экологических аспектов (ЭА), позволяющую оценить значимость аспектов с учетом различных типов исходных данных;

б) адаптированные байесовскую иерархическую модель и логико-вероятностный метод для оценки риска ЭА, которые позволяют оценить значимость и меру влияния инициирующих событий.

4. Алгоритм выбора способа повышения уровня ЭЭ на основе информации о классе ЭЭ предприятия, в зависимости от уровня эколого-экономического риска и базы правил. В качестве способа повышения уровня ЭЭ предложены:

а) методы снижения рисков с помощью формирования превентивных мероприятий на основе многокритериальной ранговой оценки и модели стохастического программирования, которые позволяют обеспечить максимальную эффективность вложений при заданном бюджетном ограничении и повысить обоснованность принимаемых решений;

б) метод определения рисковой составляющей брутто-премии как результат предстрахового аудита и экспертизы, обосновывающий рекомендации по размеру премии при страховании эколого-экономических рисков.

Теоретическая и практическая значимость

Практическую значимость работы представляют следующие результаты.

Разработано программное приложение, реализующее предложенный комплекс моделей, методов и алгоритмов, применение которого позволит повысить эффективность принятия решений при проведении экологического аудита.

Результаты экспериментальных исследований эффективности предложенного подхода к управлению ЭЭ и поддержки принятия решений с использованием разработанного программного обеспечения показывают сокращение времени проведения аудита и соответственно принятия решения об уровне ЭЭ в 2,5 раза, повышение качества принимаемых решений за счет снижения эколого-экономических рисков на 20 %.

Практическая значимость результатов подтверждается актами внедрения в ГУП «Научно-исследовательский институт безопасности жизнедеятельности» Республики Башкортостан, ООО «Радэк», в учебный процесс ФГБОУ ВПО «УГАТУ».

Методология и методы исследования

При проведении диссертационного исследования были использованы методы системного анализа, теории управления, теории вероятностей и математической статистики, теории принятия решений, эконометрического анализа, методов экспертных оценок. При разработке программного обеспечения использовались SADT-методология.

На защиту выносятся:

1. Структура СППР проведения риск-ориентированного экологического аудита в качестве инструмента оценки и управления ЭЭ промышленного предприятия.

2. Алгоритм качественной оценки уровня ЭЭ промышленного предприятия на основе модифицированного ROC-анализа.

3. Методика количественной оценки уровня ЭЭ промышленного предприятия для проведения внутреннего и внешнего риск-ориентированного аудита, включающая: а) оценку значимости ЭА на основе нечеткого подхода в многокритериальной оценке; б) оценку вероятности возникновения неблагоприятного события на основе байесовской иерархической модели и логико-вероятностного метода.

4. Алгоритм выбора способа повышения уровня ЭЭ предприятия в зависимости от значения эколого-экономического риска и класса ЭЭ, включающий: а) процедуры снижения риска за счет формирования оптимального набора превентивных мероприятий на основе многокритериальной оценки и реализации модели стохастического программирования; б) метод определения рисков составляющей брутто-премии при страховании эколого-экономических рисков.

5. Программное обеспечение СППР, реализующее комплекс моделей, методов и алгоритмов, результаты анализа эффективности предложенного подхода.

Достоверность и апробация полученных результатов

Основные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались на следующих конференциях и семинарах: 1-я Международная научно-практическая конференция «Современное социально-экономическое развитие: проблемы и перспективы», Волгоград, 2010; 12-я – 15-я Международные конференции «Компьютерные науки и информационные технологии», Москва – С. Петербург, 2010; Гармиш-Партенкирхен, Германия, 2011; Уфа – Гамбург – Норвежские фьорды, 2012; Вена – Будапешт – Братислава, 2013; 16-я Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении», Санкт-Петербург, 2012; XL юбилейная конференция «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования» и 20 семинар «Экология. Экономика. Информатика», Ростов-на-

Дону, 2012; 3-я международная конференция «Информационные технологии и системы», Банное, 2014.

Публикации

Основные положения и результаты исследований по теме диссертации опубликованы и непосредственно отражены в 9 публикациях, из них 3 – в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Связь темы исследования с научными программами

Работа является частью научных исследований, выполненных в рамках научно-исследовательской работы по теме «Алгоритмическое и программное обеспечение поддержки принятия решений в задачах управления сложными социально-экономическими системами при наличии слабо структурированных данных».

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы. Объем основной части диссертации составляет 131 страницу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, положения, выносимые на защиту, указана научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе с помощью системного подхода проведен анализ процессов оценки и управления ЭЭ промышленных предприятий.

В процессе проведения исследований, связанных с разработками методик оценки ЭЭ предприятия, основное внимание уделено проблеме выбора критериев, характеризующих экологическую деятельность предприятия и оценке показателей ЭЭ.

Анализ известных подходов к управлению ЭЭ промышленного предприятия, изложенных в методиках, показал, что, как правило, способы оценки ЭЭ содержат прямые методы подсчета интегрального показателя и не учитывают величину эколого-экономических рисков предприятия. Также недостаточное внимание уделяется обоснованности рекомендаций при выборе способов повышения уровня ЭЭ промышленных предприятий.

Анализ существующих моделей и методов проведения экологического аудита и управления эколого-экономическими рисками как инструментов оценки ЭЭ предприятий выявил, что управление экологическими рисками и экологический аудит на предприятии проводятся отдельно, и как следствие, отсутствуют единая методика, системный подход, взаимодействие служб управления рисками и подразделений аудита.

Анализ существующего программного обеспечения показал, что для управления и построения рейтинга предприятий по уровню ЭЭ применяются, в основном, анкетирование и балльная методика.

В связи с этим делается вывод о необходимости разработки системы, обеспечивающей поддержку принятия решений в процессе проведения внешнего и внутреннего аудита на основе риск-ориентированного подхода для управления ЭЭ предприятия.

Вторая глава посвящена разработке СППР в процессе проведения экологического аудита для повышения уровня ЭЭ промышленных предприятий.

Разработана функциональная модель СППР, основанная на применении SADT-методологии, использование которой позволяет обоснованно выбрать состав и функции основных модулей системы.

При разработке функциональной модели процесса управления ЭЭ на основе риск-ориентированного аудита были выделены следующие основные функции: качественная оценка уровня ЭЭ, количественная оценка уровня ЭЭ, выработка рекомендаций по повышению уровня ЭЭ и оценка эффективности предложенных рекомендаций, реализация комплекса превентивных мероприятий по повышению уровня ЭЭ.

На рисунке 1 представлена структура СППР при управлении ЭЭ промышленных предприятий.

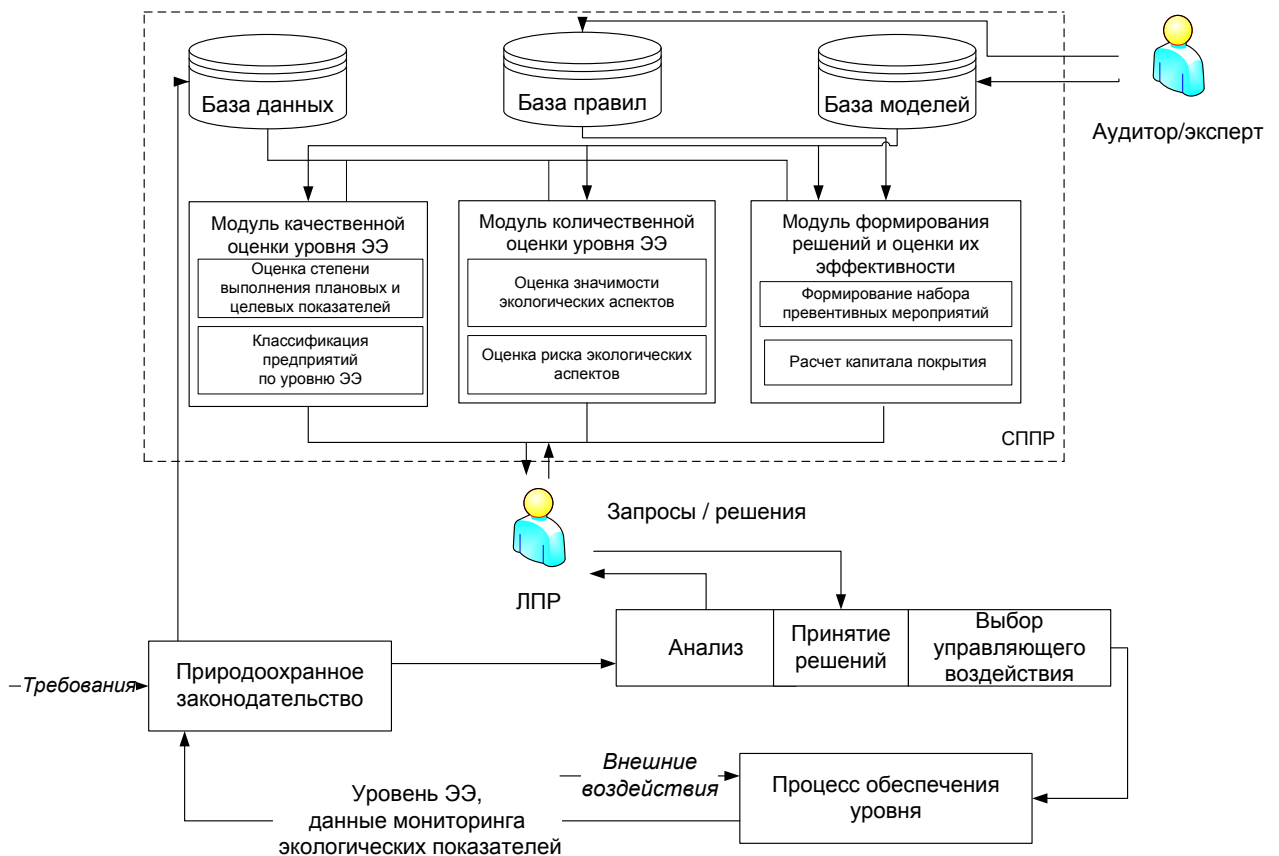


Рисунок 1 – Структура СППР при управлении ЭЭ

Третья глава посвящена разработке моделей и методов проведения экологического аудита для реализации СППР, описанной во второй главе. В таблице 1 показана взаимосвязь этапов экологического аудита с этапами риск-анализа.

Таблица 1 – Основные этапы, методы и алгоритмы проведения экологического риск-ориентированного аудита

Этапы экологического аудита на основе риск-ориентированного подхода	Математические методы, используемые на различных этапах экологического аудита
<p>Этап проведения экологического аудита включает</p> <ul style="list-style-type: none"> • проверку на соответствие стандартам, оценку экологических показателей деятельности предприятия; • качественную оценку уровня ЭЭ предприятия; • идентификацию и оценку значимости ЭА; • оценку риска ЭА: <ul style="list-style-type: none"> • оценивается вероятность превышения нормативных показателей ЭА; • определяется размер возможного ущерба от превышения воздействия ЭА на ОС; • определение наиболее вероятного источника загрязнения; • количественную оценку уровня ЭЭ предприятия. 	<ul style="list-style-type: none"> • шкалирование, скоринг; • Receiver operating characteristic (ROC-анализ); • метод многокритериальной оценки NAIADE; • логико-вероятностный метод, • байесовская иерархическая модель; • байесовские сети доверия; • логико-вероятностный метод.
<p>Этап аудиторского отчета и заключения включает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • выводы о степени соответствия предприятия плановым и целевым показателям; • выводы о качественной и количественной оценке уровня ЭЭ предприятия и способах повышения уровня ЭЭ; • разработку рекомендаций по снижению негативного воздействия на ОС: <ul style="list-style-type: none"> • разработку модели страхования с учетом показателей риска ЭЭ; • формирование набора превентивных мероприятий; • выбор инвестиционного проекта для повышения уровня ЭЭ; • расчет капитала, необходимого для покрытия катастрофических убытков. 	<ul style="list-style-type: none"> • методика определения рисков составляющей брутто - премии; • модель стохастического программирования; • метод многокритериальной оценки; • вершина сверхпорога.

Задача качественной оценки ЭЭ предложена как инструмент сравнительного анализа аудиторской компании для предварительной классификации предприятий по уровню ЭЭ.

Качественная оценка ЭЭ предприятия связана с экологической состоятельностью предприятия и включает показатели управления, функционирования, оценки состояния ОС, которые проверяются аудитором на соответствие плановым и целевым показателям.

Дано: требования аудиторской компании к n классам ЭЭ (1 класс: $R < R_1$, 2 класс: $R < R_2, \dots$, n класс: $R \geq R_{n-1}$, где R – категория опасности предприятия, R_1, \dots, R_{n-1} – ограничения на значения R для классов эффективности); данные по

выборке предприятий (r_i – значение величины R для i -го предприятия, $i = \overline{1, N}$, N – количество предприятий в выборке, z_i – число показателей).

Требуется: определить предварительный уровень ЭЭ предприятия и пороговые значения для классификации предприятий.

Алгоритм:

Шаг 1 Проверка СЭМ предприятия на соответствие целевым и нормативным показателям.

Интегральная оценка соответствия СЭМ i -го предприятия нормативным и целевым показателям рассчитывается как

$$G_i = v_{li} * \kappa_{li} + \dots + v_{zi} * \kappa_{zi},$$

где z_i – число показателей; v_{zi} – значимости целевых и нормативных показателей; κ_{zi} – степень соответствия целевым и нормативным показателям конкретного предприятия.

Шаг 2 Классификация предприятия по уровню ЭЭ.

С помощью модифицированного метода ROC-анализа осуществляется классификация уровня ЭЭ предприятий по пяти классам.

Шаг 2.1 Выбор критериев разделения предприятий на классы.

В качестве критерия принадлежности к классу предлагается использовать показатель «категории опасности предприятия».

Шаг 2.2 Формирование гипотезы принадлежности предприятия к определенному классу.

Шаг 2.3 Проверка гипотезы и определение пороговых значений для классификации по уровню ЭЭ.

Проверяется гипотеза принадлежности к классу для всех пороговых значений из интервала $h_j \in (h_{\min}, h_{\max})$, где h_j – пороговые значения, множество значений G_i (количество баллов, набранных i -ым предприятием) для выборки из N предприятий, j – номер порогового значения, $h_{\min} = \min_{i=1, N} G_i$, $h_{\max} = \max_{i=1, N} G_i$.

Рассчитывается количество истинноположительных a_j , ложноположительных b_j , ложноотрицательных c_j , истинноотрицательных d_j прогнозов при классификации предприятий.

Определяется пороговое значение, при котором ошибка отнесения к классу по уровню ЭЭ будет минимальной:

$$s_1 = \{h_j: \min_j (b_j + c_j)\},$$

где s_1 – пороговое значение между первым и вторым классами.

Шаг 2.4 Построение ROC-кривой для иллюстрации качества шкалы скоринга и качества классификации.

Для построения ROC-кривой используются показатели чувствительности и специфичности:

$$\text{Sensitivity } y_j = \frac{a_j}{a_j + c_j}, \text{ Specificity } y_j = \frac{d_j}{b_j + d_j}.$$

Задача количественной оценки уровня ЭЭ решена для уточнения качественной оценки с целью итоговой классификации предприятий по классам ЭЭ с учетом совокупного эколого-экономического риска.

Совокупный эколого-экономический риск предприятия (системы) рассматривается как сумма рисков процессов предприятия:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i, \quad (1)$$

где R_i – риск i -го процесса, n – количество процессов.

Под риском i -го процесса понимается сумма рисков, связанных с ЭА данного процесса. Под риском ЭА понимается математическое ожидание ущерба от превышения нормативного показателя воздействия ЭА на ОС.

Если ЭА процессов несовместны, то:

$$R_i = \sum_{j=1}^{L_i} r_{ij}, \quad (2)$$

где r_{ij} – риск j -го ЭА i -го процесса, $j = \overline{1, L_i}$; L_i – количество ЭА i -го процесса.

Риск ЭА рассчитывается по формуле:

$$r_{ij} = p_{ij} * u_{ij}, \quad (3)$$

где p_{ij} – оценка вероятности превышения нормативного показателя для j -го ЭА i -го процесса; u_{ij} – оценка ущерба от превышения нормативного показателя воздействия j -го ЭА i -го процесса.

При одновременном воздействии на ОС нескольких загрязняющих веществ, вероятность превышения нормативного показателя для двух совместных ЭА можно рассчитать по следующей формуле:

$$p_{ij} = p_{i1} + p_{i2} - p_{i1} * p_{i2}. \quad (4)$$

Дано: n – количество процессов предприятия; L_i – количество ЭА i -го процесса; K – количество критериев для сравнения ЭА; данные мониторинга X_{ij}^d , где $d = \overline{1, D}, j = \overline{1, L_i}, i = \overline{1, n}$, D – количество наблюдений; Z_j – тип воздействия j -го ЭА на ОС; Y_j – рекомендованный уровень (нормативный показатель) воздействия j -го ЭА на ОС.

Требуется: построить рейтинг аспектов по степени значимости, оценить совокупный эколого-экономический риск системы R , совокупный уровень ЭЭ предприятия.

Для решения задачи количественной оценки уровня ЭЭ разработана методика, состоящая из следующих этапов: идентификации и оценки значимых ЭА; оценки рисков наиболее значимых ЭА; оценки совокупного риска предприятия; расчет показателя «совокупный риск / производственные затраты»; классификации предприятий по уровню ЭЭ.

Алгоритм:

Этап 1 Идентификация и оценка значимости ЭА.

Рассматривается многокритериальная задача оценки степени значимости ЭА с помощью метода NAIADЕ, которая включает следующие процедуры:

1. определение для каждого критерия ЭА порогового значения (фиксированного значения, определяющего условия, при которых один ЭА превосходит другой), типа переменной (четкий количественный, нечеткий количественный, лингвистический), положительной или отрицательной направленности;
2. вычисление семантического расстояния (разницы между значениями альтернатив);
3. расчет индексов интенсивности предпочтений (степени предпочтения одного ЭА над другим по каждому критерию):

$$\mu_{><}(\delta) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta \leq 0, \\ \frac{1}{1 + \frac{t_{><}^2}{\delta^2}}, & \text{если } \delta > 0, \end{cases}$$

где $\mu_j^i(\delta) = \mu_j^i(A, B) = \mu_j^i(S_\delta(A_i, B_i))$ – индекс отношения предпочтения для j -го отношения предпочтения между аспектами A и B по i -му критерию; δ – семантическое расстояние между аспектами A и B ; t_j – пороговое значение для j -го отношения предпочтения;

4. расчет совокупного отношения предпочтения (степени предпочтения одного ЭА над другим по всем критериям):

$$\mu_j(A, B) = \sum_{i=1}^n \max(\mu_j^i(A, B) - \alpha, 0) / \sum_{i=1}^n |\mu_j^i(A, B) - \alpha|,$$

где α – мера консервативности, в соответствии с которой рассматриваются только те отношения предпочтения, индекс которых больше, чем α ; n – количество критериев;

5. расчет энтропии:

$$H_j(A, B) = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_{j,H}^i(A, B) \log_2 \mu_{j,H}^i(A, B) + (1 - \mu_{j,H}^i(A, B)) \log_2 (1 - \mu_{j,H}^i(A, B)),$$

$$\text{где } \mu_{j,H}^i(A, B) = \begin{cases} 0, & \text{если } \mu_j(A, B) - \alpha \leq 0, \\ \mu_j^i(A, B), & \text{в остальных случаях;} \end{cases}$$

$\mu_j^i(A, B)$ – индекс интенсивности предпочтений i -го критерия;

6. расчет положительного и отрицательного потоков
- $$\Phi^+(A) = \sum_{i=1}^{N-1} \min(\mu_{\geq}(A, i), C_{\geq}(A, i)) + \min(\mu_{>}(A, i), C_{>}(A, i)) / \sum_{i=1}^{N-1} C_{\geq}(A, i) + C_{>}(A, i),$$
- $$\Phi^-(A) = \sum_{i=1}^{N-1} \min(\mu_{\leq}(A, i), C_{\leq}(A, i)) + \min(\mu_{<}(A, i), C_{<}(A, i)) / \sum_{i=1}^{N-1} C_{\leq}(A, i) + C_{<}(A, i),$$
- где $C_{\geq}(A, i) = 1 - H_{\geq}(A, i)$.

7. определение итогового ранжирования ЭА.

Порог значимости для ЭА определяют аудиторы совместно со специалистами предприятия, ответственными за организацию СЭМ.

Этап 2 Оценка рисков наиболее значимых ЭА.

Этап 2.1 Оценка вероятности превышения нормативных значений ЭА с помощью логико-вероятностного метода.

Оценка вероятности превышения нормативного ЭА рассчитывается с помощью логико-вероятностного метода, который включает следующие этапы:

- 1) построение функции алгебры логики с использованием операций конъюнкции и дизъюнкции на основе сценариев превышения воздействий ЭА;
- 2) построение вероятностной функции на основе функции алгебры логики;
- 3) расчет вероятности p_{ij} превышения нормативного показателя воздействия на ОС с помощью вероятностной функции.

Этап 2.2 Оценка вероятности превышения нормативных значений ЭА на основе байесовской иерархической модели.

Байесовская иерархическая модель позволяет оценить значимость и меру влияния неблагоприятного события (превышения норматива воздействия ЭА) на общий риск предприятия, учитывая полученные оценки параметров апостериорного распределения:

Для оценки вероятности превышения нормативных значений ЭА предлагается использовать общую байесовскую иерархическую модель (с двумя вероятностными уровнями):

$$p(\theta, a | x) \propto p(x | \theta)p(\theta | a),$$

где $\theta \in \Theta$ (Θ – область возможных значений параметра θ , который определяется видом закона распределения); распределение $p(\theta/a)$ – априорное распределение вероятностей возможных значений θ , при условии, что θ является случайной величиной, которая зависит от гиперпараметров a ; распределение $p(\theta, a/x)$ – апостериорное распределение значений θ при условии, что θ зависит от гиперпараметров a и наблюдались данные x ; $p(x/\theta)$ – правдоподобие модели; \propto – знак пропорциональности.

Для вычисления апостериорного распределения в данной работе используется алгоритм построения Марковской цепи по методу Монте-Карло.

Этап 2.3 Оценка ущерба от превышения воздействия ЭА на ОС.

Оценка ущерба от превышения рассчитывается как сумма ущерба ОС. Общий ожидаемый ущерб EU определяется по формуле

$$EU_i = \sum_{j=1}^{V_i} EU_{ij},$$

где EU_i – математическое ожидание общего эколого-экономического ущерба i -го процесса; EU_{ij} – математическое ожидание экологического ущерба по риску j -го ЭА i -го процесса.

Этап 3 Оценка совокупного риска.

Оценка совокупного эколого-экономического риска рассчитывается согласно формулам (1) – (4).

Этап 4 Расчет показателя «совокупный риск / производственные затраты».

Этап 5 Классификация предприятий по уровню ЭЭ.

Итоговая классификация предприятий по уровню ЭЭ определяется исходя из качественной оценки уровня ЭЭ и показателя «совокупный риск/производственные затраты» на основе правил (таблица 2).

Таблица 2 – Фрагмент базы правил

№	Правило
Rule 1	ЕСЛИ предварительный уровень ЭЭ средний И показатель «совокупный риск / производственные затраты» в диапазоне от [a,b), ТО класс ЭЭ средний и способ повышения уровня ЭЭ - аутсорсинг (степень уверенности 0,3)
Rule 2	ЕСЛИ предварительный уровень ЭЭ средний И показатель «совокупный риск / производственные затраты» в диапазоне от [a,b), ТО класс ЭЭ средний и способ повышения уровня ЭЭ – сокращение риска (степень уверенности 0,7)
...	...

Задачи управления ЭЭ за счет снижения эколого-экономических рисков

На этапе управления ЭЭ предложены методы повышения показателя эффективности управления за счет снижения эколого-экономических рисков.

Дано: K – количество превентивных мероприятий, характеризующихся стоимостью $c_k, k = \overline{1, K}$; M – количество иницирующих событий; Δq_{km} - мера влияния мероприятия k на значимость иницирующего события m , (изменение частоты (в долях) возникновения иницирующего события m в результате включения мероприятия k в перечень мероприятий для реализации); $w(q_m)$ – значимость иницирующего события с учетом его вклада в превышение нормативного показателя воздействия ЭА на окружающую среду (мера влияния иницирующего события на вероятность превышения нормативного показателя); β_0 – бюджетное ограничение.

Требуется: сформировать набор превентивных мероприятий.

Задача формирования набора превентивных мероприятий на основе многокритериальной оценки

Задача выбора набора превентивных мероприятий рассматривается как задача выбора лучшего инвестиционного проекта. Сами проекты предлагается сравнивать с использованием многокритериальной ранговой оценки.

Алгоритм:

Шаг 1 Формирование инвестиционных проектов I из наборов превентивных мероприятий K с учетом бюджетного ограничения β_0 .

Шаг 2 Выбор основных критериев T для оценки инвестиционных проектов.

В работе под расходами проекта понимаются расходы на повышение уровня ЭЭ, то есть суммарная стоимость превентивных мероприятий, входящих в проект, а под доходами – изменение эколого-экономического риска в результате внедрения превентивных мероприятий, входящих в проект.

Изменение риска вычисляется как разность между базовым эколого-экономическим риском предприятия (1) – (4) (риском до внедрения превентивных мероприятий) и остаточным риском (оценкой риска, полученной с учетом внедрения превентивных мероприятий).

Шаг 3 Выбор лучшего инвестиционного проекта на основе многокритериальной ранговой оценки.

Шаг 3.1 Ранжирование критериев по степени важности $B_j, j = \overline{1, T}$.

Шаг 3.2 Расчет нормированных значений весовых коэффициентов каждого критерия \tilde{w}_j :

$$\tilde{w}_j = 1 - \frac{B_j - 1}{T} \bigg/ \sum_{t=1}^T \left(1 - \frac{B_t - 1}{T}\right), j = \overline{1, T}.$$

Шаг 3.3 Ранжирование проектов по степени важности, $B_{ji}, i = \overline{1, I}; j = \overline{1, T}$ - ранги проектов по критериям.

Шаг 3.4 Определение нормированных оценок каждого проекта по всем критериям \tilde{Z}_{ji} :

$$\tilde{Z}_{ji} = 1 - \frac{B_{ji} - 1}{I} \bigg/ \sum_{n=1}^I \left(1 - \frac{B_{jn} - 1}{I}\right).$$

Шаг 3.5 Расчет обобщенного критерия для каждого инвестиционного проекта Z_i :

$$Z_i = \sum_{j=1}^T \tilde{w}_j * \tilde{Z}_{ji}.$$

Шаг 3.6 Построение рейтинга проектов в соответствии со значениями обобщенных критериев и/или выбор лучшего проекта.

Задача формирования набора превентивных мероприятий на основе модели стохастического программирования

Пусть c_k – стоимость превентивного мероприятия ($k = \overline{1, K}$, K – количество превентивных мероприятий) и β_0 – бюджетное ограничение, непрерывные случайные величины, принимающие значения из соответствующих интервалов, тогда данная задача сводится к задаче стохастического программирования, представляющей собой M -модель с построчными вероятностными ограничениями (5).

Целевой функции соответствует максимальное изменение совокупного риска системы ЭЭ.

Задача формирования перечня превентивных мероприятий сводится к поиску оптимального вектора: $(\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_K)^K$:

$$\Delta R = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{L_i} \Delta p_{ij} * u_{ij} \right) \rightarrow \max \text{ при } P \left\{ \sum_{k=1}^K c_k \zeta_k \leq \beta_0 \right\} \geq \alpha, \zeta_k \in \{0, 1\}, k = \overline{1, K}, \quad (5)$$

где α – вероятность соблюдения условий (не превышение определенного порога); p_{ij} – оценка вероятности возникновения неблагоприятного события (превышения норматива воздействия ЭА на окружающую среду); Δp_{ij} – изменение вероятности возникновения неблагоприятного события; u_{ij} – оценка ущерба от реализации неблагоприятного события.

Показано, что задача формирования перечня превентивных мероприятий в стохастической постановке сводится к детерминированной задаче линейного

программирования, которая решается полным перебором на множестве бинарных векторов длины K .

Задача разработки модели страхования с учетом показателей риска ЭЭ

Для страхования эколого-экономических рисков предприятия предлагается рассчитывать страховую премию с учетом риска и индивидуальных характеристик объекта:

$$B = \frac{R}{1 - H},$$

где B – страховая премия, R – математическое ожидание ущерба от наступления страхового случая, H – нагрузка. Рисксовая составляющая в брутто-премии – это совокупный эколого-экономический риск предприятия (1) – (4).

Четвертая глава посвящена практической реализации риск-ориентированного аудита для управления ЭЭ промышленных предприятий.

Разработан прототип программного обеспечения поддержки принятия решений при проведении экологического аудита промышленных предприятий на основе предложенных моделей, методов, а также разработанных алгоритмов.

Для проведения численного эксперимента и оценки эффективности разработанного программного средства был проведен внутренний и внешний риск-ориентированный аудит на асфальтобетонном заводе.

В результате работы программы:

1. Оценен предварительный уровень ЭЭ асфальтобетонного завода на соответствие плановым и целевым показателям согласно алгоритму качественной классификации, в результате которого предприятие относится ко второму классу «средней эффективности».

2. Выявлены 14 наиболее значимых ЭА процессов асфальтобетонного завода на основе метода NAIADЕ с учетом различных типов исходных данных.

3. Оценены риски наиболее значимых аспектов (рис. 2), совокупный эколого-экономический риск предприятия на основе логико-вероятностного метода, сделан вывод об уровне ЭЭ асфальтобетонного завода, по результатам которого предприятие также относится ко второму классу ЭЭ.

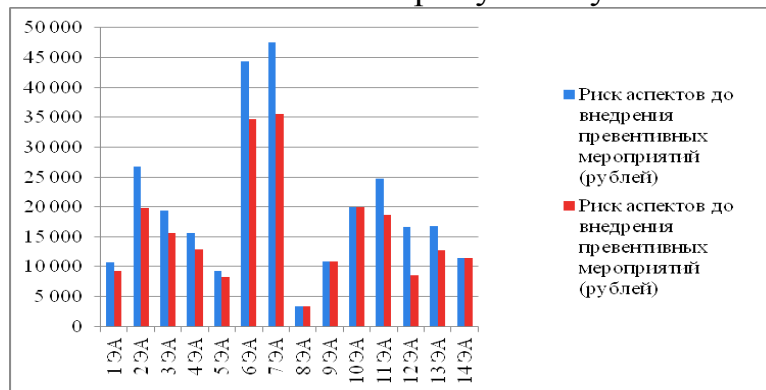


Рисунок 2 – Снижение риска значимых ЭА за счет внедрения превентивных мероприятий

4. По результатам оценки и анализа уровня ЭЭ асфальтобетонного завода, выбран способ управления - внедрение превентивных мероприятий (рис. 2).

Для предложенного подхода проведен анализ результатов оценки эффективности. Временные затраты на проведение экологического аудита снизились в 2,5 раза, качество принимаемых решений повысилось на 20% за счет снижения эколого-экономических рисков.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана структура СППР как инструмент риск-ориентированного аудита при управлении ЭЭ промышленного предприятия, которая позволяет комплексно оценить показатели, уровень и класс ЭЭ предприятия, сформировать набор решений и рекомендации.

2. Разработан алгоритм качественной оценки уровня ЭЭ промышленного предприятия на основе модифицированного ROC-анализа, с использованием скоринга, позволяющий оценить степень соответствия выбранным плановым и целевым показателям и определить предварительный класс ЭЭ предприятия.

3. Разработана методика совокупной оценки уровня ЭЭ промышленного предприятия на основе риск-ориентированного аудита, которая позволяет определить итоговый класс ЭЭ предприятия на основе информации о предварительном уровне ЭЭ с учетом показателя эколого-экономического риска предприятия. Разработанная методика включает: а) метод идентификации и определения значимости ЭА на основе нечеткого подхода в многокритериальной оценке; б) байесовскую иерархическую модель и логико-вероятностный метод для оценки риска ЭА, которые позволяют оценить вероятность наступления неблагоприятных событий.

4. Разработан алгоритм выбора способа повышения уровня ЭЭ с использованием правил, на основе информации о классе ЭЭ и уровне эколого-экономического риска предприятия. Для повышения уровня ЭЭ: а) решена задача снижения эколого-экономического риска за счет формирования набора превентивных мероприятий на основе многокритериальной оценки и модели стохастического программирования, позволяющая обеспечить максимальную эффективность вложений при заданном бюджетном ограничении; б) в результате проведения аудита разработан метод страхования с учетом рисковой составляющей, позволяющий дать обоснованные рекомендации по размеру премии при страховании эколого-экономических рисков.

5. Разработан программный прототип СППР, реализующий предложенные модели и алгоритмы. Использование СППР позволяет повысить эффективность проведения экологического аудита при оценке и управлении ЭЭ промышленных предприятий. Результаты экспериментальных исследований эффективности предложенного подхода к оценке и управлению ЭЭ показывают сокращение времени проведения экологического аудита и принятия решения об уровне ЭЭ в 2,5 раза, повышение качества принимаемых решений за счет снижения эколого-экономических рисков на 20 %.

Программный прототип СППР внедрен в ГУП «Научно-исследовательский институт безопасности жизнедеятельности» Республики Башкортостан, ООО «Радэк», в учебный процесс ФГБОУ ВПО «УГАТУ».

Перспективы дальнейшей разработки темы

В рамках дальнейших исследований планируется совершенствование методики количественной оценки уровня ЭЭ предприятия, алгоритма классификации предприятий для построения экологических рейтингов, а также разработка предстраховой экспертизы при добровольном страховании предприятий.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

В рецензируемых журналах из перечня ВАК

1. Модели и методы управления рисками в социально-экономических системах. / М. А. Николаева, О. Ф. Зотова, А. И. Агадуллина // Управление риском. 2013. № 3. С. 28–34.

2. Модели и алгоритмы идентификации и оценки эколого-экономических рисков / И. А. Лакман, И. Ю. Гареева, Д. М. Курбангалеева, А. И. Агадуллина // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17, № 5 (58). С. 115–121.

3. Математическое обеспечение системы поддержки принятия решений при управлении экологической эффективностью предприятия / М. Б. Гузаиров, М. А. Николаева, А. И. Агадуллина // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18, № 1 (62). С. 95–105.

Патенты и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

4. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2013661037. Система поддержки принятия решений при управлении экологической безопасностью предприятия / М. А. Николаева, А. И. Агадуллина, Р. И. Файзрахманов. М.: Роспатент. 2013.

В других изданиях

5. Анализ и управление эколого-экономическими рисками / М. А. Николаева, А. И. Агадуллина, Д. Р. Курбангалеева // Компьютерные науки и информационные технологии: тр. XII Междунар. конф. (Москва–С.-Петербург, 13–19 сент. 2010). Уфа: УГАТУ, 2010. Т. 3. С. 185–188. (Статья на англ. яз.)

6. Байесовская иерархическая модель (на примере задачи о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу) / М. А. Николаева, А. И. Агадуллина // Информационные технологии и системы: матер. 1-й междунар. конф. (Банное, 28 февр. – 4 марта 2012). Челябинск: ЧГУ, 2012. С. 82–84.

7. Альтернативный подход к оценке инвестиционных проектов в рамках гибкого механизма киотского протокола «Проекты совместного осуществления» / М. А. Николаева, А. И. Агадуллина, Л. Н. Мухамедрахимова // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф. (С.-Петербург, 27 – 29 июня, 2012). СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 63–64.

8. Информационное и методическое обеспечение системы поддержки принятия решений при управлении экологической безопасностью промышленного предприятия / М. Б. Гузаиров, А. И. Агадуллина // Информационные технологии и системы: матер. 3-й междунар. конф. (Банное, 26 февр. – 2 марта 2014). Челябинск: ЧГУ, 2014. С. 131–134.

9. О вопросах поддержки принятия решений в системе экологического менеджмента предприятия / М. Б. Гузаиров, О. Н. Сметанина, А. И. Агадуллина // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: тр. 2-й Междунар. конф. (Уфа, 18–21 мая). Уфа: УГАТУ, 2014. Т. 1, С. 175–179.

АГАДУЛЛИНА Айгуль Ильдаровна

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Специальность:
05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 11.07.2014. Формат 60×84 1/16
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 404.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12