

---

# МОДЕЛЬ ВЫБОРА ПРОЕКТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТРАТЕГИЧЕСКОГО РИСКА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ<sup>1</sup>

*А.С. Птускин, Е.В. Левнер*

Рассматривается проблема выбора проектов, направленных на снижение уровня экологического стратегического риска промышленного предприятия, реализация которых должна поддерживать соответствие запланированных и фактических стратегических экологических показателей. Для идентификации стратегических экологических рисков предложена иерархическая структура экологической стратегии предприятия. На основе методологии информационно-энтропийного подхода разработана вычислительная процедура, позволяющая определить наиболее критичные стратегические экологические показатели и производственные процессы. Построена математическая модель выбора антирисковых стратегических экологических проектов.

*Ключевые слова:* экологическая стратегия, экологический стратегический риск, информационно-энтропийный подход, выбор экологических стратегических проектов.

## ВВЕДЕНИЕ

Промышленные предприятия являются основными источниками негативных воздействий на окружающую среду, и именно на

© Птускин А.С., Левнер Е.В., 2015 г.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда и Правительства Калужской области (проект № 14-12-40003а/р).

микроуровне экологическим вопросам управления охраной окружающей среды уделяется особое внимание. В условиях все большего ужесточения законодательства, других мер, направленных на охрану окружающей среды, всеобщего роста озабоченности вопросами окружающей среды предприятия становятся все более заинтересованными в достижении экологической эффективности, контролируя воздействие своей деятельности, продукции или услуг на окружающую среду с учетом своей экологической политики и целевых экологических показателей (ГОСТ Р ИСО 14001-98). К главным интересам и стимулам предприятий в сфере охраны окружающей среды можно отнести:

- улучшение репутации;
- повышение конкурентоспособности и увеличение рыночной доли;
- улучшение отношений с властью;
- появление возможности выхода на зарубежные рынки;
- появление возможности получения статуса поставщика;
- повышение привлекательности предприятия с точки зрения условий труда;
- уменьшение стоимости кредитов и страхования;
- снижение затрат за счет снижения объемов потребления энергии и других ресурсов;
- снижение затрат на ликвидацию отходов;
- возможность продажи побочных продуктов и отходов производства;
- снижение платежей за использование ресурсов;
- снижение платежей и штрафов за загрязнение окружающей среды;
- возможность увеличить цены на экологически чистые товары.

В решении природоохранных проблем важнейшее значение имеет внедрение форм и методов управления, основанных на принципах международных стандартов систем экологического менеджмента ISO 14000. Конкретные решения по природоохранным

вопросам должны базироваться на *экологической стратегии предприятия*, целью которой является охрана и улучшение окружающей природной среды посредством использования малоотходных технологий, существенно снижающих вредное воздействие на природную среду. Ключевое значение в стратегическом процессе имеет управление риском, так как масштабы возможных отрицательных последствий стратегических решений, принятых и реализуемых без учета риска, могут быть весьма существенными. Вопросы учета риска при разработке стратегии производственного предприятия рассмотрены в работе (Качалов, 2002). Следуя логике этой работы, мы используем понятие стратегического риска как характеристику процесса и результата принятия стратегических решений: *стратегический риск – возможность таких последствий принимаемых стратегических решений, при которых поставленные стратегические цели частично или полностью не достигаются*.

Соответственно экологические стратегические риски – риски, относящиеся к экологическим стратегическим решениям. Уровень стратегического риска оценивается как мера вероятности отклонения фактически полученных значений стратегических показателей от их запланированных значений. Оценки уровня риска стратегии предприятия используются для предварительного упорядочения по критерию уровня риска вариантов стратегии или ее элементов, а также в качестве исходных данных для управления риском, т.е. при разработке мероприятий по уменьшению риска в ходе реализации стратегии.

В настоящей работе рассматривается задача выбора стратегических проектов, направленных на снижение ущерба и уровня риска в системе экологического стратегического управления промышленного предприятия. Реализация выбранных стратегических проектов должна устранить расхождение между запланированными стратегическими экологическими целями предприятия и фактически полученными результатами, т.е. повысить эффективность экологической стратегии. Под

экологическим ущербом мы понимаем экономический ущерб предприятия, связанный с нерациональным использованием природных ресурсов и загрязнением окружающей среды. Детально термины «экологический ущерб», «ущерб окружающей среде», «экономический ущерб от экологических нарушений» определены в работе (Рюмина, 2007).

Экологические стратегические проекты определяют последовательность действий и ресурсы, необходимые для достижения основных экологических показателей. Такими проектами, направленными на снижение уровня риска и ущерба в системе экологического стратегического управления промышленного предприятия, могут быть проекты:

- разработки и внедрения ресурсосберегающих и безотходных технологий;
- технологического перевооружения и вывода из эксплуатации устаревшего оборудования;
- оснащения предприятия современным природоохранным оборудованием;
- повышения эффективности использования существующих и создания новых очистных сооружений;
- экологически эффективного производства энергии, включая использование возобновляемых источников и вторичного сырья;
- внедрения систем использования вторичных ресурсов, в том числе переработки отходов;
- снижения потерь энергии и сырья при транспортировке;
- перехода к экологически безопасному транспорту;
- производства товаров, рассчитанных на максимально длительное использование.

Ключевыми из них являются те проекты, которые обеспечивают инновационный прорыв, направленный на развитие малоотходных технологий и на внедрение новых эффективных очистных мероприятий (Рюмина, 2009). Как указано в разрабатываемом проекте Федерального закона «Общий технический регламент об экологической безопасности», экология определяет новые направления раз-

вития предприятий, связанные с внедрением новых «зеленых» технологий, обеспечивающих:

- уменьшение массы загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух, сбросах в водные объекты;
- рациональное использование природных и энергетических ресурсов;
- использование малоотходных технологий, технологий повторного вовлечения отходов производства в хозяйственный оборот, обезвреживание отходов;
- выполнение требований законодательства в части запрета и регулирования использования в производстве опасных веществ и материалов, сокращения выбросов парниковых газов, условий безопасного хранения и перевозки опасных веществ и материалов.

Для создания эффективной системы стратегического экологического управления необходима объективная информация о продукции, производственных процессах, инфраструктуре и т.д. Информация должна соответствовать уровню стратегических решений, часть данных может оказаться избыточной. Объем информации необходимо ограничить, но обеспечить ее достаточный объем для правильных, не приводящих к ущербу стратегических экологических решений и минимизировать затраты на получение и обработку информации.

Выбор стратегических вариантов осуществляется из дискретного множества доступных альтернатив, формируемого в ходе процесса принятия стратегических решений. Содержательный смысл задачи выбора проектов снижения уровня риска в системе экологического стратегического управления предприятия состоит в том, что, имея информацию об отклонении фактических результатов от запланированных значений стратегических экологических целей, оценке значимости этих отклонений, процессах и объектах, являющихся основными источниками экологических проблем предприятия, наборе потенциально возможных стратегических проектов, направленных на снижение уровня экологического

риска, их стоимости и ожидаемом эффекте, общем бюджете экологических проектов, необходимо определить портфель проектов, обеспечивающих достижение стратегических экологических целевых показателей.

Предложенная схема решения задачи основана на принципах международных стандартов систем экологического менеджмента ISO 14000. Для общей задачи выбора экологических стратегических проектов мы предлагаем решение следующих частных задач:

- идентификация стратегических экологических рисков в соответствии с иерархией частных экологических стратегий;
- определение процессов, являющихся наиболее значимыми источниками экологических проблем предприятия, для чего необходимо иметь обоснованную процедуру количественной оценки значимости;
- построение математической модели выбора антирисковых стратегических экологических проектов, минимизирующих стратегические экологические риски.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

С точки зрения системно-интеграционной теории предприятия (Клейнер, 2003) стратегия предприятия связывает множество иерархически и взаимно поддерживающих друг друга частных стратегий, каждая из которых более или менее полна сама по себе и сформирована как связный элемент стратегий более высокого уровня. В работе (Клейнер, Тамбовцев, Качалов, 1997) предложена иерархия стратегий предприятия, включающая комплексную стратегию и стратегии верхнего уровня: товарно-рыночную стратегию, ресурсно-рыночную стратегию, технологическую стратегию, интеграционную стратегию, финансово-инвестиционную стратегию, социальную стратегию, стратегию управления,

стратегию реструктуризации. В (Клейнер, 2008) стратегии верхнего уровня дополнены культурной стратегией, институциональной стратегией, когнитивной стратегией, имитационной стратегией, эвентуальной стратегией. Эти стратегии в свою очередь разбиваются на ряд частных элементов стратегий.

В принципе, возможно включать экологические составляющие в указанные стратегии верхнего уровня, но, учитывая важность природоохранных проблем, представляется целесообразным дополнить этот набор экологической стратегией как самостоятельной стратегией верхнего уровня. Ее составляют стратегические решения, определяющие деятельность предприятия в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Базовые экологические стратегии, которые можно использовать в качестве стратегий первого уровня, представлены, например, в работе (Пахомова, Эндрес, Рихтер, 2003). Целесообразно выделить следующие составляющие экологической стратегии (Коржавый, Птускин, 2015): *рационального использования ресурсов* (совокупность стратегических решений, определяющих получение экологически проверенных ресурсов и их экономное расходование); *ограничения объемов выбросов и сбросов* (совокупность стратегических решений, определяющих предотвращение или уменьшение утечки вредных веществ в окружающую природную среду); *сокращения количества отходов* (совокупность стратегических решений, определяющих снижение количества отходов, их переработку и повторное использование); *сокращения уровня экологического риска* (совокупность стратегических решений, определяющих уменьшение или снижение размера последствий потенциальных опасностей нанесения ущерба окружающей среде посредством аварийного выброса загрязняющих веществ или незапланированного патологического истощения природных ресурсов); *производства безвредных продуктов* (совокупность стратегических решений, определяющих производство продуктов, ко-

торые на протяжении всего жизненного цикла не представляют вреда с точки зрения выбросов и отходов, обладают низкой долей риска).

Варианты каждой экологической стратегии первого уровня прежде всего делятся на пассивные и активные в зависимости от степени учета экологических требований и норм (Пахомова, Эндрес, Рихтер, 2003). Пассивная экологическая стратегия ограничивается выполнением существующих экологических законов, стандартов, нормативов. Активная экологическая стратегия заключается в том, чтобы противоречия между экономикой и охраной окружающей среды разрешались на более глубоком уровне, рыночные, коммерческие, природоохранные и социальные цели были согласованы. По мере их детализации возникает дерево экологических стратегий.

Стратегия рационального использования ресурсов состоит из стратегии расходования энергетических ресурсов и стратегии расходования неэнергетических ресурсов, которые в свою очередь разделяются на составляющие по видам ресурсов. Стратегия ограничения объемов выбросов и сбросов включает стратегии предотвращения и максимального снижения выбросов в атмосферу, сбросов в водоемы, сбросов в почву, предотвращения и максимального снижения допустимых физических воздействий. Стратегия сокращения отходов состоит из стратегии снижения количества отходов, стратегии переработки отходов, стратегии повторного использования отходов. Стратегия сокращения величины риска включает стратегии предотвращения технологических аварий, включающих выбросы, утечки, прорывы вредных веществ с попаданием в водные ресурсы, в атмосферный воздух, в земельные ресурсы. Стратегия производства безвредных продуктов включает стратегию использования сырья и материалов, не содержащих опасные вещества; использования малоотходных технологий, максимальное вовлечение отходов производства во вторичное использование; использования при производстве продукции веществ и материалов, разлагающихся в окружающей

среде без образования опасных загрязняющих веществ.

Указанные частные стратегии имеют свои составляющие. Например, стратегия экономного расходования полезных ископаемых разбивается на подстратегии по видам ископаемых: предотвращения и максимального снижения выбросов по типам выбросов; экономного расходования вод по типам источников водоснабжения; использования минимального количества упаковки по видам материалов упаковки; производства безвредных продуктов по номенклатуре продукции и т.д.

Приведенная иерархия позволяет структурировать и обосновать формирование и выбор экологической стратегии предприятия и набор показателей оценки экологической эффективности экологических стратегий. Как и для комплексной стратегии предприятия в соответствии с (Клейнер, 2008), в реальных условиях на основе этой иерархической структуры для конкретного предприятия формируется специфичный для него состав и выбираются варианты экологической стратегии с учетом различных внешних и внутренних факторов.

Соответствующие иерархии экологических стратегий стратегические показатели могут соответствовать показателям экологической эффективности, приведенным в (ГОСТ Р ИСО 14031-2001). Исходя из сделанного выбора стратегий, предприятие может определить показатели из обширного их перечня. Например, экологическими стратегическими показателями могут быть: количество расходуемой энергии, повторно используемой воды, выбросов, сбрасываемых веществ, отходов, перерабатываемых, рециклированных или повторно используемых материалов, уровни испускаемых излучений, шума, вибраций и т.д.

Показатели могут быть выражены в виде долей или процентов, количественных значений в единицу времени, значений, приходящихся на единицу продукции, или в виде других относительных величин. Однако мы далее будем использовать абсолютные по-

казатели. Из абсолютных показателей могут быть легко получены относительные, однако использование абсолютных значений обеспечивает следующее условие: для каждого уровня стратегий соответствующие показатели оценки экологической эффективности являются агрегированными данными. В требованиях (ГОСТ Р ИСО 14031-2001) это данные или информация одного типа, полученные из различных источников нижеследующих уровней, собранные и представленные в виде комплексного параметра. Для составляющих частных стратегий также определены соответствующие показатели оценки экологической эффективности, из которых суммируются показатели стратегий более высокого уровня.

Идентификация стратегических экологических рисков заключается в выявлении негативных отклонений фактических значений выбранных показателей от запланированных соответствующей стратегией, что свидетельствует о недостижении стратегических целей, проявлении стратегического риска, неэффективности стратегии и необходимости реализации антирисковых стратегических экологических проектов.

Далее необходимо выявить источники экологических проблем, для чего мы будем рассматривать производственные процессы предприятия, имеющие наибольшую значимость в воздействии на окружающую среду. Из информации о производственном процессе можно извлечь практически все данные, относящиеся к экологической сфере, т.е. данные по используемым материалам, расходуемой энергии, типам используемых энергоносителей, эффективности использования энергии, материальным объектам и оборудованию, входным и выходным потоками (снабжение и поставка), основной и вспомогательной продукции, отходам, выбросам и сбросам.

Стандартная классификация производственных процессов машиностроительного предприятия также имеет иерархическую структуру. Прежде всего их можно разделить на основные, вспомогательные, обслуживающие. В свою очередь к основным относятся,

например, подготовительные, преобразующие, заключительные. К вспомогательным – изготовление инструмента и оснастки, производство электроэнергии; к обслуживающим – контроль, транспортировка, складирование. Далее, например, подготовительные процессы включают процессы резки металла, штамповки заготовок и др.; заключительные – процессы сборки, испытаний и т.д.

Для каждого компонента этой структуры необходимо сформировать информационную базу данных об экологических аспектах соответствующих процессов. Вопросы создания экологических информационных систем рассматриваются, например, в (Пахомова, Эндрес, Рихтер, 2003; Цюст и др., 1997; Юсупова, Шахмаметова, Еникеева, 2008). Наличие информационной системы для обеспечения возможности получать необходимую полную, достоверную и четкую информацию является необходимым условием реализации экологической стратегии на предприятии.

Информацию об экологических проблемах и о мере реализации стратегических экологических целей позволяют получить регистрация данных обо всех происшедших негативных событиях в хозяйственной деятельности предприятия, приведших к потерям, о фактических потерях и убытках, затратах на компенсацию потерь, созданных резервах и т.п., а также статистическая обработка и анализ зафиксированных данных (Качалов, 2012).

Общие требования к использованию экологических данных и информации представлены в (ГОСТ Р ИСО 14031-2001). Частично они содержатся в экологическом паспорте промышленного предприятия, включающем данные по использованию предприятием ресурсов и определению влияния его производства на окружающую среду (ГОСТ Р 17.0.0.06-2000).

Приведем выдержки из требований (ГОСТ Р ИСО 14001-98):

«Организация должна устанавливать и поддерживать в рабочем состоянии документированные процедуры регулярного мониторинга и измерения основных характери-

стик своих операций и видов деятельности, которые могут существенно воздействовать на окружающую среду. Сюда следует отнести регистрацию информации для того, чтобы проследить за исполнением, надлежащими мерами по оперативному контролю и за соответствием целевым и плановым экологическим показателям организации»; «...процедуры идентификации, ведения и размещения зарегистрированных данных следует сосредоточить на тех данных, которые необходимы для внедрения и функционирования системы управления окружающей средой и для фиксирования объема, в каком запланированные целевые и плановые экологические показатели выполнены».

Для рассматриваемой задачи выбора экологических стратегических проектов экологическая информационная система предприятия должна содержать данные по запланированным и фактическим значениям показателей оценки экологической эффективности для всех производственных процессов. Набор показателей оценки экологической эффективности для всех стратегий и для всех процессов будет весьма значительным. Однако при решении стратегических задач необходимо уйти от подробностей и рассматривать ядро, основу объектов и процессов (Клейнер, 2008). Анализ отклонений абсолютно всех показателей по всем процессам попросту нецелесообразен; управление стратегическими экологическими рисками должно обеспечить наиболее существенные критерии, определяющие повышение эффективности экологической стратегии.

Из всей имеющейся информации следует выделить наиболее существенную, т.е. определить те элементы экологической стратегии, которые необходимо поддержать в первую очередь, и те процессы, которые наиболее критичны в отношении этих элементов. Поэтому самостоятельной задачей при решении проблемы выбора стратегических экологических проектов является определение наиболее информативных стратегических показателей и наиболее информативных процессов с точ-

ки зрения количества информации об экологических стратегических рисках.

## ЭНТРОПИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для этой задачи мы предлагаем применить методологию информационно-энтропийного подхода. Обзор работ, в которых информационная энтропия используется для оценки уровня сложности производственных систем и измерения степени неполноты знаний об их состоянии, приведен в (Левнер, Птускин, 2014; Levner, Ptuskin, 2014). Авторами информационно-энтропийный подход разработан для измерения информативности элементов различных сложных иерархических структур. В работах (Птускин, Левнер, 2012, 2014; Levner, Ptuskin, 2014) этот подход использован для сокращения размера модели цепи поставок без потери наиболее существенной информации о рисках в цепи и их экономических последствиях. В работе (Левнер, Птускин, 2014) подход применяется для упрощения структуры графа предприятия без заметной потери ее информативности, что позволило принимать решения по оптимальному выбору стратегий модернизации.

Нас интересует, какие из показателей оценки экологической эффективности стратегий являются наиболее значимыми и какие производственные процессы в наибольшей степени вызывают негативные отклонения этих показателей и соответственно будут рассматриваться как потенциальные объекты для проектов снижения уровня риска в системе экологического стратегического управления предприятием. Если мы имеем информацию о влиянии каждого процесса на каждый стратегический показатель, то уровень знаний об источниках экологических проблем предприятия будет максимальным. Однако объем такой информации избыточен, значительно увеличивает размерность задачи выбора стра-

тегических проектов и усложняет ее решение. Необходимо извлечь достаточный объем полезной информации об источниках экологических проблем и получить сокращенный перечень критичных процессов, который содержит практически ту же самую информацию (энтропию), что и полный перечень, но имеет значительно меньшую размерность. Для этого мы будем использовать энтропию как меру количества информации.

Информационная или шенноновская энтропия  $H$  для группы событий  $E = \{e_1, \dots, e_n\}$  с априорными вероятностями возникновения событий  $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ ,  $p_i \geq 0$ , таких, что  $p_1 + \dots + p_n = 1$ , определяется следующим образом (Вентцель, 1999):

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i.$$

Информационная энтропия является мерой степени неполноты и неопределенности знаний. Рост знаний о системе, т.е. уменьшение неопределенности, приводит к уменьшению энтропии системы.

Мы рассматриваем информационно-энтропийный подход к анализу стратегического экологического риска на предприятии как возможный инструмент извлечения знания о стратегических рискованных событиях. Оценка знания о риске с помощью энтропии не только позволяет количественно и точно охарактеризовать объем знания, но и дает возможность, действуя последовательно, шаг за шагом, уменьшать энтропию и увеличивать объем полезного знания.

Пусть  $n$  – число показателей с неблагоприятными значениями,  $m$  – общее число производственных процессов. По результатам стратегического контроля для каждого показателя  $i$  известна величина негативного отклонения фактического значения от запланированного стратегического значения  $D_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Как указано выше, показатели оценки экологической эффективности являются агрегированными данными, полученными из источников нижеследующих уровней, т.е. для каждого процесса по каждому показателю также зада-

но плановое и известно реально достигнутое значение. В экологической информационной системе предприятия для каждого производственного процесса  $j$  имеется набор данных  $(d_{1j}, d_{2j}, \dots, d_{ij}, \dots, d_{nj})$ , где  $d_{ij}$  – отклонение фактического значения показателя  $i$  оценки экологической эффективности от запланированного по процессу  $j$ ;  $j = 1, \dots, m$ ;  $d_{ij} = 0$ , если отклонения нет или отклонение позитивное;  $d_{ij} > 0$ , если отклонение негативное.

Определим  $p_{ij} = d_{ij} / \sum_{j=1}^n d_{ij}$  – относительную частоту случаев, когда единица негативного отклонения по показателю  $i$  вызвана влиянием процесса  $j$ . Эта величина понимается нами как оценка вероятности соответствующего события: «негативное отклонение показателя  $i$  вызвано влиянием процесса  $j$ »;

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1.$$

Тогда уровень знаний об источниках стратегических экологических проблем предприятия по показателю  $i$  оценки экологической эффективности естественно оценить через энтропию этого показателя следующим образом:

$$H_i = - \sum_{j=1}^m p_{ij} \log p_{ij}.$$

Так как часть процессов может обеспечить позитивное отклонение, суммарные негативные отклонения по всем процессам могут превышать итоговое негативное отклонение по показателю:

$$\sum_{j=1}^m d_{ij} \geq D_i.$$

Это обстоятельство мы будем учитывать при построении модели выбора антирисковых стратегических экологических проектов.

Набор показателей с неблагоприятными значениями ранжируется с учетом значимости соответствующих частных экологических стратегий. В работе (Гусев, Козьменко С., Козьменко О., 2000), в которой рассматривается проблема рационализации распределе-

ния ограниченных инвестиционных ресурсов на антикатастрофные цели между несколькими регионами некоторой территории, отмечается, что определение весовых коэффициентов – продукт группового решения. Этот этап имеет субъективный характер и определяется степенью важности отдельных интересов и стимулов предприятия в сфере охраны окружающей среды. Стратегический вес показателя  $I$  обозначим  $w_i$ ;  $0 < w_i < 1$ ;

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1; \quad i = 1, \dots, n.$$

Если система разделяется на несколько подсистем, то общая энтропия системы определяется как взвешенная сумма энтропий подсистем. На основании этого свойства определим общую энтропию по всем показателям оценки экологической эффективности как взвешенную сумму энтропий по отдельным показателям:

$$H_e = \sum_{i=1}^n w_i H_i = - \sum_{i=1}^n \left( w_i \sum_{j=1}^m p_{ij} \log p_{ij} \right).$$

Экологические показатели имеют неодинаковую размерность, т.е. измерены в разных единицах, но величина  $H_e$  определяется через оценки вероятностей, поэтому необходимости приведения показателей к сопоставимому виду нет.

При отсутствии информации о влиянии производственных процессов на показатели оценки экологической эффективности все вероятности  $p_{ij}$  равнозначны, а общая энтропия максимальна  $H_e^{\max} = \log m$ . По мере того как мы получаем данные о значениях  $p_{ij}$ , т.е. повышаем уровень знаний об источниках экологических проблем, и энтропия снижается. Если это снижение незначительное, т.е. прирост знаний о системе незначительный, дальнейшая детализация не нужна, процедура уточнения данных можно прервать. Пусть на шаге  $k$  при получении данных о влиянии очередного процесса рассчитанное значение энтропии  $H_e(k)$ . При последовательном расчете энтропии дальнейшая детализация нецелесообразна, когда относительное снижение



энтропии не превышает экспертно заданное число  $\varepsilon$ , т.е.

$$\Delta H_e(k) = \frac{H_e(k-1) - H_e(k)}{H_e(1) - H_e(k)} \leq \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – пороговое значение относительного изменения энтропии.

Поясним это на небольшом примере (см. таблицу). Пусть мы имеем  $n = 5$  показателей оценки экологической эффективности с негативными значениями и  $m = 10$  производственных процессов. Для упрощения предположим, что стратегические веса всех показателей одинаковы,  $w_i = 1/n$ ;  $i = 1, \dots, n$ .

Негативным отклонением может быть как большее фактическое по сравнению с запланированным значение показателя (например, количество расходуемой энергии, количество расходуемой воды, количество выбросов загрязнителей, уровень испускаемых излучений и т.п.), так и меньшее (например, сэкономленное в рамках проектов энергосбережения количество энергии, количество повторно используемой воды, количество восстанавливаемых или повторно используемых отходов, число выпущенных на рынок с пониженными опасными свойствами изделий и т.п.). Для иллюстрационного примера будем считать меньшее значение показателя предпочтительнее большего, т.е. негативным отклонением является превышение фактического значения по сравнению с запланированным.

Мы будем подсчитывать величину  $H_e$  начиная с первого показателя, последовательно включая данные по процессам, начиная с первого процесса и добавляя следующие один за другим. Затем перейдем ко второму показателю, и также будем добавлять данные по отклонениям по процессам, соответствующим этому показателю. И так далее до последнего показателя. Результаты показаны на рисунке. Первое значение энтропии соответствует отсутствию информации,  $H_e^{\max} = H_e(1) = \log 10 = 3,322$ . Следующие 10 значений относятся к первому показателю, следующие 10 – ко второму показателю и т.д., всего 51 значение ( $n \times m + 1$ ). Величину энтропии, соответствующую включению данных по первому процессу для первого показателя, обозначим  $H_e(2)$ , следующую –  $H_e(3)$  и т.д. до  $H_e(51)$ .

На рисунке видно, что в каждом интервале, относящемся к одному показателю, величина энтропии на определенных шагах практически перестает меняться. Это означает, что мы не получаем новых знаний об источниках отклонений экологического показателя, а значит, соответствующие процессы можно исключить из анализа по данному показателю. Если же энтропия практически не уменьшается при переходе к очередному показателю, этот показатель не имеет существенного значения и также исключается из анализа. На рисунке отмечены те шаги расчета энтропии, на которых она практически не меняется и которые можно не проводить, т.е.

Таблица  
Отклонения показателей оценки экологической эффективности

Показатель, $i$	Стратегический вес показателя, $w_i$	$D_i$	Процессы, $j$									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Отклонения показателя									
			$d_{i1}$	$d_{i2}$	$d_{i3}$	$d_{i4}$	$d_{i5}$	$d_{i6}$	$d_{i7}$	$d_{i8}$	$d_{i9}$	$d_{i10}$
1	0,2	100	10	20	10	15	25	10	0	10	0	0
2	0,2	40	0	0	20	10	0	0	5	0	5	0
3	0,2	30	0	0	10	0	20	0	0	0	0	0
4	0,2	20	0	0	0	10	0	5	5	0	0	0
5	0,2	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5

описанную процедуру можно существенно сократить.

Алгоритм определения показателей и процессов, являющихся наиболее значимыми источниками экологических проблем предприятия, можно представить следующим образом.

Шаг 1. Определить  $w_i, i = 1, \dots, n$ .

Шаг 2. Определить  $H_e(1) = H_e^{\max} = \log n$ .

Шаг 3.  $i = 1$ .

Шаг 4. Если  $i > n$ , Stop.

Шаг 5.  $k = (i - 1) m + 1$ .

Шаг 6. Задать равновероятные значения

$$p_{ij} = \frac{1}{m}; j = 1, \dots, m; \sum_{j=1}^m p_{ij} = 1.$$

Шаг 7.  $j = 1$ .

Шаг 8. Определить  $p_{ij}$ .

Шаг 9. Определить  $H_e(k)$ .

Шаг 10. Определить относительное изменение значения энтропии  $\Delta H_e(k)$ .

Шаг 11. Если  $\Delta H_e(k) < \varepsilon, i = i + 1$ , перейти к шагу 4.

Шаг 12. Зафиксировать процесс  $j$  как критичный для показателя  $i$ .

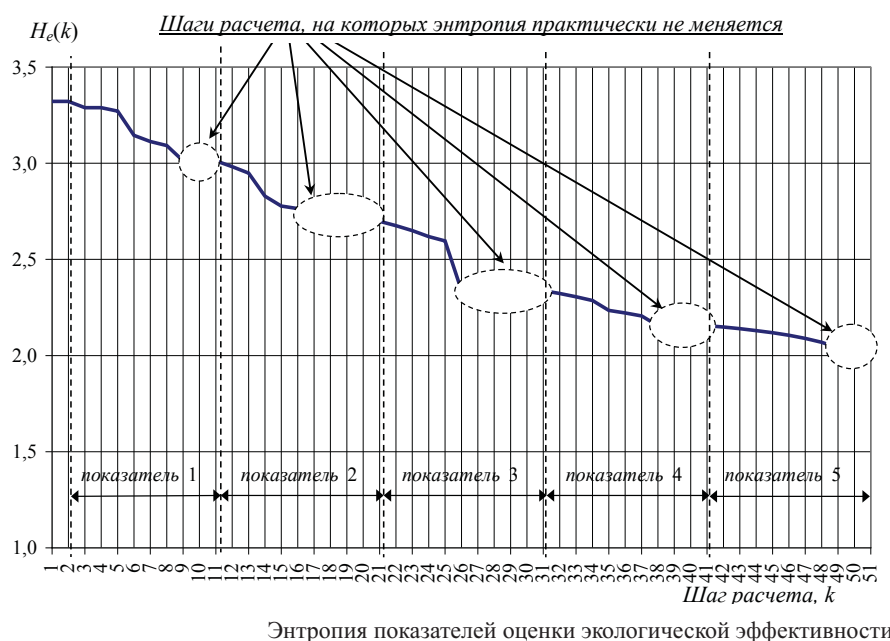
Шаг 13. Если  $j = m$ , задать  $i = i + 1$ , перейти к шагу 4.

Шаг 14.  $j = j + 1; k = k + 1$ ; перейти к шагу 8.

Предложенная схема позволяет сократить и упростить процедуру определения существенных показателей и процессов и значительно упростить задачу выбора антирисковых стратегических экологических проектов, минимизирующих стратегические экологические риски. В результате мы имеем объективно обоснованный набор наиболее значимых показателей оценки экологической эффективности стратегий и производственных процессов, для которых целесообразно реализовать проекты снижения уровня экологического стратегического риска.

## МОДЕЛЬ ВЫБОРА АНТИРИСКОВЫХ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

Для каждого критичного производственного процесса из определенных таким



образом могут быть разработаны антирисковые стратегические экологические проекты, направленные на ликвидацию отклонений по наиболее важным показателям. Безусловно, это трудоемкий и сложный этап, в результате выполнения которого для каждого потенциально возможного проекта помимо обычных проектных материалов мы можем получить информацию о его ожидаемых результатах в отношении улучшения стратегических показателей, о бюджете проекта, отношениях с другими проектами. Кроме того, известен общий бюджет всех проектов и верхняя граница бюджета проектов для каждого стратегического показателя. Задача заключается в том, чтобы сформировать оптимальный портфель антирисковых проектов, обеспечивающий максимальный прирост выбранных стратегических показателей с учетом их стоимости и ограничений по бюджету.

Обозначим  $l$  – индекс показателя,  $l = 1, \dots, L$ ;  $L$  – число наиболее значимых показателей,  $L \leq n$ ;  $k$  – индекс проекта,  $k = 1, \dots, K$ ;  $K$  – число потенциально возможных проектов.

Как указано выше, на расчет энтропии показателей оценки экологической эффективности не оказывал влияния тот факт, что экологические показатели имеют неодинаковую размерность. Однако для обеспечения общего максимального прироста значений стратегических показателей, измеренных в разных единицах, необходимо привести их к сопоставимому виду. Для этого применим метод линейного масштабирования с учетом стратегических весов показателей  $w_l$ .

Пусть  $a_{lk}$  – абсолютное изменение значения показателя  $l$  за счет реализации проекта  $k$  в выбранных для показателя единицах измерения,  $l = 1, \dots, L$ ;  $k = 1, \dots, K$ . Например, проект  $k$ , связанный с модернизацией оборудования производственного процесса  $j$ , предполагает уменьшение значения показателя  $l$  – уровня выбросов загрязнителей по процессу на величину  $a_{lk}$ . Масштабированное значение изменения показателя  $c_{lk}$  определим следующим образом:

$$c_{lk} = \frac{w_l a_{lk}}{D_l},$$

где, как определено выше,  $D_l$  – величина негативного отклонения фактического значения показателя  $l$  от запланированного стратегического значения;  $w_l$  – стратегический вес показателя  $l$ .

Введем следующие обозначения:  $b_k$  – бюджет проекта  $k$ ,  $k = 1, \dots, K$ ;  $B_l$  – верхняя граница бюджета проектов для стратегического показателя  $l$ ,  $l = 1, \dots, L$ ;  $B$  – общий стратегический бюджет всех проектов,

$$\sum_{k=1}^K b_k \geq B.$$

Каждый проект может оказывать влияние на несколько показателей, причем не исключается, что на одни показатели это влияние будет позитивным, а на другие – негативным. В последнем случае значение  $c_{lk}$  будет отрицательным. Это обстоятельство будем отображать через бинарный параметр  $r_{lk}$ , отражающий влияние проекта  $k$  на показатель  $l$ ;  $r_{lk} = 0$ , если  $c_{lk} = 0$ ; т.е. в ином случае проект  $k$  не влияет на показатель  $l$ ;  $r_{lk} = 1$ , т.е. проект  $k$  влияет на показатель  $l$ ;  $l = 1, \dots, L$ ;  $k = 1, \dots, K$ .

В модели необходимо принимать во внимание отношения между различными проектами (Виленский, Лившиц, Смоляк, 2008). Антирисковые стратегические экологические проекты могут быть независимыми, взаимоисключающими, взаимодополняющими. Для независимых проектов, когда отказ от одного не влияет на результаты и затраты других, ограничений по совместимости нет. Взаимодополняющие проекты, т.е. проекты, которые могут быть приняты или отвергнуты одновременно, должны быть сведены в единый проект. Взаимоисключающие, или альтернативные, проекты – это проекты, для которых реализация одного делает невозможной реализацию других. Отношения между проектами  $k$  и  $s$  будем представлять с использованием параметра  $p_{ks}$ ;  $k, s = 1, \dots, K$ ;  $p_{ks} = 0$ , если проекты независимы или  $k = s$ ;  $p_{ks} = 1$ , если проекты альтернативны.

Напомним, что в качестве критичных производственных процессов с применением информационно-энтропийного подхода мы отбирали процессы, в наибольшей степени вызывающие негативные отклонения стратегических экологических показателей. Как было указано выше, суммарные негативные отклонения по всем процессам могут превышать итоговое негативное отклонение по показателю, т.е.  $\sum_{j=1}^m d_{ij} \geq D_i$ .

В результате отобранные проекты, соответствующие этим процессам, могут не только обеспечить приближение реальных значений стратегических показателей к запланированным с позиций экологических стратегий, но и значительно превысить их (если цель – увеличение показателя) или значительно уменьшить (если цель – уменьшение показателя). Это, безусловно, позитивно с точки зрения экологии, но, возможно, обеспечивается за счет неоправданно высоких дополнительных затрат финансовых ресурсов.

Мы считаем, что запланированные значения стратегических показателей установлены из объективных соображений, с учетом анализа всех внешних и внутренних факторов и вполне достаточны. Если  $q$  – допустимое позитивное отклонение показателя в результате реализации проектов от планируемого значения, то для показателя  $l$  это условие можно записать в следующем виде:

$$\sum_{k=1}^K a_{lk} - D_l \leq qD_l.$$

В результате решения задачи формирования оптимального портфеля антирисковых проектов необходимо определить для каждого проекта  $k$  бинарный параметр  $x_k$ , отражающий, включен ли проект  $k$  в антирисковый портфель стратегических экологических проектов;  $x_k = 1$ , если включен;  $x_k = 0$ , если нет;  $k = 1, \dots, K$ .

Одна из основных проблем построения экономико-математической модели выбора стратегических вариантов связана с неопределенностью, нестабильностью окружающей

среды, отсутствием полной и точной информации. Эффективность классических методов системного анализа и возможности традиционного математического аппарата в отношении таких задач ограничены (Птускин, 2007, 2008а). При принятии решений о выборе антирисковых стратегических экологических проектов, относящихся к будущему, мы не имеем полной и точной информации, причем прошлый опыт не может служить достаточной базой для оценки будущего, особенно при осуществлении принципиально новых, инновационных проектов (Птускин, 2008б).

Неопределенность задачи может быть связана с тем, что часть данных трудно формализуется, а отдельные числовые параметры представлены неточно. Невозможность точного определения будущих событий сильно снижает достоверность традиционных моделей. Необходимо учитывать, что параметры  $a_{lk}$ ,  $b_k$ ,  $B_p$ ,  $B$  описываются неоднозначными характеристиками, прогнозировать их точные значения нереально. Более адекватны, например, формулировки типа: «абсолютное изменения значения показателя  $l$  за счет реализации проекта  $k$  – примерно  $X$  единиц»; «бюджет проекта – не менее  $Y$  руб.»; «верхняя граница бюджета проектов для данного стратегического показателя желательна на уровне  $Z$  руб.»; «общий стратегический бюджет всех проектов не должен значительно превышать  $V$  руб.».

Конструктивный подход к задачам выбора в условиях неопределенности предполагает, что лицо, принимающее решение, должно выбирать действия, совместимые с его ощущениями и представлениями, и эти субъективные ощущения относительно встречающихся неопределенностей необходимо включать в формальный анализ задачи. Адекватное отражение неопределенности, неполноты и неточности параметров модели достигается использованием средств теории нечетких множеств (Левнер, Птускин, Фридман, 1998). Для описания подобной категории неопределенности вводится понятие *нечеткого числа*, которое предоставляет удобное средство мо-

делирования для процессов с неоднозначными, невероятными представлениями параметров. Можно предложить естественное представление параметров  $a_{lk}$ ,  $b_k$ ,  $B_l$ ,  $B$  нечеткими числами с соответствующими функциями принадлежности.

В результате модель включает следующие ограничения:

- по общему стратегическому бюджету

$$\sum_{k=1}^K b_k x_k \leq B; \quad (1)$$

- по отношениям между проектами

$$\sum_{s=1}^K p_{ks} x_k \leq 1; \quad k = 1, \dots, K; \quad (2)$$

- по бюджету проектов для стратегического показателя  $l$

$$\sum_{k=1}^K b_k r_{lk} x_k \leq B_l; \quad l = 1, \dots, L; \quad (3)$$

- по допустимому позитивному отклонению для стратегического показателя  $l$

$$\sum_{k=1}^K a_{lk} - D_l \leq q D_l; \quad l = 1, \dots, L. \quad (4)$$

Критерий оптимизации портфеля проектов

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K c_{lk} x_k \rightarrow \max. \quad (5)$$

Задача выбора портфеля проектов снижения уровня экологического стратегического риска формулируется следующим образом: определить все  $x_k$ ;  $k = 1, \dots, K$ , обеспечивающие максимум (5) при ограничениях (1)–(4).

В данной модели  $a_{lk}$ ,  $c_{lk}$ ,  $b_k$ ,  $B_l$ ,  $B$  – нечеткие числа;  $x_k = 0 \vee 1$ ;  $k = 1, \dots, K$ ;  $l = 1, \dots, L$ . Смысл операций с нечеткими числами описан, например, в (Левнер, Птускин, Фридман, 1998).

Модель представляет блочную задачу нечеткого математического программирования рюкзачного типа с булевыми переменными. Нечеткое математическое программирование развивается для отражения неопределенности в оптимизационных за-

дачах, а соответствующие модели, в отличие от классического математического программирования, включают нечеткие параметры (Inuiguchi, Ramk, 2000). Основой вычислительного метода решения задачи может быть алгоритм, идея которого предложена в работах (Птускин, 2005; Птускин, Левнер, 2014), где системы ограничений модели несколько отличаются от предложенной в настоящей статье.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье предложена модель выбора проектов, направленных на снижение уровня экологического стратегического риска промышленного предприятия. Эффективность экологической стратегии – это категория, отражающая соответствие запланированных стратегических экологических целей фактическим. Реализация выбранных стратегических проектов должна устранить расхождение между ними. Ключевыми из таких проектов являются инновационные, связанные с внедрением новых «зеленых» технологий, обеспечивающие снижение негативных воздействий на окружающую среду.

Основой выбора стратегических проектов, обеспечивающих выполнение стратегических экологических целевых показателей, должна стать экологическая информационная система предприятия, предоставляющая данные об отклонении фактических результатов от запланированных значений стратегических экологических целей и оценке их значимости; о процессах и объектах, являющихся основными источниками экологических проблем предприятия. Количество информации необходимо ограничить, но обеспечить ее достаточный объем для правильных стратегических экологических решений и минимизировать затраты на получение и обработку информации.

Для идентификации стратегических экологических рисков предложена структура

экологической стратегии как иерархической системы, связывающей поддерживающих друг друга частные стратегии.

Для определения наиболее значимых стратегических экологических показателей и процессов, являющихся наиболее критичными источниками экологических проблем предприятия, предложена вычислительная процедура, основанная на методологии информационно-энтропийного подхода.

Построена математическая модель выбора антирисковых стратегических экологических проектов, минимизирующих стратегические экологические риски, представляющая блочную задачу нечеткого математического программирования рюкзачного типа с булевыми переменными.

В продолжение исследования представляет интерес дальнейшее развитие эффективных вычислительных методов решения этой задачи.

## Литература

- Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1999.
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. М.: Дело, 2008.
- ГОСТ Р 17.0.0.06-2000 «Охрана природы. Экологический паспорт природопользователя. Основные положения. Типовые формы».
- ГОСТ Р ИСО 14001-98 «Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению».
- ГОСТ Р ИСО 14031-2001. «Управление окружающей средой. Оценивание экологической эффективности. Общие требования».
- Гусев А.А., Козьменко С.Н., Козьменко О.В. Чрезвычайные ситуации: экономический ущерб и инвестиции в предупреждение // Экономика и математические методы. 2000. Т. 36 (1). С. 36–46.
- Качалов Р.М. Управление хозяйственным риском. М.: Наука, 2002.
- Качалов Р.М. Управление экономическим риском. М.: Нестор-История, 2012.
- Клейнер Г.Б. От теории предприятия к теории стратегического менеджмента // Российский журнал менеджмента. 2003. № 1. С. 31–56.
- Клейнер Г.Б. Стратегия предприятия. М.: Дело, 2008.
- Клейнер Г.Б., Тамбовцев В.Л., Качалов Р.М. Предприятие в нестабильной экономической среде: риски, стратегия, безопасность. М.: Экономика, 1997.
- Коржавый А.П., Птускин А.С. Иерархическая структура экологической стратегии промышленного предприятия // Контроллинг. 2015. № 1 (55). С. 62–69.
- Левнер Е.В., Птускин А.С. О выборе направлений модернизации предприятий на основе информационно-энтропийной модели хозяйственного риска решений // Экономика и математические методы. 2014. Т. 50 (2). С. 111–126.
- Левнер Е.В., Птускин А.С., Фридман А.А. Размытые множества и их применение. М.: ЦЭМИ РАН, 1998.
- Пахомова Н.В., Эндрес А., Рихтер К. Экологический менеджмент. СПб.: Питер, 2003.
- Проект Федерального закона «Общий технический регламент об экологической безопасности». URL: [www.mnr.gov.ru/files/part/4183\\_proect.doc](http://www.mnr.gov.ru/files/part/4183_proect.doc).
- Птускин А.С. Задача бюджетирования капитала с размытыми параметрами // Экономика и математические методы. 2005. Т. 41 (2). С. 95–101.
- Птускин А.С. Инвестиционная модель стратегического развития предприятия // Экономическая наука современной России. 2007. № 4. С. 44–58.
- Птускин А.С. Использование аппарата теории нечетких множеств для задач принятия управленческих решений // Экономическая наука современной России. 2008а. Экспресс-выпуск № 1 (13). С. 186.
- Птускин А.С. Нечеткие модели и методы в менеджменте. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008б.
- Птускин А.С., Левнер Е.В. Выбор антирисковых программ для уменьшения потерь в цепях поставок // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баума-

- 
- на. Серия «Машиностроение». 2014. № 3. С. 117–133.
- Птускин А.С., Левнер Е.В.* Энтропийный подход к упрощению структуры цепи поставок для выбора антирисковых стратегических решений // Экономическая наука современной России. 2012. № 4 (59). С. 76–90.
- Рюмина Е.В.* Показатель ущерба как экономический инструмент сохранения окружающей среды // Труды VII Всероссийской конференции «Теория и практика экологического страхования: устойчивое развитие». М.: ИПР РАН, 2007. С. 110–124.
- Рюмина Е.В.* Почему предприятия не хотят и не могут охранять окружающую среду: количественный анализ // Экономическая наука современной России. 2009. № 3. С. 66–74.
- Цюст Р., Шлаттер А., Фрай М., Рюэгг-Штюрем Й.* Экологическая информация на предприятии // Проблемы теории и практики управления. 1997. № 6. С. 78–82.
- Юсупова Н.И., Шахматова Г.Р., Еникеева К.Р.* Модели представления знаний для идентификации опасностей промышленного объекта // Вестник УГАТУ. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». 2008. Т. 11. № 1 (28). С. 91–101.
- Inuiguchi M., Ramk J.* Possibilistic linear programming: A brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem – An Approach to Computerized Processing of Uncertainty // Fuzzy Sets and Systems. 2000. № 111 (1). P. 3–28.
- Levner E., Ptuskin A.* An Entropy-based approach to identifying vulnerable components in a supply chain // International Journal of Production Research. 2014. DOI: 10.1080/00207543.2014.934400.

*Рукопись поступила в редакцию 25.01.2015 г.*