

-
- Holland M. (2005). Exchange rate volatility and the fear of floating in Brazil. São Paulo, Vargas Foundation São Paulo School of Economics.
- Martynov B.F. (2008). Braziliya – gigant v globaliziruyushchemsya mire. Moscow, Nauka, Institute of Latin America RAS (in Russian).
- Mirkin Ya. (2016). Rubl' reshaet vse. *Rossiyskaya gazeta*. Federal Issue, no. 7163 (295), Dec. 27, p. 4 (in Russian).
- Mirkin Ya.M. (2011). Finansovoe budushchee Rossii: ehkstremsy, bumy, sistemnye riski. Moscow, KNORUS, Geleos (in Russian).
- Politics, Policies (1984). Politics, Policies & Economic Development in Latin America. Ed. by Robert Wesson. Stanford, Hoover Institution Press, Stanford University.

Manuscript received 22.09.2017

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КРИТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА¹

А.С. Птускин, Е.В. Левнер

Передовые направления развития цепей поставок базируются на принципах экологической ответственности, акцентирующих внимание исследователей, участников и пользователей цепей поставок на вопросах защиты природы, охраны экологических систем и организации природоохранных мероприятий для устойчивого развития. В данной статье рассматривается проблема определения наиболее важных источников стратегических экологических рисков в цепях поставок. Оптимальные природопользование и ресурсопотребление позволяют уменьшить экономические потери и эколого-экономический ущерб, причиняемый окружающей среде, уменьшить количество отходов и потребность в ресурсах для промышленного использования. Решение стратегических экологически ориентированных задач управления цепями поставок, в том числе посредством разработки соответствующих математических и экономико-математических моделей, учитывающих экологические аспекты организации движения материалопотоков в

© Птускин А.С., Левнер Е.В., 2017 г.

Птускин Александр Соломонович, д.э.н., профессор Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (Калужский филиал), Калуга, artuskin@mail.ru

Левнер Евгений Вениаминович, доктор философии, профессор Холонского технологического института, Иерусалим, Израиль, levner@hit.ac.il

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области (проект № 16-12-40002а(р)).

цепях поставок, позволяет обеспечить их экологически сбалансированное функционирование. Мы предлагаем процедуру, которая дает возможность сократить размерность модели цепи поставок без существенной потери информации о стратегических экологических рисках и соответствующих потерях. Мерой знаний о наиболее важных источниках рисков в цепи поставок мы предлагаем использовать информационную энтропию. Для определения наиболее важных источников стратегических экологических рисков в цепях развивается подход, основанный на использовании информационной энтропии как меры знаний о негативных отклонениях стратегических экологических показателей. В результате строится упрощенная модель цепи поставок, сохраняющая наиболее важную информацию, относящуюся к исходной полноразмерной цепи большой размерности, и достаточно полная для принятия решений о выборе антирисковых программ, основанных прежде всего на принципах наилучших доступных технологий.

Ключевые слова: цепь поставок, стратегический экологический риск, энтропия.

JEL: C52, F15, Q53.

ВВЕДЕНИЕ

Передовые направления развития цепей поставок базируются на принципах экологической ответственности. Как отмечается в ГОСТ Р ИСО 14001-98², «различного рода организации становятся все более заинтересованными в том, чтобы добиться достаточной экологической эффективности и продемонстрировать ее, контролируя воздействие своей деятельности, продукции или услуг на окружающую среду с учетом своей экологической политики и целевых экологических показателей. Они делают это в условиях растущего ужесточения законодательства, развития экономической политики и других мер, направленных на охрану окружающей среды,

² ГОСТ Р ИСО 14001-98 «Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению».

а также в условиях общего роста озабоченности заинтересованных сторон вопросами окружающей среды, включая устойчивое развитие».

В последние годы получил распространение термин «зеленые цепи поставок» (green supply chain), акцентирующий повышенное внимание исследователей, участников и пользователей цепей поставок к вопросам защиты природы, охраны экологических систем и организации природоохранных мероприятий для устойчивого развития. Многие современные авторы считают, что «зелеными» (т.е. учитывающими природоохранные аспекты) должны быть все компоненты цепей поставок: «зеленые» производители, «зеленые» поставщики, «зеленая» логистика и т.д. (Тамбовцев, Тамбовцева, 2011; Darnall, Jolley, Handfield, 2008; Srivastava, 2007; Sarkis, 2012).

Учет экологического фактора в управлении цепями поставок приводит к уменьшению экономических потерь, снижению эколого-экономического ущерба, причиняемого окружающей среде. Оптимальное природопользование и ресурсопотребление позволяют уменьшить количество отходов и потребность в отведении земель для промышленного использования. Таким образом, решение стратегических эколого ориентированных задач управления цепями поставок (в том числе посредством разработки соответствующих математических и экономико-математических моделей), учитывающих экологические аспекты организации движения материалопотоков в цепях поставок, позволяет обеспечить их экологически сбалансированное функционирование.

Входящие в «зеленые цепи поставок» предприятия обеспечивают:

- уменьшение выбросов и сбросов загрязняющих веществ;
- рациональное использование природных и энергетических ресурсов;
- использование малоотходных технологий;
- повторное использование отходов производства;
- обезвреживание отходов;

- выполнение требований законодательства в части запрета и регулирования использования в производстве опасных веществ и материалов;

- сокращение выбросов парниковых газов;

- соблюдение условий безопасного хранения и перевозки опасных веществ и материалов.

Решение этих задач базируются на экологической стратегии. В работе (Клейнер, Тамбовцев, Качалов, 1997) предложены следующие разделы стратегии предприятия: товарно-рыночная, ресурсно-рыночная, технологическая, интеграционная, финансово-инвестиционная, социальная, управления, реструктуризации. В работе (Клейнер, 2008) они дополнены культурной, институциональной, когнитивной, имитационной, эвентуальной стратегиями. Мы считаем, что в этот перечень целесообразно включить экологическую стратегию, которую составляют стратегические решения, определяющие деятельность предприятий в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов (Птускин, Левнер, 2015).

Основной атрибут системы стратегического экологического управления цепей поставок – набор экологических показателей, которые должны соответствовать объективным условиям и процессам и быть выражены в форме, позволяющей измерить степень их реализации. Для определения таких контролируемых величин целесообразно ориентироваться на показатели экологической эффективности, приведенные в ГОСТ Р ИСО 14031–2001³. Например, ими могут быть количество расходуемой энергии, расход топлива парком транспортных средств, количество используемых ресурсов различного вида, количество выбросов, сбрасываемых веществ и отходов, уровни шума, испускаемых излучений, вибраций, количество опасных материа-

³ ГОСТ Р ИСО 14031-2001 «Управление окружающей средой. Оценка экологической эффективности. Общие требования».

лов, используемых в производственном процессе (Коржавый, Птускин, 2015; Птускин, Левнер, 2015).

Анализ рисков является неотъемлемой частью экологического управления цепями поставок. Общая интерпретация и определение экологических рисков связаны с негативными последствиями отклонений ожидаемых результатов деятельности предприятия на окружающую среду, их вероятности (возможности) и размеров воздействия. Основные источники экологических рисков и результаты влияния риска на работу цепи поставок исследованы, например, в работах (Lamming et al., 2001; Cousins et al., 2004; Handfield et al., 2005; Naini et al., 2011; Christopher, Gaudenzi, 2015).

Мы рассматриваем *стратегические* экологические риски, под которыми, следуя логике работы (Качалов, 2012), понимаем возможность таких последствий принимаемых стратегических решений, при которых поставленные стратегические экологические цели частично или полностью не достигаются. Соответственно мы считаем уровень стратегического экологического риска мерой вероятности отклонения фактически полученных значений стратегических экологических показателей от их запланированных значений.

Логика устойчивого, безопасного развития позволяет выделить следующие основные классы стратегических экологических рисков (Птускин, Левнер, 2015):

- риски превышения объемов выбросов и сбросов;
- риски неэффективного использования ресурсов;
- риски превышения количества отходов;
- риски возникновения аварийного выброса загрязняющих веществ или незапланированного патологического истощения природных ресурсов;
- риски производства экологически опасной продукции.

Управление рисками включает их выявление, т.е. выявление негативных откло-

нений фактических значений выбранных показателей, оценку рисков, определение мер снижения уровня риска. Ключевыми мерами являются инновационные программы, основанные на принципах наилучших доступных технологий. Этот термин в Федеральном законе № 219-ФЗ⁴ определяется следующим образом: «технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения».

Для выявления и оценки рисков необходимо получить и обработать значительный объем данных. Например, цепи поставок в автомобильной промышленности включают сотни предприятий (Jeeva, 2011). Обработка полного объема информации чрезмерно дорога; анализ рисков всех компонентов цепи поставок становится невозможным и нецелесообразным, кроме того, бюджет антирисковых программ ограничен. Необходимо выявить те компоненты цепи, которые являются основными источниками стратегических экологических рисков и, следовательно, главными объектами антирисковых программ, направленных на снижение уровня рисков. Такие компоненты мы называем критическими.

В данной статье мы предлагаем процедуру, которая позволяет сократить размерность модели цепи поставок без существенной потери информации о стратегических экологических рисках и соответствующих потерях. Мерой знаний о наиболее важных источниках рисков в цепи поставок мы предлагаем использовать *информационную энтропию*. Мы развиваем энтропийный подход, предложенный в работах (Птускин, Левнер, 2012, 2014; Levner, Ptuskin, 2015). Основные

отличия настоящей работы состоят в том, что мы 1) делаем акцент на стратегических экологических рисках; 2) рассматриваем более общую структуру цепи поставок; 3) предлагаем новую, эффективную оптимизационную модель выбора наиболее информативных компонентов; 4) используем новое правило останки в алгоритме упрощения модели цепи поставок, основанное на количественных, а не на эмпирических субъективных оценках.

ПОДСИСТЕМЫ ЦЕПИ ПОСТАВОК

В цепях поставок обеспечивается сближение стратегических интересов и целей ее участников. Мы рассматриваем промышленные фокальные цепи поставок, в которых одно (фокальное) предприятие является центральным звеном, обладающим стратегическим лидерством и координирующим всю цепь, а ее поставщики и дистрибьюторы находятся в зависимом положении, как это, например, происходит в цепях поставок автопроизводителей.

Такие цепи поставок могут быть представлены в виде многоуровневого древовидного ориентированного графа, в котором каждая подсистема изображается как подграф, а элементарная единица является узлом. Далее будут использованы следующие определения подсистем цепи, предложенные в (Птускин, Левнер, 2012, 2014) и представленные на рис. 1. Для простоты на рисунке изображены только три уровня узлов и не показаны логистические узлы.

Каждый *узел* в графе представляет или фокальный узел, или другой компонент, входящий в цепь поставок: поставщик, изготовитель, поставщик логистики, оптовый торговец/дистрибьютор, ритейлер и т.д.

Уровень цепи представляет собой набор узлов, лежащих на одинаковом расстоянии (измеряемом количеством дуг в графе) от фокального узла; нулевой уровень соответству-

⁴ Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды” и отдельные законодательные акты Российской Федерации».

ет фокальному узлу. Этот набор может быть двух возможных типов: *уровень поставки* или *уровень дистрибьюции*.

Срез с номером s (который будем называть s -усеченной структурой цепи поставок) является объединением всех узлов уровней от 1 до s ; $s = 1, 2, \dots$. Срез с большим номером содержит предшествующий срез как подмножество. Каждый последующий срез отображает ту же цепь поставок, но с более высокой степенью детализации.

На рис. 1 представлены *параллельные срезы* C_1, C_2 , и C_3 , границы которых изображены пунктирными линиями, и *зубчатые срезы*, в которых некоторые узлы уровней, входящих в срез, удалены.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

Для идентификации стратегических экологических рисков в цепи поставок необходима база данных об использовании предпри-

ятиями ресурсов и влиянии их производственной деятельности на окружающую среду. В ГОСТ Р ИСО 14001-98⁵ установлено, что предприятия должны поддерживать в рабочем состоянии документированные процедуры регулярного мониторинга и измерения основных характеристик существенно воздействующих на окружающую среду операций и видов деятельности, уделяя основное внимание тем данным, которые необходимы для внедрения и функционирования системы управления окружающей средой и для фиксирования объема, в котором запланированные целевые и плановые экологические показатели выполнены.

Регистрация данных обо всех происшедших неблагоприятных экологических событиях (закрывающихся в фиксации отклонения фактически полученных значений стратегических экологических показателей от запланированных значений) для каждого узла u может быть сформирована в виде протокола риска (Качалов, 2012).

⁵ ГОСТ Р ИСО 14001-98 «Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению».

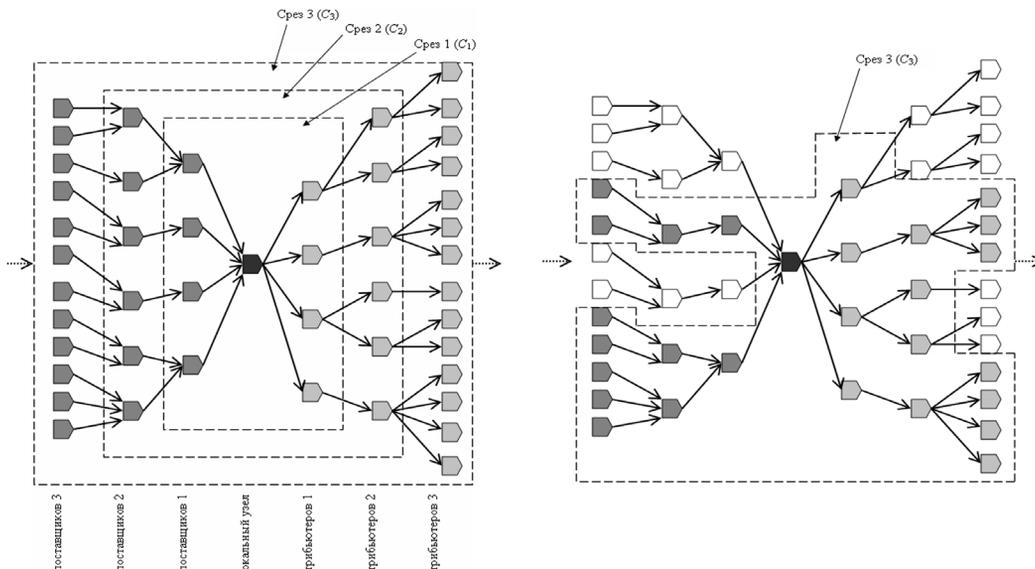


Рис. 1. Подсистемы цепи поставок

Протокол риска представляет собой перечень неблагоприятных экологических событий, которые произошли в узле u за определенный период времени, и их характеристик. Протокол риска может быть представлен в форме таблицы (см. таблицу), строки которой $r = 1, 2, \dots$ соответствуют негативным событиям, а столбцы $f = 1, \dots, F$ – стратегическим экологическим показателям, где F – число показателей. В пересечении столбца f и строки r указана следующая пара чисел:

a_{rf} – абсолютная величина негативного отклонения показателя f ; если в результате рассматриваемого события негативного отклонения показателя f не зафиксировано, то $a_{rf} = 0$;

q_{rf} – величина соответствующих данному событию экономических потерь; если в результате рассматриваемого события негативного отклонения показателя f не зафиксировано, то $q_{rf} = 0$.

Экономические потери в ряде случаев могут быть определены достаточно точно. Например, к таким потерям могут относиться увеличение платежей и штрафов за загрязнение окружающей среды, увеличение платежей за использование ресурсов, потери надбавок к цене на экологически чистые товары, увеличение стоимости кредитов и страхования, увеличение затрат за счет роста объемов потребления энергии и других ресурсов, увеличение затрат на ликвидацию отходов. В других случаях определение экономических

потерь представляет непростую задачу. Например, потери за счет ухудшения репутации, падения конкурентоспособности и снижения рыночной доли, утраты возможности выхода на зарубежные рынки, утраты возможности получения статуса поставщика, падения привлекательности предприятия с точки зрения условий труда и т.д.

В столбцах $(F + 1)$ и $(F + 2)$ содержится информация, раскрывающая связи данного узла с узлами других уровней. В столбце $(F + 1)$ фиксируется величина экономических потерь, вызванных неблагоприятными экологическими событиями в узлах более низкого уровня, предшествующих данному узлу u . Например, поставка произведена с задержкой или не полностью из-за остановки деятельности поставщика в связи с аварийным выбросом в атмосферу токсичных веществ. Негативные изменения соответствующих экологических показателей не раскрыты в протоколе узла u , но зафиксированы в протоколах рисков поставщиков. В столбце $(F + 2)$ определено, что если данное событие является причиной сбоя поставок в узлы более высокого уровня, то $q_{r(F+1)} = 1$, и $q_{r(F+1)} = 0$ в противном случае.

В течение заданного периода времени для каждого узла существенные неблагоприятные события регистрируются в протоколах риска, предоставляющих информацию об изменениях стратегических экологических показателей и соответствующих экономических потерях. Пусть $R(u)$ – общее количество на-

Таблица
Протокол риска

Экологические показатели	1	...	f	...	F	$(F + 1)$	$(F + 2)$
	Негативное отклонение показателя и экономические потери						Связь с узлами более высокого уровня
События							
1
...
r	(a_{rf}, q_{rf})	$(0, q_{r(F+1)})$	$q_{r(F+2)} = 0 \vee 1$
...
$R(u)$

блюдаемых неблагоприятных (критических) событий в узле u среза s за определенный период времени. Для каждого $f = 1, \dots, (F + 1)$ определим $N(u, f)$ – число критических событий, вызвавших негативное изменение показателя f в узле u .

Для любого узла u из среза s определим относительную частоту $p(u, f)$ случаев, когда критические события вызвали негативное изменение показателя f . Эта величина может рассматриваться как оценка вероятности того, что последствием экологического нарушения в узле u стали потери из-за ухудшения показателя f :

$$p(u, f) = \frac{N(u, f)}{R(u)}, \quad \sum_f p(u, f) = 1.$$

Кроме того, для каждого узла u определим:

$A(u, f)$ – величины негативных отклонений для каждого показателя f

$$A(u, f) = \sum_r a_{rf}, \quad f = 1, \dots, F;$$

$c(u)$ – величину экономических потерь из-за негативного изменения экологических показателей

$$c(u) = \sum_r \sum_{f=1}^{F+1} q_{rf};$$

$k(u)$ – число негативных событий, ставших причиной сбоя поставок в узлы более высокого уровня (в дальнейшем мы будем называть соответствующие связи между узлами критическими):

$$k(u) = \sum_r q_{r(F+2)}.$$

Задача заключается в определении стратегических экологических показателей, для поддержания запланированных величин которых должны быть разработаны антирисковые программы, и нахождении критических узлов, для которых они должны быть реализованы. Мы предлагаем определять уровень знаний о таких критических показателях и

узлах с помощью информационной энтропии, оценивающей среднее количество информации, содержащейся в потоке критических событий протоколов риска. Мы будем вычислять значение энтропии итеративно для каждого среза $s = 1, 2, \dots$. Величину энтропии мы рассматриваем как меру соответствия/несоответствия между реальной цепью поставок и ее моделью.

ПОСТРОЕНИЕ СОКРАЩЕННОЙ МОДЕЛИ ЦЕПИ ПОСТАВОК

С помощью Шенноновской энтропии (Shannon, 1948) во многих работах измеряются информативность сложных производственных систем и степень неполноты знаний об их состоянии. Продолжая и развивая данное направление исследований, мы используем энтропию как меру количества информации для анализа и упрощения графовой модели предприятия при оценке стратегических экологических рисков.

Функция энтропии H определяется 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 $p_i + \dots + p_n = 1$, следующим образом:

$$H = -\sum_i p_i \log p_i.$$

Обозначим через T_s – множество всех узлов поставщиков в срезе s ; D_s – множество всех узлов дистрибьюторов в срезе s .

Помимо вероятностей того, что последствием экологического нарушения в узлах стали потери из-за ухудшения того или иного показателя, мы учитываем соответствующие величины экономических потерь $c(u)$ в каждом узле u любого среза s , которые можно определить из данных протоколов риска. Индекс v далее используется для узлов поставщиков, индекс w – для узлов дистрибьюторов.

Определим:

$L_s(T_s)$ – потери всех поставщиков среза s

$$L_s(T_s) = \sum_{v \in T_s} c(v);$$

$L_s(D_s)$ – потери всех дистрибьютеров среза s

$$L_s(D_s) = \sum_{w \in D_s} c(w);$$

LT – общие потери в узлах поставщиков;

LD – общие потери в узлах дистрибьютеров.

$L_s(T_s)$ и $L_s(D_s)$ соответственно являются вкладками потерь поставщиков и потерь дистрибьютеров среза s в общие потери всей цепи. Эти величины используются для определения коэффициентов (весов) энтропии.

Теперь мы можем определить наши неполные знания об источниках риска, т.е. энтропию графа цепи поставок на срезе s , как взвешенную сумму энтропий всех узлов поставщиков v и дистрибьютеров w , входящих в этот срез, следующим образом:

$$H(s) = V_s \sum_v H_s(v) + W_s \sum_w H_s(w), \quad (1)$$

где

$$H_s(v) = -\sum_f p(v, f) \log p(v, f);$$

$$H_s(w) = -\sum_f p(w, f) \log p(w, f);$$

$$V_s = \frac{LT - L_s(T_s)}{LT};$$

$$W_s = \frac{LD - L_s(D_s)}{LD};$$

$v \in T_s, w \in D_s$.

Как отмечено выше, энтропия среза оценивает уровень наших знаний о негативных экологических событиях, и, если величина энтропии среза s практически не уменьшается по сравнению с энтропией среза $(s-1)$, то можно считать, что упрощенная модель цепи поставок, представленная срезом $(s-1)$ и предоставляющая данные о критических узлах

цепи и соответствующих потерях, достаточно для принятия решений о выборе антирисковых программ. Однако в отличие от работ (Птускин, Левнер, 2012, 2014; Levner, Ptuskin, 2015) на каждом шаге (для каждого среза) предлагается исключить из модели цепи узлы среза, которые являются незначительными источниками стратегических экологических рисков в цепи поставок, т.е. использовать модель цепи поставок не с параллельными, а с зубчатыми срезами.

Введем следующие булевы переменные x_v и y_w :

$x_v = 1$, если узел v из T_s включен в срез s , и $x_v = 0$, если не включен;

$y_w = 1$, если узел w из D_s включен в срез s , и $y_w = 0$, если не включен.

Тогда полная энтропия всех узлов v и w , включенных в срез s , будет равна

$$H(s) = \sum_v H_s(v) x_v + \sum_w H_s(w) y_w.$$

В случае когда информация об источниках риска из протокола риска доступна, энтропия узла ($H_s(v)$ или $H_s(w)$) определена так, как указано выше в (1). Если же такая информация из протокола риска в узле u отсутствует, т.е. все вероятности $p(u, f), f = 1, \dots, (F+1)$, равны, и энтропия узла максимальная:

$$\begin{aligned} H_s^{\max}(v) &= -V_s \log F = \\ &= -\frac{LT - c(v)}{LT} \log(F+1) \end{aligned}$$

для узлов поставщиков;

$$\begin{aligned} H_s^{\max}(w) &= -W_s \log F = \\ &= -\frac{LD - c(w)}{LD} \log(F+1) \end{aligned}$$

для узлов дистрибьютеров.

Таким образом, включение узла в модель цепи поставок (узла поставщиков $u = v$ или узла дистрибьютеров $u = w$) снижает уровень энтропии, т.е. увеличивает знания лица, принимающего решение об источниках и факторах неблагоприятных экологических событий:

$$\begin{aligned} \Delta H_s(u) &= H_s^{\max}(u) - H_s(u) = \\ &= -\frac{LT - c(u)}{LT} (\log(F+1) + \\ &+ \sum_f p(u, f) \log p(u, f)). \end{aligned}$$

В результате для каждого узла u среза s имеются следующие параметры:

$\Delta H_s(u)$, характеризующие уровень знаний об источниках и факторах неблагоприятных экологических событий;

$A(u, f)$, $f = 1, \dots, F$, определяющие негативные отклонения для каждого экологического показателя;

$c(u)$, определяющие значения экономических потерь;

$k(u)$, определяющие число критических связей с узлами более высокого уровня, т.е. степени влияния данного узла цепи поставок на узлы более высокого уровня.

В модели цепи поставок с зубчатыми срезами для узлов, в которых экологические нарушения вызвали незначительные негативные изменения показателей и незначительные потери, переменные x_v для узлов поставщиков и y_w для узлов дистрибьюторов должны принять значения 0. Лицо, принимающее решение, может с позиций стратегического риск-менеджмента определить для каждого показателя f , $f = 1, \dots, F$, уровень негативного изменения b_f , который можно считать несущественным, и долю потерь в срезе d , которую также можно считать малозначимой.

Проблема построения модели цепи поставок с зубчатыми срезами, представляющая узлы с наибольшим объемом информации о негативных экологических событиях и имеющих наибольшее влияние на узлы более высокого уровня, может быть представлена следующей задачей многокритериального математического программирования (задача МКМП):

$$\sum_v \Delta H_s(v) x_v + \sum_w \Delta H_s(w) y_w \rightarrow \max;$$

$$\sum_v k(v) x_v + \sum_w k(w) y_w \rightarrow \max;$$

$$\begin{aligned} \sum_v c(v) x_v + \sum_w c(w) y_w &\leq \\ &\leq (1-d)(L_s(T_s) + L_s(D_s)); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sum_v A(v, f) x_v + \sum_w A(w, f) y_w &\leq \\ &\leq (1-b_f) \left(\sum_v A(v, f) x_v + \sum_w A(w, f) y_w \right), \\ f &= 1, \dots, F; \end{aligned} \quad (3)$$

$$x_v = 0 \vee 1, y_w = 0 \vee 1.$$

Ограничения (2), (3) служат для представления уровня точности решения задачи МКМП, который зависит от коэффициентов b_f и d .

Для численного решения задачи МКМП может быть использована диалоговая человеко-машинная версия широко известного метода многокритериальной оптимизации, который называется методом главного критерия (Подиновский, Ногин, 2007). Основная идея метода, который мы предлагаем использовать в комбинации с методом последовательных уступок, состоит в том, что исходная многокритериальная задача сводится к решению специальной последовательности однокритериальных задач, в которых некоторый критерий, например, в нашем случае максимум приращения знаний (т.е. энтропии) объявляется главным критерием, а значения остальных критериев ограничиваются. В частности, если второй критерий надо максимизировать, то его значения должны быть не меньше некоторых заданных пороговых значений. Исходная задача МКМП сводится к следующей однокритериальной задаче.

Задача МП1.

$$\sum_v \Delta H_s(v) x_v + \sum_w \Delta H_s(w) y_w \rightarrow \max;$$

$$\sum_v k(v) x_v + \sum_w k(w) y_w \geq K_0;$$

$$\begin{aligned} \sum_v c(v) x_v + \sum_w c(w) y_w &\leq \\ &\leq (1-d)(L_s(T_s) + L_s(D_s)); \end{aligned}$$

$$\sum_v A(v, f)x_v + \sum_w A(w, f)y_w \leq (1 - b_f) \left(\sum_v A(v, f)x_v + \sum_w A(w, f)y_w \right),$$

$$f = 1, \dots, F;$$

$$x_v = 0 \vee 1, y_w = 0 \vee 1,$$

где K_0 – заданное экспертами пороговое значение второго критерия.

Метод главного критерия – представленный ниже алгоритм решения полученной задачи, который оказывается чрезвычайно прост и эффективен в нашем практическом случае двухкритериальной задачи.

Шаг 1. Находим строго оптимальные решения однокритериальных задач отдельно по каждому критерию, т.е. задачи МП1 и следующей задачи МП2.

Задача МП2.

$$K(X, Y) = \sum_v k(v)x_v + \sum_w k(w)y_w \rightarrow \max;$$

$$\sum_v c(v)x_v + \sum_w c(w)y_w \leq (1 - d)(L_s(T_s) + L_s(D_s));$$

$$\sum_v A(v, f)x_v + \sum_w A(w, f)y_w \leq (1 - b_f) \left(\sum_v A(v, f)x_v + \sum_w A(w, f)y_w \right),$$

$$f = 1, \dots, F;$$

$$x_v = 0 \vee 1.$$

Обозначим полученное решение задачи МП2 через K_1 . Естественно полагать, что $K_1 > K_0$ (иначе мы получили бы улучшенное решение задачи МП1, и процесс решения можно было бы закончить).

Шаг 2. Эксперты назначают новое желаемое пороговое значение критерия K_2 .

Шаг 3. Решаем задачу МП1 с новым желаемым пороговым значением критерия K_2 и сравниваем ее решение с решением, найден-

ным на шаге 1. Если результаты сравнения положительны, алгоритм заканчивает свою работу. В противном случае переходим к шагу 4.

Шаг 4. В процессе диалога с экспертами назначаются так называемые уступки, это такие, как правило небольшие, ухудшения значений критерия $K(X, Y)$ в задаче МП2, которые эксперты готовы допустить для того, чтобы новые ограничения в задаче МП1 стали совместны.

Переходим к шагу 3, где задача МП1 решается снова, но с новыми значениями параметров, стоящих в правых частях неравенства-ограничения.

Если уступки недостаточны, то задача МП1 будет несовместной. Если же они достаточны, то полученное решение будет (слабо) эффективным решением исходной задачи. Эксперты могут назначить иные уступки и получить достаточно широкое и представительное множество эффективных точек. В завершение диалога эксперты могут выбрать одну или несколько «наиболее приемлемых» с их точки зрения Парето-оптимальных решений многокритериальной задачи.

При увеличении s величина $H(s)$ уменьшается. Это обусловлено тем, что V_s и W_s с ростом s уменьшаются, а величина

$$\sum_f p(v, f) \log p(v, f)$$

ограничена сверху числом $\log(F + 1)$. В результате при последовательном вычислении энтропии для $s = 1, 2, \dots$ процесс можно остановить, когда величина энтропии снижается незначительно. Это свидетельствует о том, что приращение знаний при более детальном представлении цепи поставок становится несущественным, а полученная модель цепи адекватно представляет информацию о стратегических экологических рисках, наиболее критичных узлах и соответствующих потерях.

Формальное правило остановки вычислительного процесса может быть определено следующим образом. При построении модели необходимо найти компромисс между затра-

тами на ее построение и степень соответствия реальной цепи поставок, которая определяет ущерб от применения упрощенной модели. Энтропия используется в качестве меры знания об источниках стратегических экологических рисков в цепи поставок, и ее значение можно рассматривать как степень соответствия модели реальной цепи. Затраты на построение модели связаны со сбором информации и зависят от числа узлов цепи, включенных в модель.

Будем считать, что величины этих затрат, приходящихся на один узел, для всех узлов примерно равны. Понятно, что величины энтропии и затрат измерены в разных единицах. Для приведения к сопоставимому виду произведем их линейное масштабирование (приведем их к единичной длине). Масштабированное значение величины энтропии для каждого слоя s определим следующим образом:

$$Hm(s) = \frac{H(s)}{H_{\max}},$$

где $H_{\max} = H(1)$ – максимальное значение энтропии.

Масштабированное значение затрат на построение s -усеченной модели

$$Am(s) = \frac{a A(s)}{a A_{\max}} = \frac{A(s)}{A_{\max}},$$

где $A(s)$ – число узлов s -усеченной модели; A_{\max} – число узлов в цепи поставок; a – величина затрат, связанных со сбором информации, приходящаяся на один узел (значение этой величины не влияет на результат правила остановки).

Сумму $[Hm(s) + Am(s)]$ можно интерпретировать как общие затраты, включающие ущерб от применения упрощенной модели и затраты на ее построение. Вычислительный процесс следует остановить для того значения s , для которого эта сумма достигает минимального значения.

Поведение функции энтропии и работа правила остановки процедуры упрощения модели цепи поставок, основанного не на субъ-

ективных, а на количественных оценках, иллюстрируются в следующем разделе.

Анализ стратегических экологических рисков позволяет помимо наиболее критичных узлов цепи поставок выявить стратегические показатели, негативные отклонения которых необходимо ликвидировать, определить экономические потери, которые возможно ликвидировать или существенно снизить. На следующем этапе для узлов, включенных в модель, определяется портфель программ по снижению уровня риска. Общая схема задачи управления стратегическими экологическими рисками цепи поставок показана на рис. 2.

Вариант формулировки задачи выбора портфеля антирисковых программ и распределения средств между ними с учетом их стоимости, потенциальных результатов, ограничений требуемых ресурсов предложен, например, в (Птускин, Левнер, 2014).

ПРИМЕР

Построение s -усеченной структуры проведено для фрагмента автомобильной цепи поставок, представленной в (Птускин, Левнер, 2012), но дополненной узлами дистрибьюторов. Цепь содержит фокальный узел, шесть узлов слоя 14; 14 узлов слоя 2; 27 узлов слоя 3; 54 узлов слоя 4; 210 узлов слоя 5; 1200 узлов слоя 6.

Выбрано 17 стратегических экологических показателей ($F = 17$): f_1 – количество расходуемой энергии; f_2 – расход топлива парком транспортных средств; f_3 – количество материалов, использованных для послепродажного обслуживания продукции; f_4 – количество расходуемой воды; f_5 – количество повторно используемой воды; f_6 – количество выбросов загрязнителей, потенциально влияющих на уменьшение озонового слоя; f_7 – количество выбросов загрязнителей, потенциально влияющих на изменение климата; f_8 – количество сбрасываемой тепловой энергии; f_9 – коли-

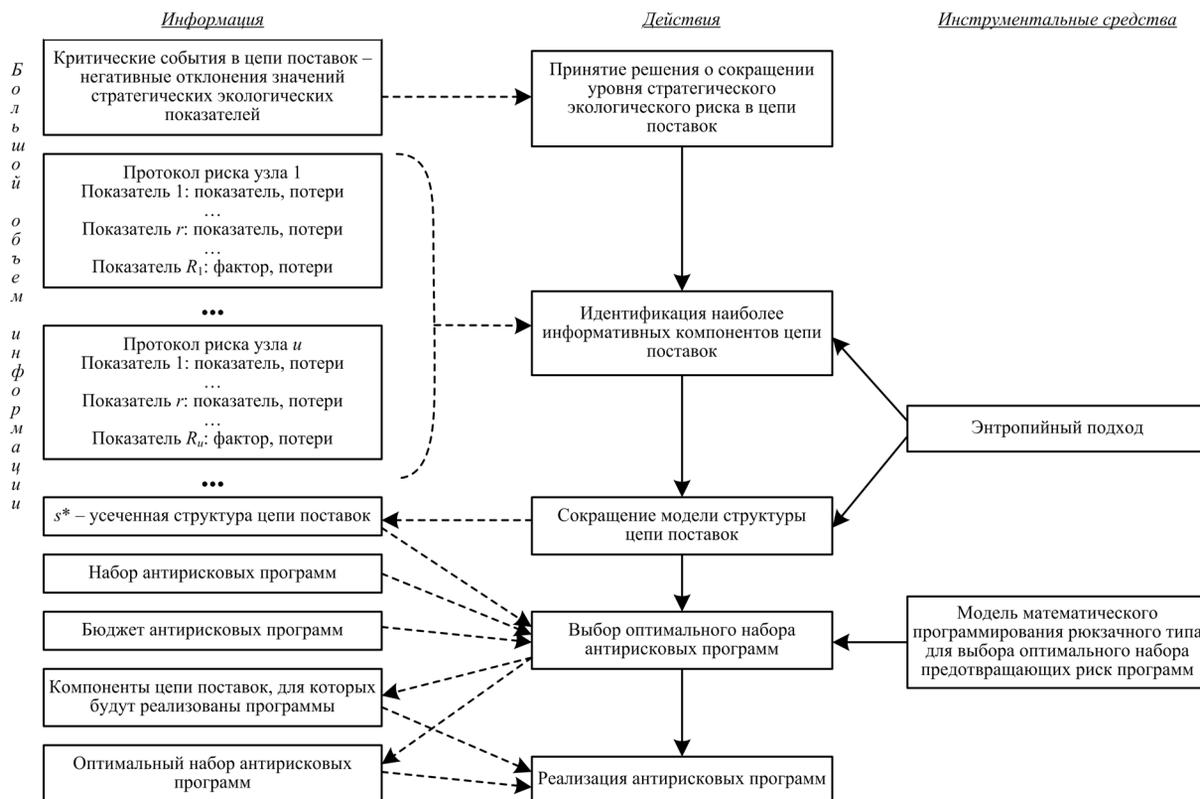


Рис. 2. Структура задачи снижения уровня стратегического экологического риска

чество сбрасываемых отходов; f_{10} – уровень шума; f_{11} – уровень напряженности электромагнитных полей; f_{12} – количество упаковочных материалов; f_{13} – количество отходов; f_{14} – количество перерабатываемых, рециклированных или повторно используемых материалов; f_{15} – количество аварийных или нештатных ситуаций со сбросами или выбросами; f_{16} – количество опасных материалов, используемых в производственном процессе; f_{17} – число изделий, снабженных инструкциями относительно экологически безопасного использования и утилизации.

Стратегические экологические показатели поставщиков и дистрибьюторов, безусловно, могут различаться. Например, для дилеров количество опасных материалов, используемых в производственном процессе, не

имеет значения. Если показатель f не имеет отношения к узлу u , то в протоколе риска все значения экономических потерь для этого показателя $q_{rf} = 0$, $r = 1, \dots, R(u)$.

Часть протоколов рисков была смоделирована с помощью компьютерной симуляции. Заданы следующие экспертные значения параметров: $b_f = 0,05$; $f = 1, \dots, F$; $d = 0,1$.

Рисунок 3 демонстрирует динамику энтропии для s -усеченных структур для различных значений s .

На рис. 4 показаны величины $Hm(s)$, $Am(s)$, $Hm(s) + Am(s)$ различных значений s для этого примера, иллюстрирующие правило остановки. Как видно, минимум суммарных затрат достигается при $s = 5$, и на уровне этого среза следует завершить процедуру упрощения модели цепи поставок. Дальнейшая де-

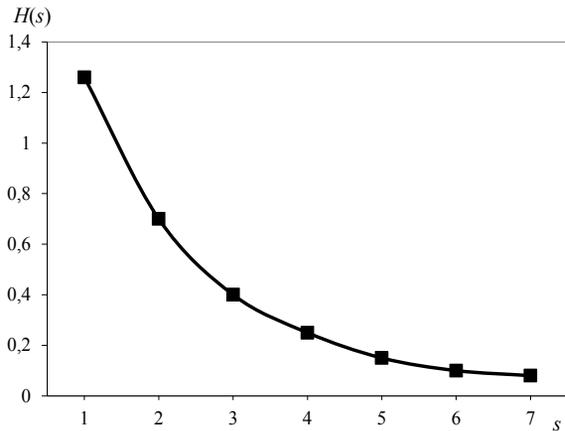


Рис. 3. Энтропия срезов

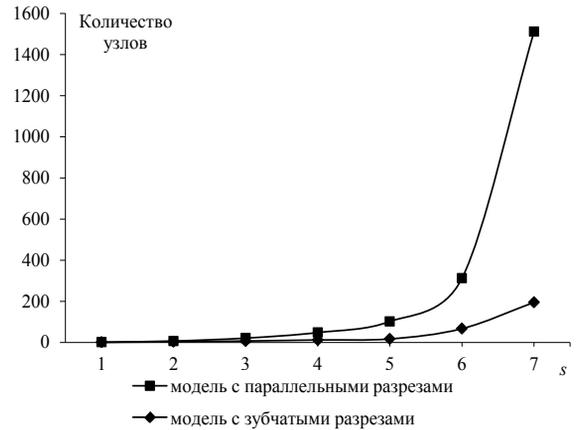


Рис. 5. Число узлов в моделях с параллельными и зубчатыми разрезами

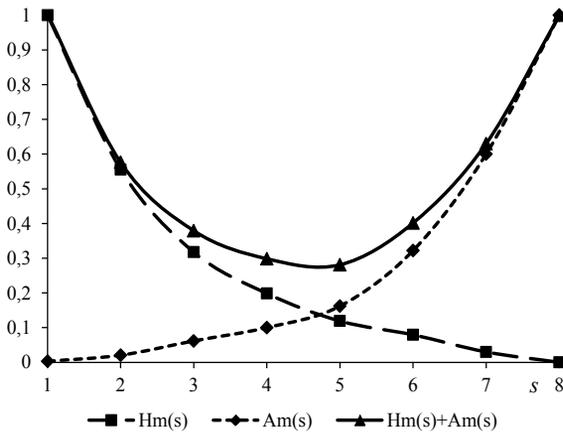


Рис. 4. Величины $Hm(s)$, $Am(s)$, $Hm(s) + Am(s)$ для различных значений s

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основное достоинство предложенного метода состоит в том, что новая эффективная оптимизационная модель выбора наиболее информативных компонентов позволяет значительно упростить сложную структуру цепи поставок большой размерности и в то же время сохранить наиболее важную информацию, относящуюся к исходной полно-размерной цепи. Полученные модели цепи имеют существенно меньший размер при сохранении измеряемых информационной энтропией основных знаний о стратегических экологических рисках. Это, в свою очередь, значительно упрощает и облегчает задачу выбора программ, направленных на уменьшение уровня экологического риска цепи поставок.

Авторы благодарят руководителей и участников секции «Модели и методы разработки стратегии предприятия» Восемнадцатого всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий» за критическое и конструктивное обсуждение основных результатов данной работы.

тализация повышает затраты на получение и обработку информации, но не приводит к увеличению знаний о наиболее важных источниках стратегических экологических рисков.

Рисунок 5 показывает преимущества построения модели с зубчатыми разрезами. Такие модели цепи поставок более компактны, дают возможность объективно сократить число критических с точки зрения стратегических экологических рисков узлов, которые должны стать объектами антирисковых программ.

Список литературы

- Качалов Р.М. Управление экономическим риском: Теоретические основы и приложения. М.: Нестор-История, 2012.
- 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. № 55. С. 62–69.
- Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Физматлит, 2007.
- Птускин А.С., Левнер Е.В. Выбор антирисковых программ для уменьшения потерь в цепях поставок // Вест. Моск. гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2014. № 3 (96). С. 119–135.
- Птускин А.С., Левнер Е.В. Модель выбора проектов для снижения экологического стратегического риска промышленного предприятия // Экономическая наука современной России. 2015. № 3 (70). С. 126–140.
- 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.
- Тамбовцев А., Тамбовцева Т. Зеленая логистика для устойчивого развития // Управление и устойчивое развитие. 2011. № 2 (29). С. 197–203.
- Christopher M., Gaudenzi B. Managing risks in sustainable supply chains // Sinergie Italian Journal of Management. 2015. № 33 (96). P. 57–74.
- Cousins P.D., Lamming R.C., Bowen F. The role of risk in environment-related supplier initiatives // International Journal of Operations & Production Management. 2004. № 24 (6). P. 554–565.
- Darnall N., Jolley J.G., Handfield R. Environmental management systems and green supply chain management: Complements for sustainability // Business Strategy and the Environment. 2008. № 17 (1). P. 30–45.
- Handfield R., Sroufe R., Walton S. Integrating environmental management and supply chain strategies // Business Strategy and the Environment. 2005. № 14 (1). P. 1–19.
- Jeeva A.S. Reducing supply risk caused by the stockwhip effect in supply chains // Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Kuala Lumpur (Malaysia). January 22–24, 2011. P. 739–744.
- Lamming R., Cousins P., Bowen F.E., Faruk A.C. A comprehensive conceptual model for managing environmental impacts, costs and risks in supply chains // Best practice procurement. 2001. № 10 (2). P. 42–50.
- Levner E., Ptuskin A. An entropy-based approach to identifying vulnerable components in a supply chain // International Journal of Production Research. 2015. Vol. 53. Is. 22. P. 6888–6902.
- Naini S.G.J., Aliahmadi A.R., Jafari-Eskandari M. Designing a mixed performance measurement system for environmental supply chain management using evolutionary game theory and balanced scorecard: A case study of an auto industry supply chain // Resources, Conservation and Recycling. 2011. № 55 (6). P. 593–603.
- Sarkis J. A boundaries and flows perspective of green supply chain management // Supply Chain Management: An International Journal. 2012. Vol. 17. Is. 2. P. 202–216.
- Shannon C.E. A mathematical theory of communication // The Bell System Technical Journal. 1948. № 27 (3). P. 379–423.
- Srivastava S.K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review // International Journal of Management Reviews. 2007. № 9 (1). P. 53–80.

Рукопись поступила в редакцию 07.07.2017 г.

IDENTIFICATION OF CRITICAL OBJECTS OF SUPPLY CHAINS TO REDUCE THE LEVEL OF STRATEGIC ENVIRONMENTAL RISKS

A.S. Ptuskin, E.V. Levner

Ptuskin Alexander S., Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, Russia, aptuskin@mail.ru

Levner Eugene V., Holon Institute of Technology, Holon, Israel, levner@hit.ac.il

Advanced directions of supply chain development are based on the principles of environmental responsibility, which attract attention of researchers, participants and users of supply chains towards the issues of nature protection, defense of ecological systems and organization of environment-protection measures for sustainable development. This paper considers a problem of determining the most important sources of strategic environmental risks in supply chains. Optimal use and consumption of natural resources can reduce economic losses and damage caused to the environment, reduce the amount of waste and decrease the need for resources for industrial use. Solving strategic environment-oriented tasks in supply chain management (including the development of mathematical and economic-mathematical models) taking into account the environmental aspects of material flow distribution in supply chains, allows to ensure their ecologically balanced functioning. We propose a procedure that reduces the dimensionality of the supply chain model without losing significant information about strategic environmental risks and associated losses. As a measure of knowledge about the most important sources of risks in the supply chain, we propose to use the information entropy. To solve the problem of identifying the most important sources of strategic environmental risks in supply chains, an approach is developed based on the use of information entropy as a measure of knowledge about negative deviations of strategic environmental indicators. As a result, a simplified supply chain model is constructed that preserves the most important information related to the original full-range large-size chain and, in the same time, is sufficiently complete to assist the decision-makers to select anti-risk programs based primarily on the principles of the best available technologies.

Keywords: supply chain, strategic environmental risk, entropy.

JEL: C51, C55, D81, Q53

References

- Christopher M., Gaudenzi B. (2015). Managing risks in sustainable supply chains. *Sinergie Italian Journal of Management*, no. 33 (96), pp. 57–74.
- Cousins P.D., Lamming R.C., Bowen F. (2004). The role of risk in environment-related supplier initiatives. *International Journal of Operations & Production Management*, no. 24 (6), pp. 554–565.
- Darnall N., Jolley J. G., Handfield R. (2008). Environmental management systems and green supply chain management: Complements for sustainability. *Business Strategy and the Environment*, no. 17 (1), pp. 30–45.
- Handfield R., Sroufe R., Walton S. (2005). Integrating environmental management and supply chain strategies. *Business Strategy and the Environment*, no. 14 (1), pp. 1–19.
- Jeeva A.S. (2011). Reducing supply risk caused by the stockwhip effect in supply chains. Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Kuala Lumpur (Malaysia). January 22–24, pp. 739–744.
- Kachalov R.M. (2012). Economical risk management: theory and applications. Moscow, Nestor-Istoriya (in Russian).
- Kleiner G.B. (2008). Strategy of the enterprise. Moscow, Delo (in Russian).
- Kleiner G.B., Tambovtsev V.L., Kachalov R.M. (1997). Enterprise in an unstable economic environment: Risks, strategy, security. Moscow, Ekonomika (in Russian).
- Korzhavyj A.P., Ptuskin A.S. (2015). The hierarchical structure of environmental strategy of industrial enterprise. *Kontrolling [Controlling]*, no. 55, pp. 62–69 (in Russian).
- Lamming R., Cousins P., Bowen F.E., Faruk A.C. (2001). A comprehensive conceptual model for managing environmental impacts, costs and risks in supply chains. *Best practice procurement*, no. 10 (2), pp. 42–50.

- Levner E., Ptuskin A. (2015). An entropy-based approach to identifying vulnerable components in a supply chain. *International Journal of Production Research*, vol. 53, is. 22, pp. 6888–6902.
- Naini S.G.J., Aliahmadi A.R., Jafari-Eskandari M. (2011). Designing a mixed performance measurement system for environmental supply chain management using evolutionary game theory and balanced scorecard: A case study of an auto industry supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, no. 55 (6), pp. 593–603.
- Podinovsyi V.V., Nogin V.D. (2007). Pareto-optimal solutions of multicriteria problems. Moscow, Fizmatlit (in Russian).
- Ptuskin A.S., Levner E.V. (2012). An entropy-based approach to simplifying the supply chain structure for the selection of strategic risk-mitigating decisions. *Economics of Contemporary Russia*, no. 4 (59), pp. 76–90 (in Russian).
- Ptuskin A.S., Levner E.V. (2014). Selection of risk-mitigating programs for decreasing economic losses in supply chains. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*, no. 3 (96), pp. 119–135 (in Russian).
- Ptuskin A.S., Levner E.V. (2015). A model of project selection for reducing strategic environmental risks at industrial enterprises. *Economics of Contemporary Russia*, no. 3 (70), pp. 126–140 (in Russian).
- Sarkis J. (2012). A boundaries and flows perspective of green supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 17, is. 2, pp. 202–216.
- Shannon C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, no. 27 (3), pp. 379–423.
- Srivastava S.K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, no. 9 (1), pp. 53–80.
- Tambovtsev A., Tambovtseva T. (2011). Green logistic for sustainable development. *Management and Sustainable Development*, no. 2 (29), pp. 197–203 (in Russian).

Manuscript received 07.07.2017

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАЛОГОВЫХ ЛЬГОТ В ТОР И ОЭЗ¹

В.И. Аркин, А.Д. Слостников

В данной статье изложена модель, в рамках которой проведено сравнение систем налогообложения, существующих на территориях опережающего социально-экономического развития (ТОР) и в особых экономических зонах (ОЭЗ) технико-внедренческого и промышленно-производственного типа. Основными элементами модели являются инвестиционный проект (погружаемый в разные системы налоговых льгот), модель поведения инвестора, выбирающего наилучший момент финансирования проекта, и сценарии налоговой системы с учетом налоговых льгот, принятых в ТОР и ОЭЗ. Как показали расчеты по модели, возможности всех трех систем с точки зрения привлечения инвестора (времени ожидания финансирования проекта) примерно одинаковы, однако в ТОР инвестор придет все же немного быстрее, чем в ОЭЗ, и с ростом неопределенности будущей прибыли от проекта это различие будет возрастать. С точки зрения наполнения бюджетов федерального и регионального уровней ожидаемыми налоговыми поступлениями от реализованного проекта не существует одной системы, которая была бы лучше двух остальных для всех рассматриваемых инвестиционных проектов. Налоговая система в ТОР будет в этом плане наилучшей для проектов с невысоким значением среднего темпа роста добавленной стоимости и низкой волатильностью. Льготы ТОР

© Аркин В.И., Слостников А.Д., 2017 г.

Аркин Вадим Иосифович, к.ф.-м.н., главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН, Москва, arkin@cemi.rssi.ru, varkin@mail.ru

Слостников Александр Дмитриевич, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН, Москва, slast@cemi.rssi.ru

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-06-03723).