

Модель оценки эффективности формирования лесопромышленными предприятиями устойчивых цепочек поставок сырья

Р. С. Роголин  

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,
г. Владивосток, Россия
 rafassiaofusa@mail.ru*

Аннотация. В работе представлена модель по оценке эффективности решений предприятия по формированию вектора закупок сырья на лесной бирже на основе объемов понесенных издержек. Предприятия обычно ставят себе целью понести издержки не выше, чем значение целевых издержек, поэтому очень важным становится учет этого фактора в ходе процесса оценивания эффективности. Оценивающему лицу не всегда известен уровень целевых издержек, в связи с этим в работе производится генерирование этих уровней, и для каждого из них проводится оценка эффективности и берется усредненное значение. Для расчета показателя эффективности была построена нелинейная экономико-математическая модель, которая отличается расчетом граничных издержек (границы эффективности), которые определяют категории эффективности. В статье используется принцип золотого сечения для определения границ и категорий эффективности. Целью работы является разработка математической модели и эвристического алгоритма, позволяющих оценить эффективность принятого решения на предприятии по формированию цепочек поставок сырья, которые при этом отличались бы возможностью учета сгенерированных разных показателей целевых издержек, вычислением границ и категорий эффективности. Гипотезой исследования является возможность оценки эффективности принимаемого решения на предприятии по формированию устойчивых цепочек поставок сырья при условии отсутствия у оценивающего лица уровня целевых издержек. Нелинейность математической модели предопределила построение эвристического алгоритма для поиска решения. При полученной оценке появляется проблема границ по экономическим соображениям. Для решения этой проблемы были привлечены методы нечетких множеств и нечеткой логики. Проведена апробация алгоритма и модели на данных одного из предприятий Приморского края. В ходе апробации показано, что границы эффективности изменяются и в результате имеют разные категории эффективности при разных значениях целевых издержек из-за характера функции оценки эффективности. Результаты теста модели и алгоритма показали эффективность схемы оценивания эффективности.

Ключевые слова: оценка эффективности; генетический алгоритм; функция эффективности; границы эффективности; теория и методы оптимизации; экономический анализ; лесопромышленная отрасль.

1. Введение

Традиционная цепочка поставок обычно используется производителем, которые управляют и контролируют темпы разработки, производства и распространения продукции [1, 2].

Как правило, эффективность измеряется путем расчета отношения выручки к совокупным эксплуатационным расходам цепочки поставок. В последние годы появились новые тенденции в измерении эффективности, когда клиенты

предъявляют повышенные требования к производителям для быстрого выполнения заказа и быстрой доставки. Это затрудняет измерение эффективности цепочки поставок [1]. В дополнение к обычным финансовым показателям эффективность цепочки поставок должна принимать во внимание другие конкретные показатели, такие как скорость доставки и процент выполнения заказов. Это измерение дополнительно осложняется влиянием производственных мощностей и другими эксплуатационными ограничениями. Ввиду увеличения показателей эффективности в цепочке поставок, не многие компании будут знать, как измерить эффективность их цепочки поставок.

Увеличение числа показателей эффективности сделало задачу измерения эффективности сложной и вызывающей затруднения. Следовательно, инструмент для адекватного измерения эффективности цепочки поставок крайне необходим. Уеe и Тап и также Рао поддерживают эту мысль о текущем уровне сложности решения проблемы измерения эффективности [3, 4]. Традиционные меры имеют определенные недостатки, которые не будут оптимальными при измерении эффективности цепочки поставок. Следовательно, для измерения эффективности требуется надежный метод. Использование диаграмм типа «паук», «радар» или «Z» являются одними из популярных инструментов, используемых для измерения эффективности цепочки поставок. Эти инструменты основаны на методах анализа недостатков и имеют графический характер. Невозможно измерить эффективность с помощью этих инструментов, когда имеется несколько входных типов параметров или выходных типов. Однако проблема сравнения через отношения заключается в том, что при рассмотрении нескольких входных

и выходных данных можно получить много разных отношений, и трудно объединить весь набор отношений в одно суждение или коэффициент. Отсюда можно сделать вывод о том, что оценка эффективности цепочки поставок должна ориентироваться на многомерность.

Целью работы является разработка математической модели и эвристического алгоритма, позволяющих оценить эффективность принятого решения на предприятии по формированию цепочек поставок сырья, которые при этом отличались бы возможностью учета сгенерированных разных показателей целевых издержек, вычислением границ и категорий эффективности.

Для решения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Построить математическую модель по оценке эффективности деятельности предприятия в области закупок сырья.
2. Построить алгоритм по решению данной проблемы.
3. Провести апробацию на данных предприятия.

Гипотеза исследования заключается в том, что существует возможность оценки эффективности формирования устойчивых цепочек поставок сырья с учетом неизвестных целевых (уровень издержек, за которые предприятие не хочет выйти в процессе формирования цепочек поставок сырья) издержек предприятия.

Данная работа является продолжением цикла работ [5, 6] по поиску оптимальных или эффективных решений на предприятиях лесопромышленной отрасли.

Структура статьи включает следующие разделы: обзор литературы, построение математической модели и алгоритма, калибровка модели и апробация, описание результатов тестирования модели и заключение.

2. Обзор литературы

Управление цепочками поставок (Supply Chain Management, далее SCM) – это взаимосвязанный процесс действий от поставщика до конечного потребителя. Ross-Smith et al. [7] использовал имитационный подход для разработки моделей по оценке производительности цепочек поставок (Supply Chain, далее SC) с применением показателей «6- σ ». Bullinger et al. [8] объединили методы «верхнего» и «нижнего» уровней для разработки системы оценки эффективности.

Gunasekaran et al. разработали модель нелинейного целочисленного программирования по оценке эффективности, учитывающую четыре процесса SC (планирование, источник, изготовление и доставка) [9]. Thakkar et al. использовали имитационный подход для измерения показателей эффективности SC для малых и средних предприятий [10]. Wanous разработал иерархическую модель по определению приоритетов показателей эффективности SC [11]. Mishra и Sharma разработали модель нелинейного целочисленного программирования по оценке эффективности SC на основе производительности пунктов производства и стратегий транспортировки [12]. Кроме того, они разработали систему показателей для оценки показателей лакокрасочной промышленности.

Bagloee et al. предложили интегрированную модель нелинейного целочисленного программирования по измерению производительности трех уровней SC (поставщик – производитель – дистрибьютор) [13]. Govindan et al. разработали гибридный подход к оценке производительности SC в пищевой промышленности с учетом экологических показателей эффективности [14]. Qazietal et al. использовали имитационный подход с использованием

показателя полезности для выявления взаимозависимостей между рисками, стратегиями по снижению рисков и показателями производительности в сетях SC [15].

Venkatesh et al. разработали модель нелинейного целочисленного программирования по оценке эффективности SC на основе показателей социальных опросов, имеющих отношение к поставщикам, и показателей эффективности в странах с развивающейся экономикой [16].

Как показали результаты обзора, существует большое количество работ, связывающих структуру SCM со сбалансированной системой показателей (Balanced Scorecard, далее BSC) [17]. Этот подход был разработан для определения показателей эффективности различных компаний в разных частях мира. BSC чаще применяется как в теории, так и на практике, имея множество преимуществ по сравнению с другими моделями [18]. Chai et al. использовали этот подход в логистике для измерения производительности SC [19].

Trivedi и Rajesh модифицировали методику оценки эффективности с применением BSC путем добавления иерархического подхода для оценки производительности SC [20]. Khanaposhtani et al. использовали смешанный подход, состоящий из BSC, теории игр и системной динамики (SD) для оценки показателей эффективности SC в автомобильной промышленности [21].

Xia et al. разработали сбалансированную систему показателей для оценки технологий по формированию SC на предмет устойчивости [22]. Rasolofodistler и Distler проанализировали роль BSC в управлении неопределенностью в SC в сервисной деятельности и разработали систему по оценке эффективности SC [23]. Thanki et al. предложили оптимизационную модель

нелинейного целочисленного программирования, основанную на BSC и стратегической карте, для оценки степени экологической бережливости и эффективности SC [24].

Mentzer et al. разработали критерии, помогающие оценить эффективность цепочек поставок. Этот подход помогает классифицировать концепцию и интерпретировать полученное решение. Они предлагают три уровня рассмотрения цепочки поставок, включая основную, расширенную и конечную цепочку поставок. Mentzer et al. предлагают систему требований координации между сторонами [25]. Управление поставками относится к более широкой концепции, нежели закупки, закупки и логистика, которые функционально ориентированы и более конкретно определены [26, 27]. Chen и Paulraj предполагают, что окружающая среда является внешним фактором для развития управления цепочками поставок. К неопределенной окружающей цепочке поставок можно отнести три источника, такие как неопределенность предложения, неопределенность спроса и технологическая неопределенность [28].

Ellram и Coorer утверждали, что устойчивость SC основывается на стратегическом партнерстве, а также на длительных и прочных отношениях с торговым партнером [29]. Улучшение взаимоотношений помогает в снижении запасов и затрат, а также в совместном планировании для обеспечения оперативности и успеха поставок в целом.

Как следует из текущего обзора многие модели по оценке эффективности SC в разных отраслях носят нелинейный характер, что значительно затрудняет поиск решения. Часто для решения задач нелинейной использует эвристические методы и подходы, среди которых базой является генетический алгоритм.

В работе [30] авторы рассматривают генетический алгоритм как метод для решения задачи нелинейного целочисленного программирования по оценке степени загруженности грузовиков в процессе кросс-докинга в портах.

Yun et al. предлагают решение проблемы проектирования устойчивой цепи поставок с обратной связью [31]. Три фактора (экономический, экологический и социальный) рассматриваются в рамках решаемой проблемы. Целевая функция направлена на следующие три аспекта SC: минимизация общих затрат; минимизация общего количества выбросов CO₂ во время производства и транспортировки продукции; максимизация социального влияния. Кроме того, для обеспечения эффективного распределения продуктов через сеть рассматриваются три типа каналов распределения (нормальная доставка, прямая доставка и прямая отгрузка), что позволяет переформулировать проблему как задачу многоцелевой оптимизации, которую можно решить с использованием алгоритмов по поиску оптимальных по Парето решений. Предложена математическая формулировка проблемы, и она решается с использованием подхода гибридного генетического алгоритма (рго-НГА).

Основное внимание уделяется минимизации общего опоздания и раннего выполнения заказов в задаче планирования производства и транспортировки в двухэтапной цепочке поставок [32]. Учитываются несколько ограничений, включающие сроки выполнения работ и время доступности поставщиков и транспортных средств. Разработана модель целочисленного нелинейного программирования. Для решения проблемы предлагается модифицированная версия GA, называемая алгоритмом Time Travel to History (ТТН). Чтобы проверить производительность

предложенного алгоритма, результаты работы алгоритма ТТН сравниваются с двумя другими генетическими алгоритмами в литературе. Результаты сравнения показывают лучшую производительность предложенного алгоритма.

3. Математическая модель

Любое предприятие стремится достичь минимума издержек в ходе своей работы. Минимальные издержки могут быть двух видов: оптимальными и эффективными. Разница в том, что оптимальные издержки сложно достичь ввиду стохастичности различных процессов, т. к. никто не может с достоверной точностью утверждать о том, как сложатся обстоятельства [34]. Эффективные же издержки – это такие издержки, которые доставляют минимальное значение целевой функции при учете всех рассматриваемых видов случайных процессов [34]. Поэтому рассматривать оптимальные издержки в нашем случае не имеет смысла.

На каждом предприятии, как правило, есть цель по объему минимальных издержек (таргетные издержки), т. е. таких издержек, которые это предприятие готово понести в ходе поиска решения задачи (далее, решение) поставок сырья. При достижении меньших издержек, естественно, значение эффективности выше, чем при том уровне издержек, что в качестве таргетной цели себе поставило предприятие. Но поиск такого объема издержек, как правило, затруднителен ввиду большого объема данных для анализа. Поэтому по достижению этих издержек предприятие останавливает поиск и действует по вычисленной схеме издержек [5]. Таким образом функция оценки эффективности должна иметь меньший прирост эффективности на интервале от таргетного значения суммарных издержек до эффективного значения издержек.

Введем определение коэффициента эффективности, как отношение значений издержек, понесенных в ходе производственного цикла к объему издержек, полученных в ходе поиска оптимального решения текущей (какой-либо) задачи производства в виде (1). При этом показателем эффективности в нашей работе будем считать объем издержек, понесенный в ходе закупа сырья на бирже. Напомним, что показателем эффективности называется экономический параметр, который отражает результативность какого-либо производственного процесса, в то время как коэффициент эффективности – это такое значение, которое показывает оценку эффективности принятого решения на основе показателей эффективности.

$$k = \frac{n}{p}. \quad (1)$$

где k – коэффициент эффективности, n – значение параметра, полученного на предприятии в ходе производственного цикла, p – значение параметра, полученного при помощи математических моделей и алгоритмов поиска эффективных решений (верхняя граница). Поскольку в данной работе рассматривается лишь проблема оценки эффективности издержек, полученных на предприятии в деятельности по закупке сырья, то, во-первых, отметим, что на производстве не может получиться результат лучше, чем при расчете верхней границы (2), во-вторых, ввиду (2) функция (1) примет вид (3).

$$p \leq n \quad (2)$$

$$k = \frac{p}{n}. \quad (3)$$

Рассмотрим формулы (2) и (3).

Получаем неопределенность $k = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ при $n \rightarrow p, p \rightarrow 0$. Таким образом, встает

потребность в модернизации (3). Для решения этой проблемы введем некоторый коэффициент $1 \gg c > 0$. Функция оценки эффективности (3) примет вид (4).

$$k = \frac{p + c}{n + c}, p \leq n. \quad (4)$$

Рассмотрим (4) ближе. Данная функция стремится к 1 при $n \rightarrow p$, что соответствует экономическому смыслу: чем ближе к расчетному значению стремится n , тем выше эффективность предприятия. Стоит также отметить, что в параметре c нет экономического смысла, он существует для адекватности работы модели в малой окрестности $n = p = 0$.

Для проведения оценки эффективности введем два определения: границы и категории эффективности.

Определение 1: границы эффективности – это такая последовательность значений $\{\alpha_i\}, i = 0 : I$, что выполняется равенство (6), основанное на равенстве (5).

$$B_i = \frac{\int_{\alpha_i}^{\alpha_{i+1}} n * k(n) dn}{\int_{\alpha_i}^{\alpha_{i+1}} k(n) dn}, \alpha_i < \alpha_{i+1}, \quad (5)$$

$$\frac{B_{i+1}}{B_i} = Q_i, \quad (6)$$

где $\alpha_0 = p, I \geq 2$ – количество границ эффективности, B_i – средневзвешенное значение прироста эффективности на i -м интервале, Q_i – это i -й параметр равенства.

Замечание 1: рассмотрим экономический смысл границ эффективности. Каждая α_i отражает пограничное значение издержек, которое разделяет категории эффективности.

Замечание 2: последнее вычисленное средневзвешенное значения примет вид (7):

$$B_i = \frac{\int_{\alpha_i}^{\infty} n * k(n) dn}{\int_{\alpha_i}^{\infty} k(n) dn}. \quad (7)$$

Определение 2: категории эффективности – это последовательность $\{k(\alpha_i)\}, i = 0 : I - 1$.

Замечание 3: рассмотрим экономический смысл категорий эффективности. Каждая пара $(k(\alpha_i), k(\alpha_{i+1})), i = 1 : I - 2$ формирует интервал, который соответствует той или категории эффективности. Как правило, категории эффективности имеют текстовые значения (напр.: эффективное решение, больше эффективное, среднее эффективное и т. д.).

Рассмотрим первое определение ближе. Отношение средневзвешенных значений приростов эффективности должны убывать по мере приближение к эффективному решению, т. к. это соответствует экономическому смыслу (предпосылу) о том, что множество решений, следующих по степени эффективности любой задачи меньше, чем предыдущих. Для каждой границы и категории эффективности будут соответствовать разные диапазоны n , причем диапазоны будут уменьшаться по мере приближения к эффективному решению исходя из упомянутого выше экономического смысла и математического выражения (8).

Решение (значение издержек) предприятия \tilde{n} является:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{неэффективным } (\gamma = I), \text{ при } k(\tilde{n}) \in (0; k(\alpha_I)] \\ \text{слабо эффективным } (\gamma = I - 1), \text{ при } k(\tilde{n}) \in (k(\alpha_I); k(\alpha_{I-1})) \\ \dots \\ \text{сильно эффективным } (\gamma = 1), \text{ при } k(\tilde{n}) \in (k(\alpha_2); k(\alpha_1)] \\ \text{эффективным } (\gamma = 0), \text{ при } k(\tilde{n}) \in (k(\alpha_1); k(\alpha_0)] \end{array} \right. \quad (8)$$

где $k(n)$ – есть значение функции оценки эффективности в точке $\tilde{n}, \alpha_0 \equiv p$ и, соответственно, $k(\alpha_0) = 1$.

Замечание 4: рассмотрим принцип совмещения диапазонов $(k(\alpha_i), k(\alpha_{i+1}))$, $i \in I$ с характеристиками эффективности. Неэффективным решением называется такое решение, которое попадает в интервал между нулем и последней категорией эффективности $k(\alpha_l)$, значение которой вычисляется исходя из функции оценки эффективности k в зависимости от значения l -й границы эффективности. Аналогичную логику можно распространить на все оставшиеся характеристики эффективности.

Рассмотрим, чему могут быть равны Q_i . В природе известны многие случаи, когда отношение расстояний равно какому-то числу. Как правило, в пределе таким числом можно назвать золотое сечение, и оно равно $\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,6$.

Будем считать, что отношение средних приростов можно положить равным золотому сечению. Таким образом,

$$Q_i = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,6 = Q.$$

Для поиска категорий и границ эффективности (4) не является подходящей функцией: во-первых, она расходится на бесконечности другими словами, при вычислении B_l можно

получить неопределенность вида $\left[\frac{\infty}{\infty} \right]$

(функция (4) расходится, т. к. является частным случаем гармонического ряда [1, 5, 6]); во-вторых, не имеет точки перегиба, которая указывает на наличия насыщения. Насыщение отражает наличие такого момента (точки перегиба), по прошествии которого можно утверждать, что прирастить эффективность становится сложнее.

Поэтому предлагается воспользоваться сходящейся функцией вида (9)

$$k(n) = e^{-\alpha(n-p)^2}, n \in [p; \infty), 1 > \alpha > 0 \quad (9)$$

для аппроксимации (4). Функция (9) будет существовать на интервале $n \in [p; \infty)$, но далее функция должна проходить через две точки $(p, 1)$ и $(ok_l(G_l); e^{-0,5})$. Первая точка соответствует экономическому смыслу, что чем ближе n к p , тем эффективность ближе к максимальной. Вторая же точка – это точка перегиба, которая меняет свое расположение по оси Ox в зависимости от значения параметра G_l (10).

Рассмотрим рис. 1. Opt – оптимальное значение решения задачи, p – эффективное решение задачи, \tilde{n} – значение издержек, полученных на предприятии, ok_l – l -е значение целевых издержек. Так как выше уже было отмечено, что целевые значения издержек неизвестны, тогда будем эти значения генерировать по формуле (10). Отсюда можно найти значение параметра α (11). На рис. 1 отображен случай для фиксированного значения ok_l . Значения категорий и границ эффективности зависят от конкретного значения ok_l . На нем видно, что в зависимости от значений целевых издержек эффективность решения может изменяться.

$$ok_l = (1 + G_l) * p, \quad (10)$$

$$p + \sqrt{\frac{1}{2\alpha}} = ok_l, \quad (11)$$

где G_l равномерно распределенная величина на интервале $[left; right]$; $l = 1: L$;

$p + \sqrt{\frac{1}{2\alpha}}$ – значение, где на оси On про-

ходит точка перегиба функции (9) в первой четверти.

Найдем категории и границы эффективности для каждого G_l . Для этого необходимо перейти к формулировке математической модели по определению границ

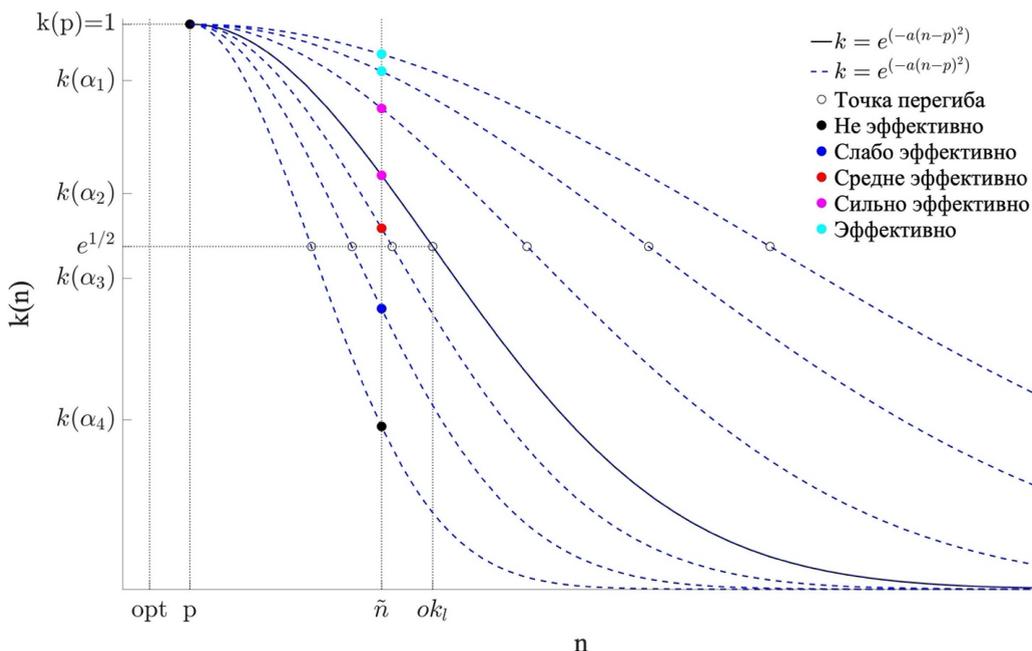


Рис. 1. Визуализация методики оценки эффективности на стадии поиска границ и категорий эффективности в зависимости от значения ok_l для случая $l = 4$

Fig. 1. Visualization of the effectiveness evaluation methodology at the stage of searching for boundaries and categories of effectiveness depending on the values ok_l for $l = 4$

и категорий эффективности. l -я оптимизационная модель примет вид (12):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{l-1} \varepsilon_i^2 \rightarrow \min \\ \frac{B_{i+1}(k(n))}{B_i(k(n))} = Q + \varepsilon_i, i = 0 : I \\ \infty > \alpha_l > \alpha_{l-1} > \dots > \alpha_1 > \alpha_0 \equiv p = \text{const} \\ 0 < k(n = \alpha_l) \leq \dots \leq k(n = \alpha_1) \leq k(n = \alpha_0) = 1 \\ k(n) = e^{-\alpha(n-p)^2} \\ \alpha = \frac{1}{2(ok_l - p)^2} \end{array} \right. , (12)$$

где ε_i – есть ошибка аппроксимации, значение α получено из (11), $l = 1 : L$.

Такую систему предполагается решать генетическим алгоритмом. На рис. 2 представлена визуализация решения модели (12) для случая $l = 4$. Красной точкой обозначена точка перегиба или целевое значение суммарных издержек.

4. Алгоритм поиска границ эффективности

Рассмотрим алгоритм для поиска решения для модели (12). Алгоритм поиска границ и категорий эффективности выглядит следующим образом:

Шаг 1: Положить значения $I, \varepsilon, J^*, \bar{u}, \bar{\mu}, \underline{u}, \underline{\mu}, p, \alpha$ где J^* – количество «особей для мутации», ε – заданная точность. Причем $\underline{\mu} > \bar{\mu}, \underline{u} > \bar{u}$. Перейти к шагу 2.

Шаг 2: $J = 1$. Сгенерировать решение $A_j = \{\alpha_{ij}\}_{i=1}^I, j = 1 : J$ случайным образом такое, чтобы удовлетворяла (9), где A_j j -й вектор значений $\{\alpha_j\}_{i=1}^I, \alpha_j$ – значение границ i у решения j . Положить $iter = i, J = J^*, iter = 1, \underline{iter} = 1$. Перейти к шагу 3.

Шаг 3: Если $(\underline{iter} > \underline{\mu}) \& (f_{\underline{iter}} = f_{\underline{iter} - \underline{\mu}})$, то $u_1 = u_1 - \underline{u}$.

Если $(\bar{iter} > \bar{\mu}) \& (f_{\bar{iter}} < f_{\bar{iter} - \bar{\mu}})$, то $u_1 = u_1 + \bar{u}$.

Перейти к шагу 4.

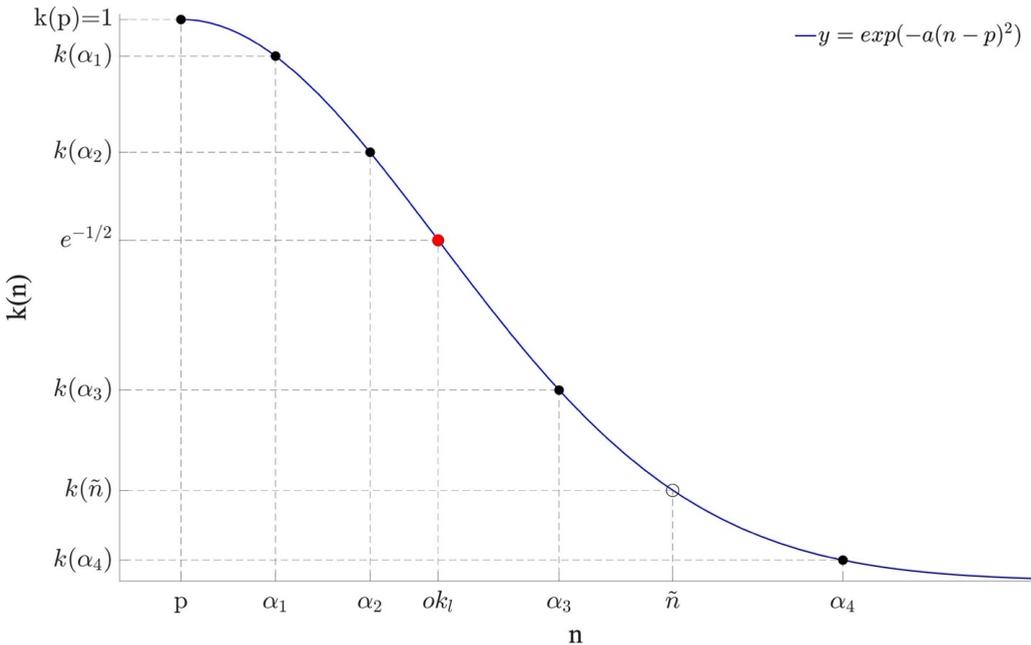


Рис. 2. Визуализация результата решения l -й модели (12) для случая $l = 4$
Fig. 2. Visualization of the result of solving the l -th model (12) for the case $l = 4$

Шаг 4: $\forall i, j \alpha_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{ij}$, где $\beta_{ij} \in [-u_1; u_1]$ и имеет равномерное распределение. Проверить A_j на допустимость на модели (12).

Если A_j допустимо – сохранить для дальнейшего рассмотрения. Иначе – стереть. Перейти к шагу 5.

Шаг 5: $\forall i, j > 0 \ \varepsilon_{ij} = \frac{B_{ij}}{B_{i+1j}} - Q$, где

B_{ij} – средневзвешенное значение функции оценки эффективности на интервале i для решения j , ε_{ij} – значение ошибки для i -го средневзвешенного значения j -го решения. Перейти к шагу 6.

Шаг 6: Определить

$$A_j : \forall j \arg \min \left(\sum_{i=1}^{l-1} \varepsilon_{ij}^2 \right) = A_j.$$

Перейти к шагу 7.

Шаг 7: Если $\sum_{i=1}^{l-1} \varepsilon_j^2(A_j) \leq \varepsilon$, то выход

из алгоритма.

Иначе $iter = iter + 1$, $\overline{iter} = \overline{iter} + 1$, $\underline{iter} = \underline{iter} + 1$ и перейти к шагу 3.

Конец алгоритма.

Рассмотрим предложенный алгоритм подробнее. Алгоритм общей своей идеей повторяет схему работы генетического алгоритма. Общая схема генетического алгоритма имеет вид:

1. Генерирование начального допустимого решения задачи. Перейти к 2.

2. Копирование имеющегося решения (увеличение числа структурно одинаковых решений (размножение)) и случайное изменение полученных решения (мутация). Перейти к 3.

3. Отбор на предмет допустимости (селекция), полученных решений и выбор лучшего решения. Перейти к 4.

4. Проверить критерий останова. Если выполнен, то выход из алгоритма, если нет, то перейти к 2.

Модификацией генетического алгоритма в этой работе явился шаг 3,

который является регулятором скорости сходимости к минимуму функции (12). Как отмечено на шаге 1, «ускорение» происходит реже, чем «торможение». Это обусловлено тем, что сильное «ускорение» не всегда дает возможность быстрее приблизиться к реальному решению в то время, как умеренное изменение скорости обеспечивает определение решения более близкого к оптимуму на относительно небольших интервалах, но за заметное большее время работы.

Для подсчета коэффициента эффективности Ω находим среднее взвешенное значение эффективности по формуле (13).

$$\Omega = \frac{\sum_{l=1}^L G_l * \gamma_l}{\sum_{l=1}^L G_l}, \quad (13)$$

где γ_l – категория эффективности от решения l модели (12). Для интерпретации коэффициента Ω воспользуемся системой (14), значения которой распределены равномерно.

$$\begin{cases} \text{неэффективным, при } \Omega \in [0; 1) \\ \text{слабо эффективным, при } \Omega \in [1; 2) \\ \text{сильно эффективным, при } \Omega \in [I-2; I-1) \\ \text{эффективным, при } \Omega \in [I-1; I) \end{cases}. \quad (14)$$

Рассмотрим ситуацию. Пусть известны границы эффективности, пусть категории эффективности заданы в соответствии с (8) и значение эффективности решения крайне близко к категории эффективности. В данной ситуации решение очень близко к оценке по качеству находящейся выше, но их разделяет категория эффективности, соответственно, они принадлежат разным категориям эффективности, хотя между ними расстояние крайне мало и им можно пренебречь, с экономической точки зрения. Описанная выше система оценивания

эффективности этого не учитывает. Получаем проблему границ.

Для решения этой проблемы воспользуемся методами нечетких множеств и нечеткой логики. Для этого введем:

1. Понятие z -окрестности категории эффективности, которая будет означать, что при малых $1 \gg z > 0$ граница эффективности расширяется в радиусе

$$\frac{z}{2} \text{-окрестности.}$$

Воспользуемся определением «нечеткой трапецией эффективности», которое означает, что с некоторой вероятностью $0 \leq u \leq 1\Omega$ принадлежит сразу двум категориям эффективности и геометрически принимает форму трапеции. Нечеткая функция оценки эффективности примет вид (15).

Пусть решение предприятия оценено в соответствии с вышеизложенным алгоритмом оценки эффективности и равно Ω , тогда Ω с вероятностью u_1 принадлежит одной категории эффективности решений, с вероятностью u_2 принадлежит другой категории эффективных решений. На рис. 3 подробно изложено выше описываемый процесс.

Можно заметить, что на последнем этапе $\Omega \in (I-1; I]$, одна из оценок u_1 или u_2 может быть не определена. Это связано со смещением оценивания. На каждом интервале Ω мы берем две смежные категории эффективности. Очевидно, что на последнем интервале такой пары быть не может.

5. Калибровка модели

Для проведения тестирования модели была выбрана задача, описанная в работе [5]. Краткая суть задачи заключается в поиске такого объема сырья, которое бы максимизировало прибыль предприятия от проданного объема конечных товаров и минимизировало бы

$$\theta = \begin{cases} \Omega + 1, & \Omega - \text{целое} \\ \lfloor \Omega \rfloor, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$u_1(\Omega) = \begin{cases} \frac{\Omega - \left(\theta - 1 + \frac{z}{2}\right)}{1 - z}, & \Omega \in \left[\theta - 1 + \frac{z}{2}; \theta - \frac{z}{2}\right] \\ 1, & \Omega \in \begin{cases} \left[\theta - \frac{z}{2}; \theta\right], & \text{если } (\theta = 1) \text{ и } (1\text{-нечетное}) \\ \left[\theta - \frac{z}{2}; \theta - 1 + \frac{z}{2}\right], & \text{иначе} \end{cases} \\ \frac{\Omega - \left(\theta - \frac{z}{2}\right)}{z - 1}, & \Omega \in \left[\theta - 1 + \frac{z}{2}; \theta - \frac{z}{2}\right] \\ 0, & \Omega \in \begin{cases} \left[0; \frac{z}{2}\right], & \text{если } \theta = 1 \\ \left[\theta - \frac{z}{2}; \theta - 1 + \frac{z}{2}\right], & \text{иначе} \\ \left[\theta - \frac{z}{2}; \theta\right], & \text{если } (\theta = 1) \text{ и } (1\text{-четное}) \end{cases} \\ \frac{\Omega - \left(\theta - \frac{z}{2}\right)}{z - 1}, & \Omega \in \left[\theta - 1 + \frac{z}{2}; \theta - \frac{z}{2}\right], \text{ если } (\theta < 1) \\ 0, & \Omega \in \begin{cases} \left[\theta - \frac{z}{2}; \theta\right], & \text{если } (\theta < 1) \text{ и } (1\text{-нечетное}) \\ \left[\theta - \frac{z}{2}; \theta - 1 + \frac{z}{2}\right], & \text{иначе} \end{cases} \end{cases}$$

$$u_2(\Omega) = \begin{cases} \frac{\Omega - \left(\theta - 1 + \frac{z}{2}\right)}{1 - z}, & \Omega \in \left[\theta - 1 + \frac{z}{2}; \theta - \frac{z}{2}\right] \\ 1, & \Omega \in \begin{cases} \left[0; \frac{z}{2}\right], & \text{если } \theta = 1 \\ \left[\theta - \frac{z}{2}; \theta - 1 + \frac{z}{2}\right], & \text{иначе} \\ \left[\theta - \frac{z}{2}; \theta\right], & \text{если } \left\{ \begin{array}{l} (\theta = 1) \text{ и } (1\text{-четное}) \\ (\theta < 1) \text{ и } (1\text{-нечетное}) \end{array} \right. \end{cases} \end{cases}$$

(15)¹

¹Исключительно для этой ситуации в работе положено значения $I \geq 2$.

издержки на покупку сырья с лесного отдела сырьевой биржи России². Однако мы рассмотрим лишь ее подзадачу – минимальное количество издержек при определении вектора закупок. В качестве алгоритма поиска эффективного решения была выбрана работа [6], т. к. этот алгоритм позволяет работать на большой выборке данных при минимальных временных затратах на поиск эффективного решения. Таким образом, после решения задачи были получены следующие данные из табл. 1.

Параметр 7 был получен посредством работы модели [5] и алгоритма [6], исходя из данных, предоставленных одним из предприятий лесопромышленной отрасли Приморского края. Параметр 8 был получен исходя внутренних данных, предоставленных предприятием для исследования. В основу было положено 5 границ, т. к. это стандартный набор границ для оценки эффективности, однако в случае необходимости или ввиду споров можно положить другое значение. В качестве значения L было решено положить число 15, т. к. авторы сочли его достаточно большим для проведения оценки эффективности. В качестве границы z было положено 5%-е допущение. Точность вычисления границ, согласно алгоритму, изложенному выше, определяется значением $1e - 2$.

6. Обсуждение результатов

В табл. 2 полужирным выделены границы, в диапазон которых попадает значение $\tilde{\eta}$.

Исходя из данных табл. 1 можно сделать вывод о том, что предприятие с высокой вероятностью осуществило сильно эффективное решение по покупке сырья с биржи.

²Официальный сайт Санкт-Петербургской международной товарно-сырьевой биржи (АО «СПБМТСБ»).

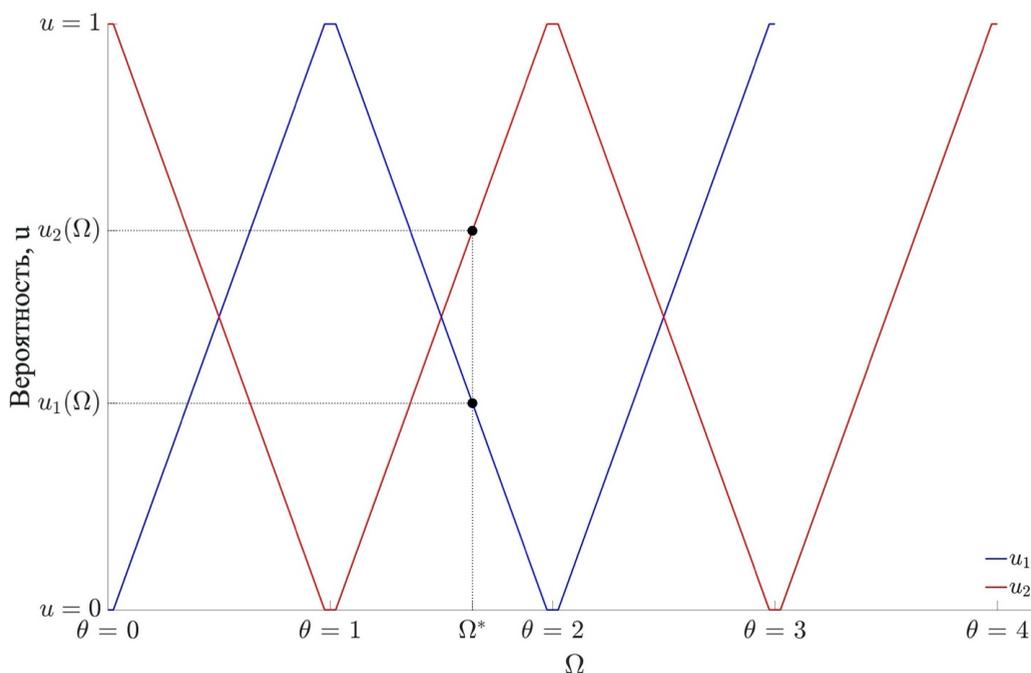


Рис. 3. Визуализация применения метода нечетких множеств для решения проблемы границ в случае $l = 4$

Fig. 3. Visualization of the application of the method of fuzzy sets to solve the problem of boundaries in the case $l = 4$

Таблица 1. Значение входных параметров для оценки эффективности решения, полученного на предприятии

Table 1. The value of the input parameters for assessing the effectiveness of the solution obtained at the enterprise

№	Параметр	Значение
1	L , ед.	15
2	I , ед.	4
3	$left$	0,1
4	$right$	0,5
5	z	0,05
6	ε	
7	p , млн руб.	30,151
8	\tilde{n} , млн руб.	75,331
9	J^* , ед.	10 000
10	\bar{u}	5
11	$\bar{\mu}$	4
12	\underline{u}	2
13	$\underline{\mu}$	1

Источник: составлено авторами (1–7), (9–13), данные предприятия (8).

Таблица 2. Результаты работы алгоритма по поиску категорий и границ эффективности

Table 2. The results of the algorithm for finding categories and efficiency boundaries

$g_l \setminus \alpha_i$	p	α_1	α_2	α_3	α_4	$\sum_{i=1}^{l-1} \epsilon_i^2$	γ
0.1	30,151	107,78	112,547	250,141	322,674	0,00056	0
0.127	30,151	80,284	96,537	192,192	269,749	0,00054	0
0.153	30,151	62,25	86,838	156,608	239,932	0,00047	1
0.18	30,151	53,347	81,907	138,567	220,161	0,00019	1
0.207	30,151	45,791	76,912	122,008	203,542	0,00053	1
0.233	30,151	40,112	72,49	111,41	196,152	0,00064	2
0.26	30,151	39,254	71,931	109,616	199,796	0,00089	2
0.287	30,151	44,672	77,035	124,49	231,841	0,0007	1
0.313	30,151	50,308	79,951	141,814	253,059	0,00088	1
0.34	30,151	52,509	82,127	152,082	269,185	0,00024	1
0.367	30,151	49,736	80,434	146,877	255,208	0,00075	1
0.393	30,151	47,182	79,778	145,813	248,585	0,00088	1
0.42	30,151	45,374	80,681	148,7	250,728	0,0004	1
0.447	30,151	43,259	77,533	143,06	241,936	0,00069	1
0.473	30,151	44,105	80,178	143,085	241,277	0,00098	1
—	—	—	—	—	Средне- взвешен- ное зна- чение:	0.000625	1,062

Источник: составлено авторами.

Кроме того, видно, что в двух случаях алгоритм оценил эффективность работы предприятия, как среднее ($g_l = 0,233; 0,26$). Этот факт связан с характером функции и ее точкой перегиба. По мере того, как граница эффективности заходит за точку перегиба функции оценки эффективности, происходит резкое удаление границы от точки перегиба по геометрическим соображениям.

На рис. 4 можно увидеть визуализацию процесса оценки эффективности, согласно (15).

Рассмотрим возможности по модификации разработанной модели.

Здесь можно отметить важность внедрения в модель точного расчета количество границ. Этот фактор очень часто встречается в работах по оценке эффективности предприятий различных направленностей, однако сегодня это так и остается открытым вопросом [34].

Отметим, что положительно на оценке эффективности могло бы сказаться модификация данной модели исключительно под процессы

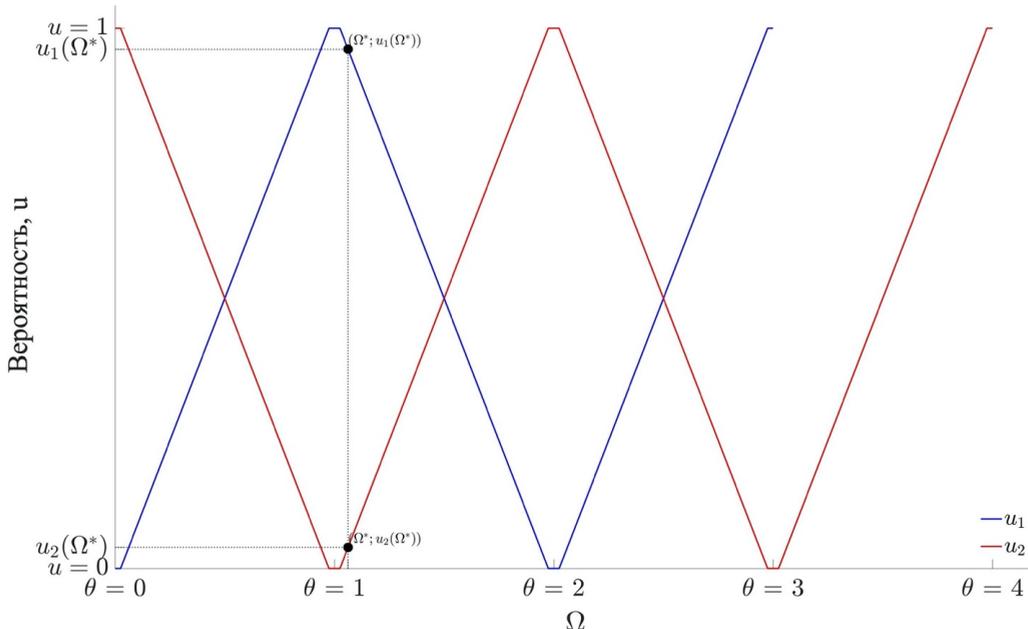


Рис. 4. Визуализация результата работы модели (15) для нечеткой оценки эффективности
Fig. 4. Visualization of the result of the model (15) for fuzzy assessment of efficiency

лесопромышленной отрасли. Этот момент мог бы предоставить более четкую картину по оценке эффективности предприятия.

Стоит отметить, что частично линейная зависимость в (15) является допущением. Достоверно остается неизвестным ответ на вопрос о природном характере вероятностных характеристик при внедрении нечеткого подхода в процесс оценивания эффективности принятых решений. Также стоит вопрос об оптимальном алгоритме по поиску решения для модели (12), т. к. последняя относится к классу нелинейных.

7. Заключение

В работе представлена одна из возможных систем оценивания эффективности предприятия, используя модель оптимизации для определения границ эффективности (категорий эффективности). Математическая модель позволяет определять значения для границ и категорий эффективности и отличается возможностью при заранее неизвестном

значении целевых издержек предприятия на закупку сырья оценить эффективность принятого решения по формированию цепочек поставок с биржи. Модель также включает в себя нечетко-множественную систему оценки эффективности, т. к. в работе показано, что возникают проблемы границ по экономическим причинам. Показано, что полученная нелинейная модель математического программирования требует использования эвристических подходов при поиске решений. С практической точки зрения, модель представляет собой систему по оценке эффективности предприятий, занимающихся производством из области лесопромышленной отрасли и формирующих цепочки поставок сырья из отдаленных регионов. Данная оценка может быть полезна при определении инвестором в какое из предприятий следует инвестировать для большей отдачи.

Проведена апробация алгоритма и модели. В ходе апробации показано, что границы эффективности изменяются и в результате имеют разные

категории эффективности при разных значениях целевых издержек из-за характера функции оценки эффективности. Можно совершенно точно утверждать о подтверждении гипотезы исследования о том, что существует возможность оценить эффективность предприятия при отсутствии данных о реальных целевых издержках предприятия.

Список использованных источников

1. *Stewart G.* Supply-chain operations reference model (SCOR): the first cross industry framework for integrated supplychain management // *Logistics Information System*. 1997. Vol. 10, No. 2. Pp. 62–67. DOI: 10.1108/09576059710815716.
2. *Aparicio-Peralta C. C., Halabi-Echeverry A. X., Puentes-Parodi A.* Sustainable requirements and value proposition for milk Ultra-high temperature (UHT) packaging // *Supply Chain Forum: An International Journal*. 2020. Vol. 21, Issue 1. Pp. 16–25. DOI: 10.1080/16258312.2019.1642138.
3. *Yee C. L., Tan K. H.* A process and tool for supply network analysis // *Industrial Management and Data Systems*. 2004. Vol. 104, No. 4. Pp. 355–363. DOI: 10.1108/02635570410530766.
4. *Rao P., Holt D.* Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance? // *International Journal of Production Management*. 2005. Vol. 25, No. 9. Pp. 898–916. DOI: 10.1108/01443570510613956.
5. *Рогулин Р. С.* Модель оптимизации плана закупок сырья из регионов России лесоперерабатывающим комплексом // *Бизнес-информатика*. 2020. № 4. С. 19–35. DOI: 10.17323/2587–814X.2020.4.19.35.
6. *Рогулин Р. С., Мазелус Л. С.* Алгоритм и математическая модель формирования устойчивых цепочек поставок древесного сырья из регионов России: сравнение и анализ // *Вестник Пермского университета. Серия «Экономика»*. 2020. Том 15, № 3. С. 385–404. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-385-404.
7. *Ross-Smith K. K., Yearworth M.* Dynamics of operational procurement: systems modelling for performance tracking and auditing // *Proceedings of 29th International System Dynamics Conference*. 2011. Pp. 1–22. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.semanticscholar.org/paper/Dynamics-of-operational-procurement%3A-systems-for-Ross-Smith-Yearworth/2df93497b83e299534b31755fff71ba809432ad3>.
8. *Bullinger H.-J., Kühner M., Van Hoof A.* Analysing supply chain performance using a balanced measurement method // *International Journal of Production Research*. 2002. Vol. 40, Issue 15. Pp. 3533–3543. DOI: 10.1080/00207540210161669.
9. *Gunasekaran A., Patel C., Mcgaughey R. E.* A framework for supply chain performance measurement // *International Journal of Production Economics*. 2004. Vol. 87, Issue 3. Pp. 333–347. DOI: 10.1016/j.ijpe.2003.08.003.
10. *Thakkar J., Kanda A., Deshmukh S. G.* Supply chain performance measurement framework for small and medium scale enterprises // *Benchmarking: An International Journal*. 2009. Vol. 16, Issue 5. Pp. 702–723. DOI: 10.1108/14635770910987878.
11. *Askariazad M., Wanous M.* A proposed value model for prioritising supply chain performance measures // *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*. 2009. Vol. 1, No. 2/3. Pp. 115–128. DOI: 10.1504/IJBPSM.2009.030637.
12. *Mishra P., Sharma R. K.* Benchmarking SCM performance and empirical analysis: A case from paint industry // *Logistics Research*. 2014. Vol. 7. Article number: 113. DOI: 10.1007/s12159-014-0113-0.
13. *Bagloee S. A., Shnaiderman M., Tavana M., Ceder A.* A logit-based model for facility placement planning in supply chain management // *International Journal of Logistics Systems Management*. 2015. Vol. 20, No. 1. Pp. 122–147. DOI: 10.1504/IJLSM.2015.065976.

14. Govindan K., Mangla S. K., Luthra S. The Management of Operations Prioritising indicators in improving supply chain performance using fuzzy AHP: insights from the case example of four Indian manufacturing companies // *Production Planning & Control. The Management of Operations*. 2017. Vol. 28, Issue 6–8: Improving Supply Chain Performance through Management Capabilities. Pp. 552–573. DOI: 10.1080/09537287.2017.1309716.
15. Qazi A., Dickson A., Quigley J., Gaudenzi B. Supply chain risk network management: A Bayesian belief network and expected utility-based approach for managing supply chain risks // *International Journal of Production Economics*. 2018. Vol. 196. Pp. 24–42. DOI: 10.1016/j.ijpe.2017.11.008.
16. Venkatesh V. G., Zhang A., Deakins E., Luthra S., Mangla S. A fuzzy AHP-TOPSIS approach to supply partner selection in continuous aid humanitarian supply chains // *Annals of Operations Research*. 2019. Vol. 283, Issue 1. Pp. 1517–1550. DOI: 10.1007/s10479-018-2981-1.
17. Anand M., Sahay B. S., Saha S. Balanced Scorecard in Indian Companies // *Vikalpa*. 2005. Vol. 30, Issue 2. Pp. 11–26. DOI: 10.1177/0256090920050202.
18. Davis E. W., Spekman R. E. The Extended Enterprise: Gaining Competitive Advantage Through Collaborative Supply Chains. Pearson Education, 2004. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.amazon.com/Extended-Enterprise-Competitive-Advantage-Collaborative/dp/0130082740>.
19. Chai J., Liu J. N. K., Ngai E. W. T. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature // *Expert Systems with Applications*. 2013. Vol. 40, Issue 10. Pp. 3872–3885. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.12.040.
20. Trivedi A., Rajesh K. A Framework for Performance Measurement in Supply Chain Using Balanced Score Card Method: A Case Study // *International Journal of Recent Trends Mechanisms in Engineering*. 2013. Vol. 1. Pp. 20–23.
21. Khanaposhitani G. F., Jafari S. S., Ariana F. Formulating the supply chain strategy of automotive industry in Iran using balanced Scorecard, system Dynamics, and Game Theory // *Marketing and Branding Research*. 2017. Vol. 4. Pp. 135–147. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3343282.
22. Xia D., Yu Q., Gao Q., Cheng G. Sustainable technology selection decision-making model for enterprise in supply chain: Based on a modified strategic balanced scorecard // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 141. Pp. 1337–1348. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.083.
23. Rasolofoa-Distler F., Distler F. Using the balanced scorecard to manage service supply chain uncertainty: Case studies in French real estate services // *Knowledge of Process Management*. 2018. Vol. 25, Issue 3. Pp. 129–142. DOI: 10.1002/kpm.1572.
24. Thanki S., Thakkar J. A quantitative framework for lean and green assessment of supply chain performance // *International Journal of Productivity and Performance Management*. 2018. Vol. 67, No. 2. Pp. 366–400. DOI: 10.1108/IJPPM-09-2016-0215.
25. Mentzer J. T., Dewitt W., Keebler J. S., Min S., Nix N. W., Smith C. D., Zacharia Z. G. Defining supply chain management // *Journal of Business Logistics*. 2001. Vol. 22, Issue 2. Pp. 1–25. DOI: 10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x.
26. Harland C. M., Lamming R. C., Phillips W. E., Caldwell N. D., Johnsen T. E., Knight L. A., Zheng J. Supply management: is it a discipline? // *International Journal of Operations & Production Management*. 2006. Vol. 26, Issue 7. Pp. 730–753. DOI: 10.1108/01443570610672211.
27. José M., González-Varona D. P., Acebes F., Villafañez F., Pajares J., López-Paredes Ad. New Business Models for Sustainable Spare Parts Logistics: A Case Study // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Issue 8. P. 3071. DOI: 10.3390/su12083071.
28. Chen I. J., Paulraj A. Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements // *Journal of Operations Management*. 2004. Vol. 22, Issue 2. Pp. 119–150. DOI: 10.1016/j.jom.2003.12.007.
29. Ellram L. M., Cooper M. C. Supply Chain Management, partnership and the supplier, third party relationship // *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 1990. Vol. 1, No. 2. Pp. 1–10. DOI: 10.1108/95740939080001276.

30. Siwaphong K., Krerkkiat Ch., Alhawari O., Gursel S. A Genetic Algorithm Approach for Multi Objective Cross Dock Scheduling in Supply Chains // *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 39. Pp. 1139–1148. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.356.

31. Yun Y., Chuluunsukh A., Gen M. Sustainable Closed-Loop Supply Chain Design Problem: A Hybrid Genetic Algorithm Approach // *Mathematics*. 2020. Vol. 8, Issue 1. P. 84. DOI: 10.3390/math8010084.

32. Taheri S., Beheshtinia M. A Genetic Algorithm Developed for a Supply Chain Scheduling Problem // *Iranian Journal of Management Studies*. 2019. Vol. 12, Issue 2. Pp. 281–306. DOI: 10.22059/ijms.2019.254633.673069.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Роголин Родион Сергеевич

Ассистент кафедры математики и моделирования Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, г. Владивосток, Россия (690014, Приморский край, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41); ORCID 0000-0002-3235-6429; e-mail: rafassiaofusa@mail.ru.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была подготовлена при поддержке DAAD (German Academic Exchange Service) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы «Иммануил Кант».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Роголин Р. С. Модель оценки эффективности формирования лесопромышленными предприятиями устойчивых цепочек поставок сырья // *Journal of Applied Economic Research*. 2021. Т. 20, № 1. С. 148–168. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.1.007.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 2 ноября 2020 г.; дата поступления после рецензирования 9 января 2021 г.; дата принятия к печати 23 января 2021 г.

Model for Assessing the Effectiveness of the Formation of Sustainable Supply Chains of Raw Materials by Timber Industry Enterprises

R. S. Rogulin  

Vladivostok State University Economy and Service,
Vladivostok, Russia
 rafassiaofusa@mail.ru

Abstract. The paper presents a model for evaluating the effectiveness of enterprise decisions on the formation of the vector of procurement of raw materials at the timber exchange based on the volume of costs incurred. Enterprises usually set themselves the goal of incurring costs no higher than the target costs, so it becomes very important to take this factor into account during the process of evaluating efficiency. The evaluator does not always know the level of target costs, in response to which such levels are generated in the work, and for each of them the effectiveness is evaluated and an average value is taken. To calculate the efficiency indicator, a non-linear economic and mathematical model was built, which differs in the calculation of the boundary costs (efficiency boundaries) that determine the categories of efficiency. The article applies the principle of the golden ratio to determine the boundaries and categories of effectiveness. The aim of the work is to draw up a mathematical model and a heuristic algorithm that allows for evaluating the effectiveness of a decision made at the enterprise for the formation of supply chains for raw materials, which is distinguished by the ability to take into account the generated different indicators of target costs and calculate the boundaries and categories of efficiency. The hypothesis of the study is the possibility of assessing the effectiveness of the decision made at the enterprise in the formation of sustainable supply chains of raw materials, provided that the evaluator is not aware of the level of targeted costs. The nonlinearity of the mathematical model predetermined the construction of a heuristic algorithm for finding the solution. With the estimate obtained, the problem of borders appears due to economic reasons. To solve this problem, the methods of fuzzy sets and fuzzy logic were used. The algorithm and model were tested on the data of one of the enterprises of the Primorsky Territory. In the course of pilot application, it was shown that the boundaries of efficiency change and, as a result, have different categories of efficiency at different values of the target costs due to the nature of the efficiency assessment function. The results of the model and algorithm test showed the effectiveness of the efficiency evaluation scheme.

Key words: efficiency assessment; genetic algorithm; efficiency function; efficiency boundaries; theory and methods of optimization; economic analysis; timber industry.

JEL M52, C61.

References

1. Stewart, G. (1997). Supply-chain operations reference model (SCOR): the first cross industry framework for integrated supplychain management. *Logistics Information System*, Vol. 10, No. 2, 62–67. DOI: 10.1108/09576059710815716.
2. Aparicio-Peralta, C.C., Halabi-Echeverry, A.X., Puentes-Parodi, A. (2020). Sustainable requirements and value proposition for milk Ultra-high temperature (UHT) packaging. *Supply Chain Forum: An International Journal*, Vol. 21, Issue 1, 16–25. DOI: 10.1080/16258312.2019.1642138.

3. Yee, C. L., Tan, K. H. (2004). A process and tool for supply network analysis. *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 104, No. 4, 355–363. DOI: 10.1108/02635570410530766.
4. Rao, P., Holt, D. (2005). Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance? *International Journal of Production Management*, Vol. 25, No. 9, 898–916. DOI: 10.1108/01443570510613956.
5. Rogulin, R. S. (2020). Model optimizatsii plana zakupok syrya iz regionov Rossii lesopererabatyvaiushchim kompleksom (A model for optimizing plans for procurement of raw materials from regions of Russia in a timber-processing enterprise). *Biznes-informatika (Business Informatics)*, No. 4, 19–35. DOI: 10.17323/2587–814X.2020.4.19.35.
6. Rogulin, R. S., Mazelis, L. S. (2020). Algoritm i matematicheskaia model formirovaniia ustoichivyykh tsepochek postavok drevesnogo syrya iz regionov Rossii: sravnenie i analiz (Algorithm And Mathematical Model Of Supply Chain Management For Raw Wood From The Regions In Russia: Comparison And Analysis). *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Ekonomika» (Perm University Herald. Economy)*, Vol. 15, No. 3, 385–404. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-385-404.
7. Ross-Smith, K.K., Yearworth, M. (2011). Dynamics of operational procurement: systems modelling for performance tracking and auditing. *Proceedings of 29th International System Dynamics Conference*, 1–22. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Dynamics-of-operational-procurement%3A-systems-for-Ross-Smith-Yearworth/2df93497b83e299534b31755fff71ba809432ad3>.
8. Bullinger, H.-J., Kühner, M., Van Hoof, A. (2002). Analysing supply chain performance using a balanced measurement method. *International Journal of Production Research*, Vol. 40, Issue 15, 3533–3543. DOI: 10.1080/00207540210161669.
9. Gunasekaran, A., Patel, C., Mcgaughey, R. E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*, Vol. 87, Issue 3, 333–347. DOI: 10.1016/j.ijpe.2003.08.003.
10. Thakkar, J., Kanda, A., Deshmukh, S. G. (2009). Supply chain performance measurement framework for small and medium scale enterprises. *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 16, Issue 5, 702–723. DOI: 10.1108/14635770910987878.
11. Askariazad, M., Wanous, M. (2009). A proposed value model for prioritising supply chain performance measures. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, Vol. 1, No. 2/3, 115–128. DOI: 10.1504/IJBPSM.2009.030637.
12. Mishra, P., Sharma, R. K. (2014). Benchmarking SCM performance and empirical analysis: A case from paint industry. *Logistics Research*, Vol. 7, Article number: 113. DOI: 10.1007/s12159-014-0113-0.
13. Bagloee, S. A., Shnaiderman, M., Tavana, M., Ceder, A. (2015). A logit-based model for facility placement planning in supply chain management. *International Journal of Logistics Systems Management*, Vol. 20, No. 1, 122–147. DOI: 10.1504/IJLSM.2015.065976.
14. Govindan, K., Mangla, S. K., Luthra, S. (2017). The Management of Operations Prioritising indicators in improving supply chain performance using fuzzy AHP: insights from the case example of four Indian manufacturing companies. *Production Planning & Control. The Management of Operations*, Vol. 28, Issue 6–8: Improving Supply Chain Performance through Management Capabilities, 552–573. DOI: 10.1080/09537287.2017.1309716.
15. Qazi, A., Dickson, A., Quigley, J., Gaudenzi, B. (2018). Supply chain risk network management: A Bayesian belief network and expected utility-based approach for managing supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, Vol. 196, 24–42. DOI: 10.1016/j.ijpe.2017.11.008.
16. Venkatesh, V. G., Zhang, A., Deakins, E., Luthra, S., Mangla, S. (2019). A fuzzy AHP-TOPSIS approach to supply partner selection in continuous aid humanitarian supply chains. *Annals of Operations Research*, Vol. 283, Issue 1, 1517–1550. DOI: 10.1007/s10479-018-2981-1.

17. Anand, M., Sahay, B. S., Saha, S. (2005). Balanced Scorecard in Indian Companies. *Vikalpa*, Vol. 30, Issue 2, 11–26. DOI: 10.1177/0256090920050202.
18. Davis, E. W., Spekman, R. E. (2004). *The Extended Enterprise: Gaining Competitive Advantage Through Collaborative Supply Chains*. Pearson Education. Available at: <https://www.amazon.com/Extended-Enterprise-Competitive-Advantage-Collaborative/dp/0130082740>.
19. Chai, J., Liu, J. N. K., Ngai, E. W. T. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems with Applications*, Vol. 40, Issue 10, 3872–3885. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.12.040.
20. Trivedi, A., Rajesh, K. (2013). A Framework for Performance Measurement in Supply Chain Using Balanced Score Card Method: A Case Study. *International Journal of Recent Trends Mechanisms in Engineering*, Vol. 1, 20–23.
21. Khanaposhtani, G. F., Jafari, S. S., Ariana, F. (2017). Formulating the supply chain strategy of automotive industry in Iran using balanced Scorecard, system Dynamics, and Game Theory. *Marketing and Branding Research*, Vol. 4, 135–147. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3343282.
22. Xia, D., Yu, Q., Gao, Q., Cheng, G. (2017). Sustainable technology selection decision-making model for enterprise in supply chain: Based on a modified strategic balanced scorecard. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 141, 1337–1348. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.083.
23. Rasolofo-Distler, F., Distler, F. (2018). Using the balanced scorecard to manage service supply chain uncertainty: Case studies in French real estate services. *Knowledge of Process Management*, Vol. 25, Issue 3, 129–142. DOI: 10.1002/kpm.1572.
24. Thanki, S., Thakkar, J. (2018). A quantitative framework for lean and green assessment of supply chain performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 67, No. 2, 366–400. DOI: 10.1108/IJPPM-09-2016-0215.
25. Mentzer, J. T., Dewitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, Issue 2, 1–25. DOI: 10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x.
26. Harland, C. M., Lamming, R. C., Phillips, W. E., Caldwell, N. D., Johnsen, T. E., Knight, L. A., Zheng, J. (2006). Supply management: is it a discipline? *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 26, Issue 7, 730–753. DOI: 10.1108/01443570610672211.
27. José, M., González-Varona, D. P., Acebes, F., Villafañez, F., Pajares, J., López-Paredes, Ad. (2020). New Business Models for Sustainable Spare Parts Logistics: A Case Study. *Sustainability*, Vol. 12, Issue 8, 3071. DOI: 10.3390/su12083071.
28. Chen, I. J., Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. *Journal of Operations Management*, Vol. 22, Issue 2, 119–150. DOI: 10.1016/j.jom.2003.12.007.
29. Ellram, L. M., Cooper, M. C. (1990). Supply Chain Management, partnership and the supplier, third party relationship. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 1, No. 2, 1–10. DOI: 10.1108/95740939080001276.
30. Siwaphong, K., Kreckkiat, Ch., Alhawari, O., Gursel, S. (2019). A Genetic Algorithm Approach for Multi Objective Cross Dock Scheduling in Supply Chains. *Procedia Manufacturing*, Vol. 39, 1139–1148. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.356.
31. Yun, Y., Chuluunsukh, A., Gen, M. (2020). Sustainable Closed-Loop Supply Chain Design Problem: A Hybrid Genetic Algorithm Approach. *Mathematics*, Vol. 8, Issue 1, 84. DOI: 10.3390/math8010084.
32. Taheri, S., Beheshtinia, M. (2019). A Genetic Algorithm Developed for a Supply Chain Scheduling Problem. *Iranian Journal of Management Studies*, Vol. 12, Issue 2, 281–306. DOI: 10.22059/ijms.2019.254633.673069.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Rogulin Rodion Sergeevich

Assistant, Department of Mathematics and Modeling, Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, Russia (690014, Primorsky Territory, Vladivostok, Gogol street, 41); ORCID 0000-0002-3235-6429; e-mail: rafassiaofusa@mail.ru.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the DAAD (German Academic Exchange Service) and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the «Immanuel Kant» program.

FOR CITATION

Rogulin R. S. Model for Assessing the Effectiveness of the Formation of Sustainable Supply Chains of Raw Materials by Timber Industry Enterprises. *Journal of Applied Economic Research*, 2021, Vol. 20, No. 1, 148–168. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.1.007.

ARTICLE INFO

Received November 2, 2020; Revised January 9, 2021; Accepted January 23, 2021.

