

Логистическая модель организации производства на основе концепции ресурсосбережения

© И. Н. Омельченко, Е. В. Елисеева

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Исследованы основные проблемы машиностроительного производства, создающие высокую себестоимость выпускаемой продукции. Для снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности продукции необходима модернизация производства, связанная с обеспечением экономической эффективности сокращения вредных выбросов и внедрения малоотходного производства. Представлена новая концепция организации производства — устойчивого ресурсосберегающего развития. Разработана логистическая модель организации производства на основе устойчивого ресурсосберегающего развития, предложен метод оценки ее эффективности.

Ключевые слова: устойчивое развитие, логистика, экономико-математическая модель, ресурсосбережение, организация производства.

Введение. Известно, что машиностроение является базовой отраслью, обеспечивающей технический уровень производства и обороноспособность страны. Оно влияет на важнейшие удельные показатели валового внутреннего продукта (материалоемкость, энергоемкость и т.д.) и производительность труда в отраслях народного хозяйства. От степени развитости машиностроения зависят устойчивость и эффективность развития других секторов и всей экономики в целом.

Однако на российских машиностроительных предприятиях проблемам рационального использования производственных ресурсов не уделяется достаточного внимания. Высокая себестоимость выпускаемой продукции, обусловленная значительными затратами на сырье, энергоресурсы, воду, а также большие объемы образующихся отходов основных производств, которые не используются вторично и создают опасность загрязнения окружающей среды, снижают конкурентоспособность машиностроительных предприятий.

Хотя из большого числа промышленных выбросов, попадающих в окружающую среду, на машиностроение приходится незначительная часть, важно отметить, что на машиностроительных предприятиях имеются основные и обеспечивающие технологические процессы и производства с весьма высоким уровнем загрязнения окружающей среды. К ним относятся: внутриводное энергетическое производство и другие процессы, связанные со сжиганием топлива: литейное производство; металлообработка конструкций и отдельных деталей; сварочное, гальваническое,

лакокрасочное производство. Высокие платежи (налоги) в сфере природопользования и охраны окружающей среды существенно влияют на эффективность производства и себестоимость выпускаемой продукции.

Таким образом, необходима модернизация производства, связанная с обеспечением как экономической эффективности, так и сокращения вредных выбросов и внедрения малоотходного производства.

В настоящее время существующих традиционных методов организации производства [1], используемых на предприятиях, становится недостаточно. В соответствии с этим ведется поиск концепций, позволяющих наряду с уменьшением воздействия на окружающую среду содействовать снижению затрат предприятия.

В конце XX в. после кризисных явлений, имевших место во многих странах, активно стала развиваться концепция устойчивого развития социально-экономических систем. Изначально «устойчивое развитие» относилось к экономике в целом, подразумевая такое развитие, при котором удовлетворяются нужды текущих поколений без причинения ущерба будущим [2]. Поскольку производство является неотъемлемой частью общества, то фокус анализа устойчивости на макроуровне постепенно переносится на уровень производства и предприятия. Важно отметить, что обеспечение устойчивого развития производства возможно только на основе принципов ресурсосбережения.

Возрастающее количество исследований и публикаций в области устойчивого развития социально-экономических систем, предприятий, производства подтверждает актуальность этой темы.

Серьезным сдерживающим фактором в реализации оптимального ресурсосберегающего управления динамическими процессами является отсутствие алгоритмов, поскольку известные подходы к обеспечению устойчивого развития предприятия носят описательный характер и представляют собой информационные модели, описывающие рекомендации по обеспечению устойчивого развития на основе организационных преобразований. Разработанные национальные стандарты в области ресурсосбережения [2, 3, 4] определяют и унифицируют основные понятия, связанные с ресурсосбережением.

Цель данной статьи — разработка и реализация метода ресурсосберегающего развития на производстве и оценка его с точки зрения экономически устойчивого и экологически эффективного развития.

Основные принципы устойчивого развития производства. Устойчивое развитие социально-экономических систем представляет собой достижение баланса между экономическим ростом, интересами общества и сохранностью окружающей среды [3].

На основе общих подходов к устойчивому развитию и организации производства можно выделить основные критерии устойчивого ресурсосберегающего развития применительно к производству:

- снижение материалоемкости и энергоемкости конечной продукции и ее производства;
- минимизация отходов и выбросов в окружающую среду;
- переработка и повторное использование отдельных компонентов при производстве продукции;
- утилизация продукции и отходов, которые нельзя повторно использовать;
- внедрение ресурсосберегающих технологий в производство продукции;
- постоянное улучшение технологических процессов производства;
- учет социальной ответственности в производстве.

Аналізу и оценке в концепции устойчивого развития подлежит производственная цепочка — от производства машиностроительной продукции до эксплуатации произведенной продукции и размещения отходов производства и потребления в окружающей среде. Весь комплекс сложных взаимосвязей между производством продукции и окружающей средой может быть представлен с помощью концепции жизненного цикла (ЖЦ) продукции в виде производственной цепочки (рис. 1). С точки зрения управления воздействием на окружающую среду (экологического менеджмента) ЖЦ представляет собой совокупность последовательных и взаимосвязанных стадий производственной цепочки.

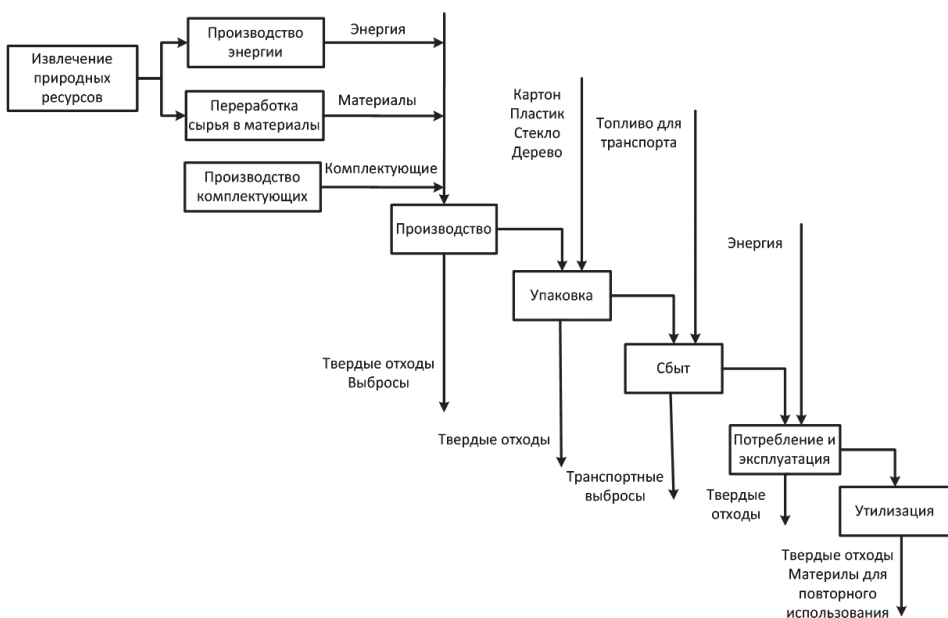


Рис. 1. Производственная цепочка изделия

Анализ ЖЦ позволяет произвести оценку ресурсных потоков каждого звена производственной цепочки, тем самым давая возможность управлять и изменять входные и выходные потоки и, как следствие, повышать интегральную ресурсную эффективность производства и минимизировать воздействие на окружающую среду.

Производственная система предприятия — совокупность материально и энергетически взаимосвязанных процессов, реализующих одну или более определенных функций. Производственные системы включают единичные процессы, элементарные потоки материалов и энергии и потоки продукции, которые пересекают границы системы, а также потоки промежуточных продуктов и внутри системы.

Модель производственной цепочки на уровне предприятия, которая включает совокупность моделей производственных систем, необходима для проведения анализа ресурсов на предприятии.

Важнейшие факторы реализации перехода к устойчивому развитию — создание и эксплуатация высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, которые обеспечивают производство высококачественной, экологически безопасной продукции с оптимальной материалоемкостью и энергоемкостью. Таким образом, необходим новый подход к организации производства, основанный на минимизации ресурсопотребления, с экологической оценкой воздействия процессов переработки ресурсов на окружающую среду.

Применение методологии логистики для решения задач ресурсосбережения на производстве. Управление промышленным предприятием как системой потоковых процессов осуществляется путем управления ресурсами и внешними воздействиями. В основе современных методов организации производства лежит логистический подход, который представляет собой интегрированное управление бизнес-процессами по продвижению материальных и сопутствующих им информационных потоков от источника его возникновения до конечного потребителя с целью достижения максимальной эффективности деятельности предприятия. Использование методологии логистики — одно из основных условий снижения издержек производства и повышения эффективности использования производственных ресурсов предприятия. Выступая в роли экономически эффективного механизма управления производством, методология логистики может быть применена и для оценки воздействия производственной деятельности на окружающую среду.

Таким образом, для внедрения концепции устойчивого ресурсосберегающего развития на предприятии необходимо расширить существующие логистические подходы организации производства с учетом стандартов оценки ресурсных потоков производственных систем и их воздействий на окружающую среду.

Наиболее известной и эффективной логистической концепцией, направленной на ресурсосбережение, является концепция «точно в срок» (Just-in-Time). Эта концепция основана на синхронизации процессов доставки материальных ресурсов и готовой продукции в необходимых количествах к тому времени, когда звенья логистической системы в них нуждаются, с целью минимизации затрат, связанных с созданием запасов. При такой постановке страховые запасы, иммобилизирующие денежные средства предприятия-производителя, оказались ненужными. Концепция «точно в срок» была основана на синхронизации таких логистических функций, как снабжение и производство, и в дальнейшем успешно применена в системах сбыта готовой продукции.

В качестве основы модели ресурсосберегающего производства будем использовать методологию концепции Just-in-Time. Применительно к производству машиностроительной продукции, которая имеет достаточно длительный технологический цикл, для обеспечения непрерывного производства с минимизацией общих затрат материальные ресурсы необходимо заказывать не к началу производственного цикла, а к началу той технологической операции, при которой возникает в них потребность.

Логистическая модель организации производства на основе ресурсосбережения. На основе принципов устойчивого развития методологии логистики и концепции Just-in-Time сформулируем основную логистическую задачу организации производства на основе ресурсосбережения.

Основная логистическая задача организации производства: определить, какие виды материальных ресурсов необходимо заказывать, в каком объеме и в какое время для обеспечения непрерывного экономически эффективного и экологически чистого производства машиностроительной продукции.

Для решения поставленной задачи введем следующие ограничения:

- заказы готовой продукции известны и подтверждены;
- производственные, перерабатывающие мощности и мощности системы хранения определены;
- в соответствии с производственно-календарным планированием определена потребность материальных ресурсов для производства;
- известна стоимость заказов всех видов материальных ресурсов;
- известны компоненты и детали (твердые отходы и бракованная продукция), которые могут быть переработаны и использованы повторно в производстве;
- известна стоимость переработки определенных видов твердых отходов и бракованной продукции;

• объем выбросов в атмосферу при хранении, производстве и переработке материалов известен и может быть рассчитан. Модель производственной системы организации производства на основе ресурсосбережения представлена на рис. 2.

- Производственная модель включает три производственные системы:
- 1) снабжения;
 - 2) производства;
 - 3) переработки отходов для повторного использования.

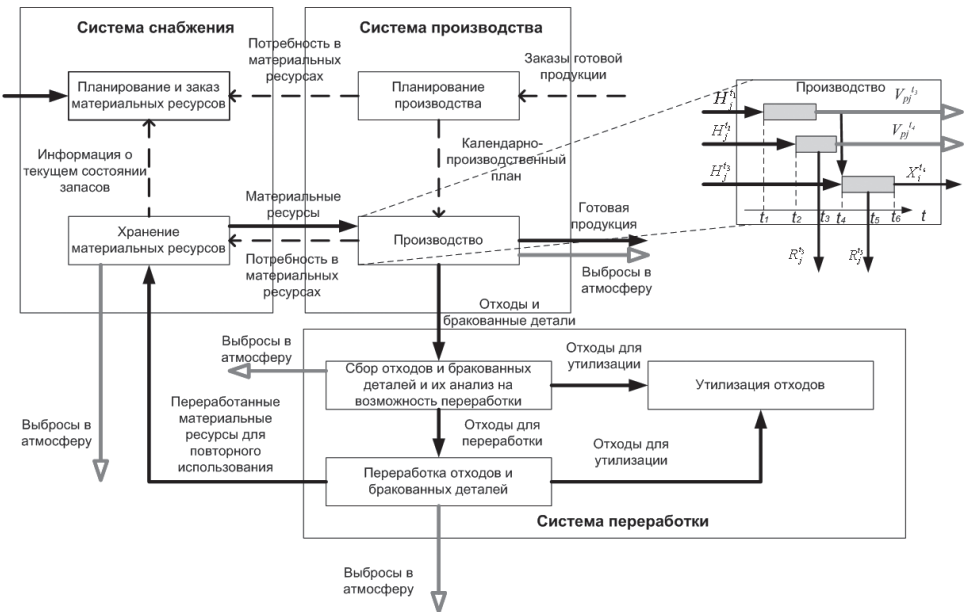


Рис. 2. Модель производственной системы организации производства

На основе инвентаризационного анализа описаны входные и выходные потоки для каждого единичного процесса производственной системы.

Для разработки математической модели организации производства на основе ресурсосбережения введены обозначения, представленные ниже.

Наименование	Характеристика
<i>Управляемые параметры задачи</i>	
v_j^t	Объем запланированных заказов материальных ресурсов вида j в момент времени t
<i>Параметры системы производства</i>	
D_i^t	Подтвержденные заказы готовой продукции вида i в момент времени t
X_i^t	Объем производства готовой продукции вида i в момент времени t

Наименование	Характеристика
H_j^t	Производственная потребность в материальном ресурсе вида j в момент времени t
m_i	Удельная стоимость производства i -го вида продукции (входят затраты на энергию, водные ресурсы, на персонал и др.)
<i>Параметры системы переработки</i>	
R_j^t	Объем твердых отходов и бракованных деталей, которые образуются за время t при переработке материала вида j
δ_j	Доля отходов и бракованных деталей вида j , которые могут быть переработаны
ε_j	Доля отходов и бракованных деталей из материала вида j , которые отправляются на утилизацию
c_j	Стоимость переработки твердых отходов и бракованных деталей из материала вида j
u_j	Стоимость утилизации твердых отходов из материала вида j
r_j^t	Объем пригодных к повторному использованию переработанных материалов вида j в момент времени t
<i>Параметры системы снабжения</i>	
$\omega_j^t = \omega_j^{t-1} + r_j^t + v_j^t - H_j^t$	Объем запасов j -го вида материальных ресурсов к концу периода t
p_j	Стоимость закупки j -го вида материального ресурса
b_j	Стоимость хранения j -го вида материального ресурса в единицу времени
<i>Параметры экологичности</i>	
V_{wj}^t	Объем выбросов в окружающую среду за время t при хранении материала вида j в системе хранения
V_{pj}^t	Объем выбросов в окружающую среду за время t при переработке материала вида j
V_{rj}^t	Объем выбросов в окружающую среду за время t при сборе и хранении отходов и бракованных деталей
V_{rpi}^t	Объем выбросов в окружающую среду за время t при переработке отходов и бракованных деталей
f_j	Штрафы и платежи за негативные воздействия j -го вида материала предприятия на окружающую среду

Целью является организация непрерывного производства при минимизации общих затрат и уровня воздействия на окружающую среду предприятия.

Целевая функция по минимизации затрат будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T p_j v_j^t + \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T b_j (\omega_j^{t-1} + v_j^t + r_j^t - H_j^t) + \\ & + \sum_{i=1}^N \sum_{t=0}^T m_i X_i^t + \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T c_j \delta_j R_j^t \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (1)$$

где $C_1 = \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T p_j v_j^t$ — затраты, связанные с закупкой материальных ресурсов за весь период планирования;

$C_2 = \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T b_j (\omega_j^{t-1} + v_j^t + r_j^t - H_j^t)$ — затраты, связанные с хранением запасов материальных ресурсов;

$C_3 = \sum_{i=1}^N \sum_{t=0}^T m_i X_i^t$ — затраты, связанные с производством готовой продукции;

$C_4 = \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T c_j \delta_j R_j^t$ — затраты, связанные с переработкой бракованных деталей и компонентов или твердых отходов.

Целевая функция по минимизации негативного воздействия на окружающую среду имеет следующий вид:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T f_j (V_{wj}^t + V_{pj}^t + V_{rj}^t + V_{rpj}^t) + \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T u_j \varepsilon_j R_j^t \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $C_5 = \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T f_j (V_{wj}^t + V_{pj}^t + V_{rj}^t + V_{rpj}^t)$ — платежи предприятия за негативные воздействия на окружающую среду;

$C_6 = \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T u_j \varepsilon_j R_j^t$ — затраты, связанные с утилизацией твердых отходов, не подлежащих переработке.

Ограничения, налагаемые на данную модель:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T c_j \delta_j R_j^t + \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T f_j (V_{rj}^t + V_{rpj}^t) \leq \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T p_j v_j^t; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^M \omega_j^{t-1} + v_j^t + r_j^t - H_j^t \leq W; \quad (4)$$

$$\sum_{t=0}^T (V_{wj}^t + V_{pj}^t + V_{rj}^t + V_{rpj}^t) \leq V_{\max j}; \quad (5)$$

$$v_j^t \geq 0, \quad \forall j \in M, \quad \forall t \in T \quad (6)$$

Ограничение (3) представляет собой ограничение на стоимость переработки материальных ресурсов. Если стоимость переработки материальных ресурсов выше стоимости их закупки, то целесообразнее закупить новые материальные ресурсы.

Ограничение (4) — ограничение на объем запасов материальных ресурсов, находящихся в системе хранения.

W — максимальная вместимость системы хранения материальных ресурсов;

Ограничение (5) — ограничение на непревышение максимально допустимого уровня воздействия на окружающую среду.

V_{\max} — максимально допустимый уровень воздействия материального ресурса вида j , согласно государственным стандартам.

Применение методологии оценки воздействий на окружающую среду для решения задач ресурсосбережения на производстве. Для оценки ресурсных потоков производственных систем и их воздействий на окружающую среду используется методология LCA (Life Cycle Analysis).

Воздействия на окружающую среду определяют на основе результатов инвентаризационного анализа, который представляет собой анализ входных и выходных потоков процессов производственных систем. Входные и выходные потоки могут включать использование ресурсов, выбросы в атмосферу, сбросы в воду и землю.

Объем воздействия на окружающую среду V во всех производственных системах рассчитывается посредством суммирования масс эмитируемых субстанций m с учетом соответствующего экоиндикатора I по формуле:

$$V = \sum m_i \times I_i.$$

Экоиндикатор I определяется исходя из категории воздействия, к которому привязывается каждый вид воздействия на окружающую среду на основе экологических стандартов [5].

Пример воздействий на окружающую среду и соответствующие им категории воздействия представлен в таблице [5].

Воздействия на окружающую среду

Категории воздействия	Параметры инвентаризационного анализа
Парниковый эффект	Выбросы углекислого газа, метана, закиси азота
Выбросы фотооксидантов	Выбросы метана, формальдегида, бензола, летучих органических соединений
Потребление природных ресурсов	Расход нефти, природного газа, угля, серной кислоты, железа, песка, воды, древесины, земельных ресурсов и др.
Образование отходов	Образование бытовых и промышленных отходов разных классов опасности, шлаков, илов очистных сооружений

Анализ эффективности модели организации производства на основе ресурсосбережения. Разработанная модель (1)—(6) представляет собой многокритериальную модель линейного программирования. Многокритериальная задача линейного программирования решается так же, как и однокритериальная, отличие состоит исключительно в методе задания целевой функции [6]. Поскольку в разработанной модели обе целевые функции направлены на минимизацию затрат (связанных с экономическими и экологическими аспектами), то их можно объединить с учетом коэффициентов относительной важности каждой целевой функции.

Разработанная модель позволяет определить, какой вид ресурса, в каком объеме и в какое время необходимо заказывать для обеспечения непрерывного производства на основе концепции Just-in-Time, обеспечивая минимальное воздействие на окружающую среду. Также эта модель позволяет определить, необходимо ли заказывать и покупать определенный вид материального ресурса или же его можно получить к определенному моменту времени путем переработки бракованных деталей или твердых отходов.

Для оценки степени оптимизации экономических и экологических факторов производства при внедрении разработанной модели организации производства на основе ресурсосбережения будем использовать показатель эколого-экономической эффективности. Сущность данного показателя заключается в производстве продукции согласно требованиям заказчика определенного качества с минимальными производственными затратами и воздействием на окружающую среду.

Показатель эколого-экономической эффективности производства рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{ee} = \frac{E_{e1} + E_{e2}}{C_{e1} + C_{e2}},$$

где K_{ee} — показатель эколого-экономической эффективности производства; E_{e1} — экономический эффект производственного процесса, вызванный организацией материальных потоков на основе концепции Just-in-Time и повторным использованием переработанных материальных ресурсов; E_{e2} — экологический эффект производственного процесса, вызванный сокращением массы выбросов в атмосферу, сбросов загрязняющих веществ в поверхностные воды, размещением отходов, в результате внедрения принципов устойчивого развития и оценкой воздействий на окружающую среду; C_{e1} — экономические затраты производственного процесса; C_{e2} — экологические затраты производственного процесса.

Показатель эколого-экономической эффективности производства K_{ee} дает возможность оценить рациональность использо-

вания экономического и экологического потенциалов одновременно.

Показатель, учитывающий одновременно экономический и экологический эффекты функционирования производства, отвечающий целям ресурсосбережения и устойчивого развития, дает возможность характеризовать деятельность любого подразделения производства и продукции.

Заключение. В последнее время в мировой экономической практике в целом и в производственных компаниях в частности концепция устойчивого развития остается наиболее востребованной. В ее рамках ресурсосберегающие методы рассматриваются как наиболее эффективный путь решения нарастающих экологических проблем в социально-экономических системах. Однако на российских предприятиях проблемам ресурсосбережения, эффективного природопользования не уделяется достаточного внимания. Серьезным сдерживающим фактором в реализации оптимального ресурсосберегающего управления динамическими процессами является отсутствие алгоритмов.

В работе было представлено, что методология логистики является экономически эффективным механизмом управления производством и также может быть применена для оценки воздействия производственной деятельности на окружающую среду.

На основе принципов устойчивого развития, методологии логистики и концепции Just-in-Time разработана математическая модель организации производства на основе ресурсосбережения.

Разработанная модель позволяет определить, какой вид ресурса, в каком объеме и в какое время необходимо заказывать для обеспечения непрерывного производства на основе концепции Just-in-Time тем самым обеспечивая минимальное воздействие на окружающую среду. Также эта модель позволяет определить, необходимо ли заказывать и покупать определенный вид материального ресурса или же его можно получить к определенному моменту времени путем переработки бракованных деталей или твердых отходов.

Для оценки степени оптимизации экономических и экологических факторов производства при внедрении разработанной модели организации производства на основе ресурсосбережения был разработан показатель эколого-экономической эффективности.

Анализ, проведенный с позиций эколого-экономической эффективности, позволяет определить наиболее эффективные варианты оптимального сочетания экономических и экологических функций производства, а также обосновать определенный уровень безотходности производства, с точки зрения соблюдения экономических и экологических ограничений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сергеев В.И. *Логистика в бизнесе*. Москва, ИНФРА-М, 2001, 608 с.
- [2] Итоги конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 3—14 июня 1992 г.). *Мир науки*, 1992, т. 36, № 4, с. 1—7.
- [3] *ГОСТ 52107—2003 Ресурсосбережение. Классификация и определение показателей*.
- [4] Покараев Г.М. *Ресурсосбережение: проблемы и решения*. Москва, Экономика, 1990, 141 с.
- [5] Чижиков Ю.В. *Экологическое сопровождение проектов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 308 с.
- [6] Бром А.Е., Елисеева Е.В. Математическая модель организации производства на основе ресурсосбережения. *Наука и образование*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013, № 5. DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/0513.0568317>

Статья поступила в редакцию 18.10.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Омельченко И.Н., Елисеева Е.В. Логистическая модель организации производства на основе концепции ресурсосбережения. *Гуманитарный вестник*, 2013, вып. 10. URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/117.html>

Омельченко Ирина Николаевна — д-р техн. наук, д-р экон. наук, заведующая кафедрой «Промышленная логистика», декан факультета «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Елисеева Елена Владимировна — аспирант кафедры «Промышленная логистика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: ibm3@ibm.bmstu.ru