

Ю.Н. СЕМЕНОВ, проф., д.т.н., СEng
Западно-поморский технологический университет, Щецин, Польша

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕПИ ПОСТАВКИ РЕФРИЖЕРАТОРНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ С УЧЕТОМ НАПРАВЛЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПОЛИТИКИ ЕС ДО 2050 Г.

В статье представлена модель оптимизации логистических цепей поставки рефрижераторных контейнеров с учетом направлений транспортной политики ЕС до 2050 г. Модель оптимизации разработана на основе принципа комодальности, и включает использование внутреннего водного транспорта, железнодорожной сети и автотранспорта в пропорциях, дающих возможность повышения эффективности перевозок и минимизации загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: многокритериальная модель, внутренний водный транспорт, транспортная политика, оптимизация.

1. Основные направления транспортной политики ЕС до 2050 г.

28 марта 2011 Европейская Комиссия опубликовала Белую Книгу о Транспорте. „Транспорт 2050” – это главный стратегический документ транспортной политики ЕС представляющий „дорожную карту” наиважнейших инициатив, реализация которых позволит до 2050 г. создать единую транспортную систему ЕС, отличающуюся как высокой конкурентоспособностью, так и качеством услуг. Среди основных направлений транспортной политики ЕС на особое внимание заслуживает стремление повысить мобильность населения, снизить энергоемкость транспорта, ликвидировать основные барьеры в развитии ключевых отраслей промышлен-

ности, создать новые рабочие места, а также снизить негативное влияние транспорта на окружающую среду. Экологическая составляющая играет в транспортной политике ЕС одну из лидирующих ролей. Так в Белой Книге о Транспорте предполагается до 2050 г. редукция выбросов CO₂ в атмосфере на 60%. Достижение этой цели пла-

нируется путем как использования инновационных двигателей, так и перенесением до 2030 г. – 30%, а до 2050 г. – 50% грузовых потоков с автомобильных дорог на другие виды транспорта, в том числе на внутренний водный транспорт [7]. Реализация поставленной задачи требует выполнения не только работ, проводимых на внутренних водных путях с целью создания, поддержания и улучшения условий, необходимых для судоходства, но и оптимизировать бесперебойное функционирование логистических цепей различной длины и назначения, оказывающих услуги по обеспечению материальных потоков.

В структуре логистических затрат удель транспортных расходов составляет 30-40% и более, поэтому оптимизация решений имеет такое важное значение. В современной транспортной политике ЕС внутреннему водному транспорту отводится особая роль. Это объясняется как высокой степенью его экологичности, так и минимальными внешними транспортными издержками (табл. 1).

Водные магистрали Европы – единственные транспортные пути, располагающие достаточным резервом свободного потенциала для увеличения пропускной способности. Решающим аспектом здесь является комодальность, отражающая степень гармоничного функционирования и комплексности взаимосвязи всех элементов транспортной системы [1].

Особую роль в этом играет степень совместимости различных видов транспорта при их использовании в интермодальных перевозках [8]. Результаты исследований ученых Делфтского технического университета (*нидерл. Technische Universiteit Delft*) показали, что наиболее эффективным путем поддержания и развития бизнеса для транспортных фирм с ежегодным

© Ю.Н. Семенов, 2013

объемом грузоперевозок более 10 тыс. т будет переход на логистическую цепь поставок продукции со следующими основными звеньями [2]:

– водный транспорт – 80% от общего объема поставок;

– автодорожного или железнодорожного транспорта – 20% от общего объема поставок.

Таблица 1

Внешние транспортные издержки в странах ЕС, генерированные разными видами транспорта при перевозке 1 т груза на расстояние 1000 км (евро)

Виды транспорта	Общая протяженность сети дорог, км	Загрязнение атмосферы	Транспортные происшествия	Изменение ландшафта, шум и т.д.	Всего
Внутренний водный транспорт	42700	0,20 ÷ 0,22	0,006 ÷ 0,005	> 0,005	0,20 ÷ 0,22
Железнодорожный транспорт	212800	0,16 ÷ 0,17	0,06 ÷ 0,07	0,37 ÷ 0,38	0,59 ÷ 0,62
Автомобильный транспорт	65000	1,22 ÷ 1,24	0,92 ÷ 0,94	0,44 ÷ 0,46	2,58 ÷ 2,64

Перевозки, осуществляемые по внутренним водным путям, относятся к наиболее энергосберегающим видам транспортировки грузов. Например, 1 литр топлива позволяет перевезти на расстояние 1 км речным судном 127 т груза, железной дорогой 97 т, а автомобильным транспортом всего 50 т [3].

2. Многокритериальная модель эластичной транспортировки рефрижераторных контейнеров

2.1. Первая проблема модели эластичной транспортировки рефрижераторных контейнеров

Первая проблема, принятая во внимание в рассматриваемой модели, касается оптимизации перевозок Рефрижераторных Контейнеров (РК) с охлажденным грузом растительного либо животного происхождения до конечных потребителей в Западно-Поморском Воеводстве Польши. Причем, модель оптимизации разработана с учетом принципа комодальности, и включает использование внутреннего водного транспорта, железной дороги и автотранспорта в пропорциях, дающих возможность повышения эффективности перевозок и минимизации загрязнения окружающей среды. Схема анализированных транс-

портных цепей поставки РК представлена на рис. 1.

Концепция модели.

Ключевые пункты цепи поставки контейнеров:

1. Пункт начальный (пункт отправки) расположен в морском порту в Свиноуйсьце /*Swinoujście*/,

2. Пункты доставки: N_j -пунктов, $j = 1 \div n$, где:

A – общее количество РК с охлажденным грузом, находящихся в морском порту в Свиноуйсьце;

B – общее количество РК с заказанным охлажденным грузом;

a_i – количество РК с охлажденным грузом, находящихся на i -ой складской площадке в морском порту;

b_j – величина спроса на охлажденный груз j -того потребителя в цепи поставки;

Y_z – количество РК с охлажденным грузом предназначенное для z -того потребителя, которые не транспортируются в рамках анализированной цепи поставок.

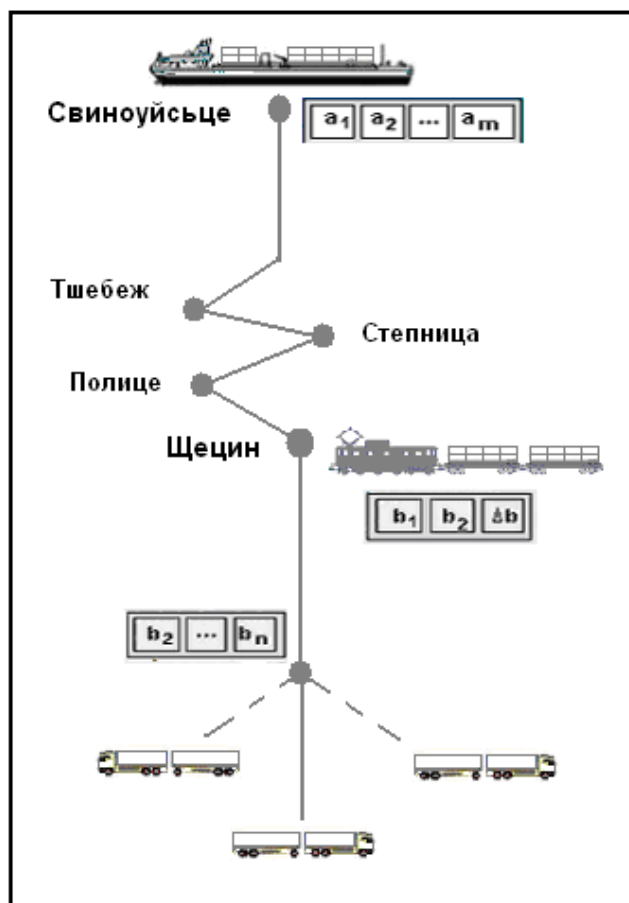


Рис.1. Схема расположения ключевых пунктов на трассе доставки РК

Пусть:

x_{ij}^k – количество РК с охлажденным грузом, доставляемых с i -ых складских площадок в морском порту до j -ых потребителей k -тым видом транспорта, $k = 1 \div 3$;

x_{ij}^1 – количество РК с охлажденным грузом, доставляемых с i -ых складских площадок в морском порту до j -ых потребителей внутренним водным транспортом, $j = 1 \div n$;

x_{ij}^2 – количество РК с охлажденным грузом, доставляемых с i -ых складских площадок в морском порту до j -ых потребителей железнодорожным транспортом, $j = 1 \div n$;

x_{ij}^3 – количество РК с охлажденным грузом, доставляемых с i -ых складских площадок в морском порту до j -ых по-

требителей автомобильным транспортом, $j = 1 \div n$;

c_{ij}^k – стоимость перевозки одного РК с охлажденным грузом с i -ой складской площадки в морском порту до j -ых потребителей k -тым видом транспорта, $k = 1 \div 3$;

При этом:

c_{ij}^1 – стоимость перевозки одного РК с охлажденным грузом с i -ой складской площадки в морском порту до j -того потребителя внутренним водным транспортом, $j = 1 \div n$;

c_{ij}^2 – стоимость перевозки одного РК с охлажденным грузом с i -ой складской площадки в морском порту до j -того потребителя транспортом железнодорожным, $j = 1 \div n$;

c_{ij}^3 – стоимость перевозки одного РК с охлажденным грузом с i -ой складской площадки в морском порту до j -того потребителя автомобильным транспортом, $j = 1 \div n$;

Главной целью проводимых исследований есть разработка многокритериальной модели эластичной транспортировки рефрижераторных контейнеров (РК) с охлажденным грузом растительного либо животного происхождения до конечных потребителей при минимальных:

- прямых транспортных расходах;
- внешних издержках транспорта;
- негативном влиянии на окружающую среду.

Например, формализация функции цели эластичной транспортировки в функции минимальных прямых транспортных расходов может быть представлена в виде [6]:

$$\min C = \sum_{ij} c_{ij}^k \times x_{ij}^k \quad (1)$$

где x^k – трасса перевозки РК с охлажденным грузом с i -ой складской площадке в морском порту до j -ых потребителей k -тым видом транспорта, $k = 1 \div 3$.

При разработке модели оптимизации были приняты следующие допущения:

А. Количество РК с охлажденным грузом, доставляемое потребителям не есть большим, чем количество РК с охлажденным грузом, находящихся в морском порту в Свиноуйсьце, т.е.:

$$0 < \sum_j x_{ij}^k \leq A \quad (2)$$

$$A_{\max} = A_1 + A_2 = \sum a_i \quad (i = 1 \div m)$$

где

A_1 – количество РК с охлажденным грузом находящихся в морском порту в Свиноуйсьце на складских площадках;

A_2 – количество РК с охлажденным грузом находящегося на борту судна вновь

прибывшего в морской порт в Свиноуйсьце;

m – общее количество складских площадок со специальным оборудованием, позволяющим подключать к нему рефрижераторные контейнеры с целью сохранения заданной температуры груза в морском порту в Свиноуйсьце.

В. Количество РК с охлажденным грузом растительного либо животного происхождения полностью удовлетворяющих спрос конечных потребителей:

$$\sum_i x_{ij}^k = B_{\max} \quad (3)$$

где

$$B_{\max} = \sum_{j=1}^2 B_j + \sum_{z=1}^3 Y_z = \sum_j b_j + \sum_{z=1}^3 Y_z$$

С. Условие поддержки заданной производительности транспортных перевозок: в начальном пункте, т.е. в морской порту в Свиноуйсьце постоянно находятся контейнеры с охлажденным грузом:

$$x_{ij}^k > 0 \quad (4)$$

Д. Условие уравнивания спроса и предложения. Обусловлено когерентностью ограничений (2) и (3), т.е.:

$$A = \sum_i a_i = \sum_j b_j + \Delta b_j = B \quad (j = 1 \div A_{\Sigma}) \quad (5)$$

В связи с тем, что величины a_i (т.е. количество РК с охлажденным грузом, находящихся на i -ой складской площадке в морском порту) и b_j (т.е. величина спроса на охлажденный груз j -того потребителя в цепи поставки) представляют из себя целые числа, справедливым будет допущение, что количество заказанного, хранимого и перевозимого охлажденного груза в РК представляет из себя также целые числа.

2.2. Вторая проблема модели эластичной транспортировки рефрижераторных контейнеров

Вторая проблема, принятая во внимание в рассматриваемой модели, касается организации перевозок РК с охлажденным грузом растительного либо животного происхождения до конечных потребителей. Схема анализированных цепей поставки РК представлена на рис. 2.

Пусть цепь поставки РК с охлажденным грузом растительного либо животного происхождения состоит из трех основных звеньев:

Звено 1. Транспортировка РК с охлажденным грузом от порта загрузки до морского порта в Свиноуйсьце. Реализуется морским транспортом.

Звено 2. Транспортировка РК с охлажденным грузом от морского порта в Свиноуйсьце до города Щецин. Реализуется внутренним водным транспортом либо транспортом железнодорожным.

Звено 3. Транспортировка РК с охлажденным грузом от речного порта либо железнодорожного перегрузочного

терминала до конечных потребителей. Реализуется автомобильным транспортом.

Существует возможность транспортировки РК с охлажденным грузом растительного либо животного происхождения от морского порта до конечных потребителей автомобильным транспортом, но этот вариант не анализировался. Причиной такого подхода является стремление ЕС уменьшить удел автомобильного транспорта в перевозках путем переноса грузопотоков с автодорог на внутренние водные пути либо железнодорожный транспорт.

Необходимость энергосберегающего и экологического развития транспорта ЕС выводит перевозки внутренними водными путями на особое место. По сравнению с иными видами транспорта, такой вид перевозки грузов в значительной мере минимизирует как негативное влияние на окружающую среду, так и внешние транспортные издержки, которые в странах ЕС, а также Норвегии и Швейцарии превышают 500 млрд. евро в год, что составляет более 4% совокупного ВВП [4].

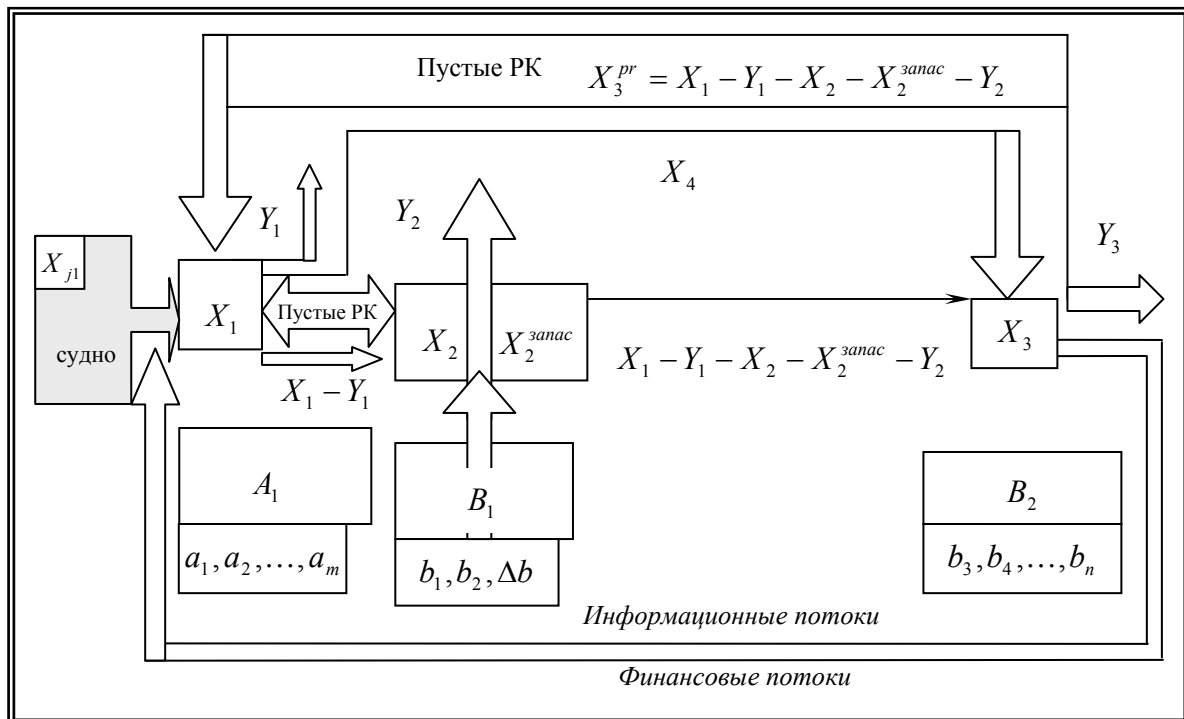


Рис. 2. Модель цепи поставок контейнеров с охлажденным грузом до потребителей

Каждое из звеньев цепи поставки РК с охлажденным грузом, представленных на рис.2, может быть:

- охарактеризовано через потоки входа/выхода рефрижераторных контейнеров;
- реализовано путем взаимодействия звеньев между собой, в связи с тем, что выходы каждого звена являются входами следующих звеньев потоков РК с охлажденным грузом.

Каждый поток РК с охлажденным грузом в рамках звена цепочки доставки может быть описан переменной X_i , отражающей количество РК перевозимых в этом звене с i -ей складской площадки. Причем, следует принимать во внимание, что максимальная провозная способность барж, используемых при транспортировке грузов внутренними водными путями в странах ЕС выносит 48 контейнеров [5].

Переменная Y_z описывает количество РК с охлажденным грузом, предназначенное для z -того потребителя, которое не транспортируется в рамках анализируемой цепочки поставок. Анализируемая цепь поставок охватывает потребителей с локализацией в Щецине, а также расположенных вблизи портов Полице (*Police*), Тшебеж (*Trzebież*), Степница (*Stepnica*) с возможностью расширения территории охвата в рамках транспортной доступности реки Одры. При этом модель предусматривает возможность удовлетворения спроса на охлажденный груз растительного либо животного происхождения дополнительных потребителей:

Y_1 - количество РК с охлажденным грузом, удовлетворяющее спрос дополнительных потребителей локализованных вблизи морского порта в Свиноуйсьце;

Y_2 - количество РК с охлажденным грузом, удовлетворяющее спрос дополнительных потребителей локализованных вблизи морского порта в Ново Варпно;

Y_3 - количество РК с охлажденным грузом, удовлетворяющее спрос дополнительных потребителей, локализованных вблизи морского порта в Щецине.

Как показано выше, переменные a_i ; b_j описывают вместимость складских площадок, предназначенных для хранения рефрижераторных контейнеров с охлажденным грузом. В этом случае управляющие переменные можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} A_1 &= (a_1, a_2, \dots, a_m) \\ B_2 &= (b_1, b_2, \dots, \Delta b) \\ B_3 &= (b_3, b_4, \dots, b_n) \end{aligned} \quad (6)$$

где

a_1 – количество РК с охлажденным грузом, находящихся в морском порту в Свиноуйсьце и приготовленных для дальнейшей транспортировки внутренним водным транспортом до конечных потребителей;

a_2 – количество РК с охлажденным грузом, находящихся на портовой железнодорожной станции и приготовленных для дальнейшей транспортировки железнодорожным транспортом до конечных потребителей;

a_3 – количество РК с охлажденным грузом, находящихся на железнодорожном перегрузочном терминале и приготовленных для дальнейшей транспортировки до конечных потребителей автомобильным транспортом;

B_j – управляющая переменная, характеризующая количество пристаней на реке Одра (*Odra*), имеющих оборудование для переработки контейнеров;

$B_2 = (b_1, b_2, \Delta b)$ – управляющая переменная, характеризующая количество потребителей, охваченных цепочкой поставок;

Δb – количество РК с охлажденным грузом, находящихся на складских площадках в морском порту Щецина в качестве резервного запаса продукции растительного либо животного происхождения;

b_1 – количество РК с охлажденным грузом, находящихся на специально оборудованных для хранения рефрижератор-

ных контейнеров складах на территории Щецина;

b_2 – количество РК с охлажденным грузом, находящихся на территории контейнерного терминала в логистическом центре на Острове Грабовским (*Ostrow Grabowski*).

В рамках математической модели цепочки поставок РК с охлажденным грузом были определены следующие множества (рис.3):

W_E – множество входных потоков РК с охлажденным грузом в каждом из звеньев цепи поставок;

W_y – множество выходных потоков РК с охлажденным грузом в каждом из звеньев цепи поставок.

Информация, содержащаяся на рис.3, дает возможность приступить к решению проблемы организации цепи поставок контейнеров с охлажденным грузом путем

как введения вектора Q_i (W_E), описывающего все входящие потоки РК в каждом звене цепи, так и определения функции $f_i(Q_j)$, описывающей все выходящие потоки в каждом звене цепи поставок РК.

Тогда проблема организации цепи поставок контейнеров с охлажденным грузом может быть представлена следующим образом:

$$\sum_{i=1}^3 f_i(Q_j) \Rightarrow \max \quad (7)$$

что означает, что пропускная способность цепи поставок РК должна быть максимальной при выполнении следующих ограничений:

$$\begin{aligned} x_{1,j} &> 0; \\ \sum_{i=1}^3 W_{E_i} &= \sum_{j=1}^J W_{y_j}; \\ \sum W_{y_j} &= \sum W_{yx_i} + \sum W_{y_y} + \sum W_{y_{aw.zap}} \end{aligned} \quad (8)$$

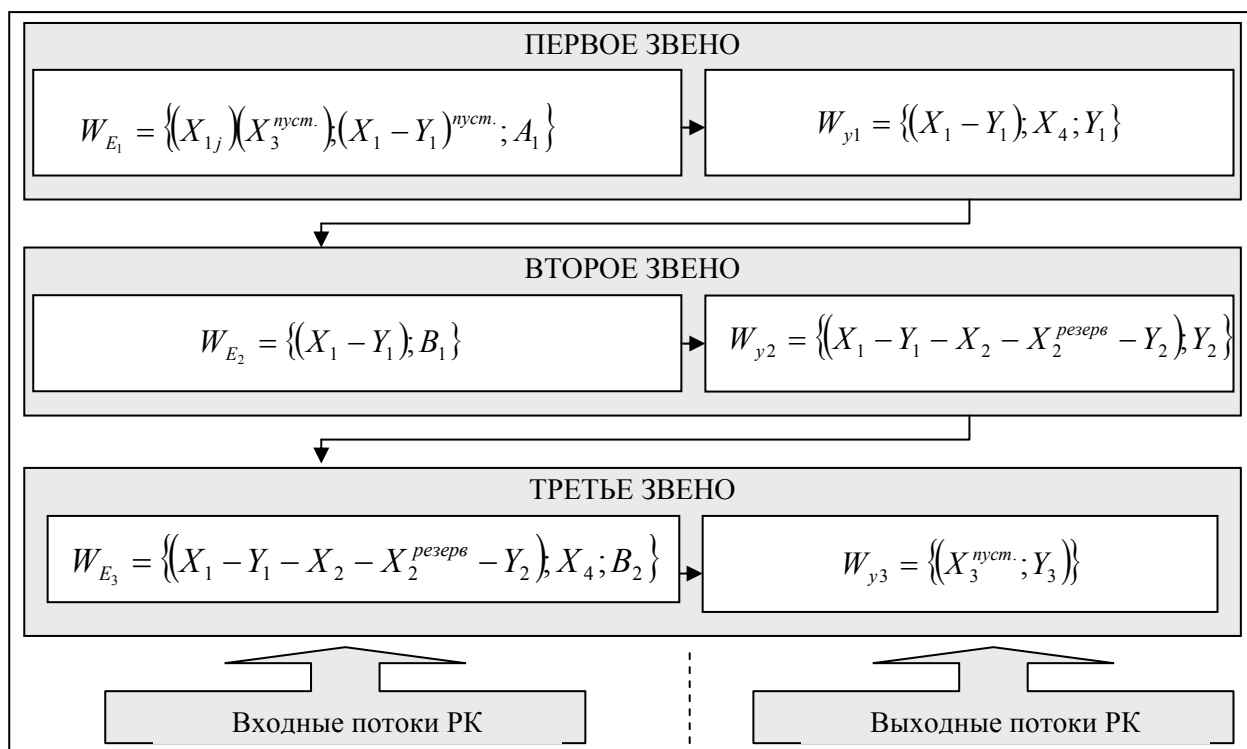


Рис.3. Входные и выходные потоки РК с охлажденным грузом

В окончательном варианте выбора варианта цепи поставки контейнеров с ох-

лажденным грузом рекомендуется использовать многоцелевой подход, учитываю-

.....
<http://www.donntu.edu.ua/> «Библиотека»/ «Информационные ресурсы»

<http://www.instud.org>, http://www.nbuy.gov.ua/portal/soc_gum/Npdntu_ekon/

щий как стремление к минимизации затрат на внедрение предлагаемой модели и нахождение путей повышения ее экономической эффективности, так минимизации уровней инвестиционного и транспортного риска.

3. Выводы

Эффективность транспортной цепи поставок охлажденных грузов в значительной степени зависит как от уровня внедрения принципа комодальности в транспортной системе в целом, так и от степени совместимости транспортно-логистических действий, выполняемых в рамках каждого из звеньев, в частности.

Представленная модель оптимизации логистической цепи поставки рефрижераторных контейнеров позволяет не только на минимизацию внешних транспортных издержек, но и на улучшение состояние транспортной безопасности.

Сокращение удела автомобильного транспорта в перевозках путем переноса грузопотоков с автодорог на внутренние водные пути либо железнодорожный транспорт существенным образом снизит как энергозатраты на транспортировку, так и уровень загрязнения окружающей среды, что отвечает основным направлениям транспортной политики ЕС до 2050 г.

Рекомендуется использовать многокритериальный подход, учитывающий стремление к минимизации как затрат на внедрение предлагаемой модели и нахож-

дение путей повышения ее экономической эффективности, так и уровня инвестиционного и транспортного риска.

Литература

1. Ambroziak T., Jacyna M.: System logistyczny Polski a komodalność transportu. Logistyka 4/2011.
2. Bulletin Nr2, The European River-Sea-Transport Union, quarter 2nd, 2011.
3. Dyczkowska J.: Śródlądowy transport wodny a zintegrowany system logistyczny. Logistyka 2/2011.
4. External Costs of Transport in Europe. Delft, November 2011.
5. Hilling D.: From road to water. IWA waterways – Winter, 2012
6. Semenov, I.N.: Inland waterways as the powerful tool for the further development of Intermodality. Proc. of International Conference „Coastal Ship & Inland Waterway”, RINA, London, 2006, p. 15-25.
7. White Paper Transport 2050: Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system. European Commission: COM(2011) 144 final, Brussels, 28.3.2011.
8. Wortmann-Kool C.: The role of inland navigation within the EU's freight transport agenda. EBU seminar on freight logistics, March 3rd, 2008 Brussels.

Статья поступила в редакцию 12.04.2013