**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ 2014 Т. 6 № 4 С. 535−542**

Ки&М

МОДЕЛИ В ФИЗИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 51.76 : 504.4.054

Метод побуждения в играх Гермейера при моделировании трехуровневой системы управления судовыми балластными водами

Г. А. Угольницкий[а], А. Б. Усов, А. И. Рыжкин

Южный федеральный университет, факультет математики, механики и компьютерных наук,
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, д. 8а

E-mail: [a] ougoln@mail.ru

Получено 10 апреля 2014 г.

Построена статическая трехуровневая теоретико-игровая модель системы управления судовыми балластными водами. Используются методы иерархического управления при одновременном учете условий поддержания системы в заданном состоянии. Проводится сравнение результатов исследования модели с точки зрения игр Гермейера Γ_1 и Γ_2. Приведены примеры численных расчетов в ряде характерных случаев.

Ключевые слова: иерархическая система управления, водяной балласт, побуждение, игры Гермейера, имитация

The motivation method in the Germeyer's games at modeling three-level control system of the ship's ballast water

G. A. Ougolnitsky, **A. B. Usov**, **A. I. Ryzhkin**

*Southern Federal University, faculty of the mathematics, mechanics and computer sciences,
8a Milchakov St., Rostov-on-Don, 344090, Russia*

Abstract. — The static three-level game-theoretic model of three-level control system of the ship's water ballast is built. The methods of hierarchical control in view of requirements of keeping the system in the given state are used. A comparison of the results of study of the model in terms of Γ_1 and Γ_2 Germeyer's games is conducted. Numerical calculations for some typical cases are given.

Keywords: hierarchical control system, water ballast, motivation, Germeyer's games, imitation

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 535–542 (Russian).

Введение

Качество балластных вод оказывает существенное влияние на состояние речных и морских вод в акватории порта. Сброс большого количества загрязненных балластных вод может привести к существенному ухудшению состояния акватории порта. В России до сих пор не установлены стандарты, позволяющие реализовать эффективный экологический контроль качества сбрасываемых балластных вод. Проводимых в этом направлении математических исследований явно недостаточно. Ниже исследование данной проблемы проводится на основе иерархического теоретико-игрового подхода.

Все современные системы управления, в том числе и системы управления портом, являются многоуровневыми системами, отношения внутри которых построены на основе иерархии. Имеются субъекты управления верхнего, среднего и нижнего уровней, отношения между которыми строятся по принципу начальник–подчиненный Наличие нескольких субъектов с несовпадающими интересами, целеустремленно воздействующих на управляемую систему, приводит к теоретико-игровым постановкам задачи управления.

Математические основы принятия решений в иерархических системах заложены в теории контрактов [Laffont, Martimort, 2002], информационной теории иерархических систем [Горелик, Горелов, Кононенко, 1991], теории активных систем [Губко, Новиков, 2002] и ряде других работ [Петросян, Ширяев, 1986]. При моделирования даже в стационарном случае, следуя [Угольницкий, 2010], необходимо принимать во внимание объективные требования существования управляемой системы.

Ниже исследуется статическая трехуровневая теоретико-игровая модель системы контроля водяного балласта судов. В системе предполагается применение методов иерархического управления при одновременном учете условий поддержания системы в заданном состоянии.

Система управления водяным балластом судов включает в себя [Угольницкий, 2010]:

— источник воздействия верхнего уровня (федеральный центр, ФЦ);
— источник воздействия среднего уровня (начальник порта, НП);
— источник воздействия нижнего уровня (капитан судна, КС);
— управляемую систему (акватория порта, УС).

Взаимоотношения внутри моделируемой системы устроены следующим образом: ФЦ воздействует на НП, НП воздействует на КС, КС на УС. ФЦ, НП и КС вместе можно рассматривать как совокупный источник воздействия на УС, имеющий иерархическую структуру. Воздействуя на УС, КС преследует свои эгоистические цели, которые, вообще говоря, не совпадают с объективно существующими целями поддержания УС в заданном состоянии. Нужен ФЦ, который, применяя различные методы управления иерархической системой, способен обеспечить поддержание УС в заданном состоянии.

Математическая постановка задачи

В порт прибывают речные и морские суда, перевозящие различные грузы. При загрузке судна в порту в акваторию сбрасываются балластные воды, содержащие загрязняющие вещества (ЗВ). Целью КС является максимизация прибыли, полученной от фрахта, за вычетом переменных издержек. Как следствие, КС экономически не заинтересован в очистке водяного балласта своего судна. НП определяет размер платы за сброс КС водяного балласта в акваторию порта и стремится к максимизации поступающих к нему от КС средств. ФЦ должен поддерживать УС в заданном состоянии, он определяет, какая часть средств, полученных с КС в виде платы за сброс водяного балласта в акваторию порта, остается у НП. Считается, что система находится в заданном состоянии, если выполнены стандарты качества морской воды, т. е. наблюдается непревышение предельно допустимых концентраций (ПДК) ЗВ в акватории порта.

Интересы ФЦ и НП, вообще говоря, различны. ФЦ должен создать условия, при которых поддержание речной системы в заданном состоянии будет экономически выгодно для НП.

Добиться этого ФЦ может не единственным способом, поэтому, кроме того, он стремится к максимизации своего дохода.

Его целевая функция имеет вид

$$J_{ФЦ}(\alpha) = \alpha V(m)\,p - T_{Ц.О.} \to \max_{\alpha}. \quad (1)$$

Здесь m — масса перевозимого КС груза; $V(m)$ — объем балластных вод, сбрасываемых в акваторию порта, зависящий от массы перевозимого судном груза m; p — размер платы порту за единицу сброшенного балласта; $V(m)p$ — плата за сброс водяного балласта объема $V(m)$; α — доля отчислений от платы за сброс водяного балласта в федеральный бюджет; $T_{Ц.О.} = \text{const}$ — затраты ФЦ на очистку акватории порта.

Целевая функция НП имеет вид

$$\begin{gathered} J_{НП}(p) = C_{порт.расх.} + (1-\alpha)V(m)\,p - \\ -F_{надзор}(p) - F_{очистка}(V(m)) \to \max_{p}. \end{gathered} \quad (2)$$

Здесь $C_{порт.расх.} = \text{const}$ — портовые сборы с судна, направленные на покрытие расходов на содержание порта и его акватории; они включают в себя корабельный, лоцманский, маячный, навигационный и экологический сборы; $F_{надзор}(p)$ — расходы на оплату надзорных за судами органов, зависящие от размера платы порту за единицу сброшенного балласта; $F_{очистка}(V(m))$ — расходы на очистку акватории порта от загрязняющих веществ, зависящие от объема водяного балласта. Функции $F_{надзор}(p)$, $F_{очистка}(V(m))$ — возрастающие функции своих аргументов.

Целевая функция КС имеет вид

$$\begin{gathered} J_{КС}(m) = F_{фрахт}(m) - C_{порт.расх.} - \\ -V(m)\,p - T_{IFO}(m) - T_{MGO}(m) - \\ -T_{опер.расх.}(m) - T_{тех.обсл.}(m) - C_{страх.} \to \max_{m}. \end{gathered} \quad (3)$$

Здесь $F_{фрахт}(m)$ — функция платы владельцу судна за перевозку груза массы m; $T_{IFO}(m)$, $T_{MGO}(m)$ — затраты судна на топливо марок IFO180 и MGO соответственно; $T_{опер.расх.}(m)$ — операционные расходы капитана судна, зависящие от массы груза, т. е. расходы, связанные с проведением производственно-хозяйственных и финансовых операций на судне; $T_{тех.обсл.}(m)$ — отчисления на ремонт и техобслуживание, зависящие от массы груза; $C_{страх.} = \text{const}$ — расходы на страхование судна и груза. Функции $F_{фрахт}(m)$, $T_{IFO}(m)$, $T_{MGO}(m)$, $T_{опер.расх.}(m)$, $T_{тех.обсл.}(m)$ — возрастающие функции своих аргументов.

Задача решается при следующих ограничениях на управления:

– КС

$$M_{\min} \le \mathrm{m} \le M_{\max};\ M_{\min},\ M_{\max} = \text{const} \quad (4)$$

– НП

$$\begin{gathered} p_{\min} \le p \le p_{\max}; \\ p_{\min},\ p_{\max} = \text{const} \end{gathered} \quad (5)$$

– ФЦ

$$0 \le \alpha \le 1, \quad (6)$$

где $M_{\min}$, $M_{\max}$ — минимально и максимально допустимые грузоподъемности судна; $p_{\min}$, $p_{\max}$ — максимально и минимально разрешенная плата порту за единицу сброшенного балласта в его акватории.

Пусть для поддержания УС в заданном состоянии достаточно, чтобы в акватории порта не были превышены ПДК ЗВ, определяемые государственными нормативными актами, например, [Приказ Росрыболовства № 20…, 2010], т. е.

$$B \le B_{\max}\,;\; B_{\max} = \mathrm{const}, \tag{7}$$

где B есть концентрация ЗВ в акватории порта; $B_{\max}$ — максимально допустимая концентрация ЗВ в акватории порта.

Пусть

$$B = B_0 + V(m)\, W \,/\, A\,; \tag{8}$$
$$A,\; B_0,\; W = \mathrm{const},$$

где W — количество ЗВ, содержащегося в единице сбрасываемого балласта; A — объем внутренних портовых вод; B_0 — некоторая постоянная.

Таким образом, решается трехуровневая задача (1)–(8), представляющая собой нелинейную задачу условной оптимизации, решаемую с учетом иерархии в отношениях между субъектами управления [Лесин, Лисовец, 1998]. В качестве метода иерархического управления в модели (1)–(8) используется метод побуждения [Угольницкий, 2010], при котором в каждой паре субъектов управления (ФЦ и НП, НП и КС) субъект более высокого уровня (ведущий) создает субъекту более низкого уровня (ведомому) такие условия, что последнему экономически выгодно способствовать достижению цели ведущего и невыгодно обратное.

Метод побуждения предоставляет ведомому больше свободы при принятии решений, поскольку воздействие на него проводится экономическими мерами. При этом ведущий воздействует на целевую функцию ведомого. Смысл побуждения заключается в том, чтобы сделать стратегии Ведомого, гарантирующие выполнение условий поддержания системы в заданном состоянии, экономически выгодными для него. С этой целью используется экономический механизм с обратной связью, предусматривающий поощрение ведомого (льготы, субсидии, дотации) в случае выполнения им условий устойчивого развития и наказание (штрафы, повышенные налоги) в противном случае. Ведомому явно не запрещается выбирать стратегии, выводящие систему из заданного состояния. Если возможностей ведущего недостаточно для стимулирования ведомого, то метод побуждения не способен обеспечить выполнение условий поддержания системы в заданном состоянии.

Предполагается, что в системе реализуются информационные регламенты игр Гермейера Γ_1 и Γ_2 с учетом требований поддержания системы в заданном состоянии.

Возможны следующие комбинации равновесий в играх Гермейера Γ_1 и Γ_2 между субъектами управления различных уровней в модели (1)–(8):

1) для ФЦ и НП строится равновесие в игре Гермейера Γ_1, а для НП и КС — в игре Γ_2;

2) для ФЦ и НП — равновесие в игре Гермейера Γ_2, для НП и КС — в игре Γ_1;

3) для обеих пар субъектов управления строится равновесие в игре Гермейера Γ_2;

4) для обеих пар субъектов — равновесие в игре Гермейера Γ_1.

Алгоритмы построения равновесий в играх Гермейера Γ_1 и Γ_2 приведены в [Угольнцкий, Усов, 2014].

Применим эти алгоритмы для модели (1)–(8).

Алгоритм нахождения равновесия Штакельберга в игре Гермейера Γ_1 (для ФЦ и НП) и Γ_2 (для НП и КС) в моде и (1)–(8) состоит в следующем:

1) Решается игра Гермейера Γ_2 для НП и КС. Находится величина L_2 — значение выигрыша КС с учетом (4), (5), если он отказывается сотрудничать с НП:

$$L_2 = \sup_m \inf_p J_{КС}(p, m).$$

Стратегии НП и КС, реализующие величину L_2, обозначим p^K, m^K .

2) Решается задача условной оптимизации (2), (4), (5) с дополнительным условием $L_2 < J_{КС}(p, m)$. Максимум (2) ищется сразу по двум параметрам — p, m . Стратегии, доставляющие максимум, параметрически зависят от α; обозначим их $p^S(\alpha), m^S(\alpha)$.

Для НП оптимальные с точки зрения игры Γ_2 стратегии определяются формулой

$$\left(p^*(\alpha), m^*(p^*(\alpha))\right) = \begin{cases} \left(p^K, m^K\right), & если\ m \neq m^S, \\ \left(p^S(\alpha), m^S(\alpha)\right), & если\ m = m^S(\alpha). \end{cases}$$

При экономически разумном КС получим, что $\left(p^*(\alpha), m^*(\alpha)\right) = \left(p^S(\alpha), m^S(\alpha)\right)$.

3) Определенные на шаге 2 оптимальные стратегии НП и КС — величины $p^S(\alpha), m^S(\alpha)$ подставляются в (1), (8). Проводится максимизация целевой функции (1) с учетом (6), (8) по α. Величину, являющуюся решением этой задачи, обозначим α^*.

4) Равновесие в игре Γ_1 (для ФЦ и НП) и Γ_2 (для НП и КС) имеет вид

$$(\alpha^*, p^*, m^*) = \left(\alpha^*, p^S(\alpha^*), m^S(p^S(\alpha^*))\right).$$

Алгоритм нахождения равновесия Штакельберга в игре Гермейера Γ_2 (для ФЦ и НП) и Γ_1 (для НП и КС) состоит в следующем:

1) Решается параметрическая задача условной оптимизации (3), (4). Определяются оптимальные стратегии КС в зависимости от стратегий НП, т. е. величины $m^*(p)$.

2) Величины $m^*(p)$, найденные на первом шаге алгоритма, подставляются в (2), (8).

3) Решается игра Γ_2 для ФЦ и НП. Находится величина L_2 — значение выигрыша НП с учетом (5), (6), если он отказывается сотрудничать с ФЦ:

$$L_2 = \sup_p \inf_\alpha J_{НП}(\alpha, p, m^*(p)).$$

Стратегии ФЦ и НП, реализующие величину L_2, обозначим α^K, p^K.

4) Решается задача условной оптимизации (1), (6)–(8) с дополнительным условием $L_2 < J_{НП}(\alpha, p, m^*(p))$. Максимум (1) ищется сразу по двум параметрам — p и α, оптимальные стратегии обозначим α^S, p^S.

5) Равновесие в игре Гермейера Γ_2 (для ФЦ и НП) и Γ_1 (для НП и КС) имеет вид

$$(\alpha^*, p^*(\alpha^*), m^*(p^*(\alpha^*))) = \begin{cases} \left(\alpha^K, p^K, m^*(p^K)\right), если\ p \neq p^S, \\ \left(\alpha^S, p^S, m^*(p^S)\right), если\ p = p^S. \end{cases}$$

При экономически разумном НП получим, что $(\alpha^*, p^*, m^*) = \left(\alpha^S, p^S, m^*(p^S)\right)$.

Алгоритм нахождения равновесия Штакельберга в игре Гермейера Γ_2 как для ФЦ и НП, так и НП и КС:

1) Решается игра Гермейера Γ_2 для ФЦ и НП. Находится величина $(L_2)_S$ — значение выигрыша НП с учетом (4)–(6), если он отказывается сотрудничать с ФЦ:

$$(L_2)_S = \sup_{m,p} \inf_\alpha J_{НП}(\alpha, p, m).$$

Стратегии, реализующие величину $(L_2)_S$, обозначим α^K, p^K, m^K.

2) Решается задача условной оптимизации (1), (6), (8) с дополнительным условием $(L_2)_S < J_{НП}(\alpha,k,m)$.

Максимум (1) ищется по трем параметрам — α, p, m. Оптимальные стратегии обозначим α^S, p^S, m^S.

3) При экономически разумных КС и НП равновесие в игре Гермейера Γ_2 как для ФЦ и НП, так и НП и КС: $\left(\alpha^*, p^*, m^*\right) = \left(\alpha^S, p^S, m^S\right)$.

Алгоритм нахождения равновесия в игре Гермейера Γ_1 как для ФЦ и НП, так и НП и КС:

1) Решается параметрическая задача условной оптимизации (3), (4). Определяются оптимальные стратегии КС в зависимости от стратегий НП, т. е. величины $m^*(p)$.

2) Величины $m^*(p)$, найденные на первом шаге алгоритма, подставляются в (2), (8).

3) Решается задача условной оптимизации (2), (5). Определяются оптимальные управления НП в зависимости от стратегий ФЦ, т. е. величины $p^*(\alpha)$.

4) Найденные на предыдущем шаге величины $p^*(\alpha)$ подставляются в (1).

5) Решается задача условной оптимизации (1), (6)–(8). Находятся оптимальные управления ФЦ, позволяющие поддерживать систему в заданном состоянии (7), (8).

6) Равновесие с учетом требования поддержания системы (1)–(8) в заданном состоянии при побуждении имеет вид $(\alpha^*, p^*(\alpha^*), m^*(p^*(\alpha^*)))$.

В случае входных функций частного вида сформулированные в алгоритмах оптимизационные задачи решаются методом множителей Лагранжа. В общем случае модель (1)–(8) исследуется путем имитации и прямого упорядоченного перебора областей допустимых управлений субъектов управления [Губко, Новиков, 2002].

Примеры расчетов

Приведем результаты нескольких модельных расчетов по предложенной модели (1)–(8). Входные данные для примеров были взяты из [Винников, 2001; Винников, 2010; Иванов, 2009].

Пример 1. Пусть входные функции модели (1)–(8) имеют следующий вид: $V(m) = C_1 m$; $T_{Ц.О.} = C_{Ц.О.} A p_{\min} M_{\max}$; $F_{надзор}(p) = C_{надзор}\, p^{\xi}$; $F_{очистка}(V(m)) = C_{очистка} V(m)$; $F_{фрахт}(m) = C_2 m^{\eta}$; $T_{IFO}(m) = C_{IFO}\, m$; $T_{MGO}(m) = C_{MGO}\, m$; $T_{опер.расх.}(m) = C_{о.р.}\, m$; $T_{тех.обсл.}(m) = C_{тех.обсл.}\, m$, где C_1, $C_{Ц.О.}$, $C_{надзор}$, ξ, $C_{очистка}$, $C_{фрахт}$, C_{IFO}, C_{MGO}, $C_{о.р.}$, $C_{тех.обсл} = \text{const}$; $C_{очистка}$ — стоимость очистки единицы объема сбрасываемых балластных вод; $C_{фрахт}$ — плата владельцу судна за перевозку единицы груза (ставка фрахта); C_{IFO}, C_{MGO} — стоимость топлива марок IFO180 и MGO, необходимого для перевозки единицы груза; $C_{о.р.}$ — операционные расходы (зарплата команде и т. п.); $C_{тех.обсл.}$ — отчисления на ремонт и техобслуживание в расчете на единицу груза.

Численные расчеты проводились методом прямого упорядоченного перебора на основе методологии имитационного моделирования в случае (у. е. — стоимость в условных единицах; м — метр; т — тонна; мг — миллиграмм) $C_{порт.расх.}$ = 360 000 у. е.; C_1 = 1 м^3/т; $C_{Ц.О.} = 10^{-9}$; $C_{надзор}$ = 9 000 м^3; ξ = 2; $C_{очистка}$ = 2 у. е./м^3; C_2 = 170 у. е./т; η = 0.85; C_{IFO} = 8.4 у. е./т; C_{MGO} = = 2.13 у. е./т; $C_{о.р.}$ = 4.17 у. е./т; $C_{тех.обсл.}$ = 1.3 у. е./т; $C_{страх.}$ = 100 000 у. е.; $M_{\min}$ = 10 000 т; $M_{\max}$ = 90 000 т; $p_{\min}$ = 1 у. е./м^3; $p_{\max}$ = 7 у. е./м^3; $B_{\max}$ = 50 мг/м^3; B_0 = 20 мг/м^3; W = 50 мг/м^3; А = 10^7 м^3

Результаты численных расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

	$\alpha*$	p^* (у. е./м^3)	m^* (т)	$J^*_{КС}$ (у. е.)	$J^*_{НП}$ (у. е.)	$J^*_{ФЦ}$ (у. е.)
$\Gamma_1 - \Gamma_1$	0.5	2.52	90 000	637 745	236 248	104 182
$\Gamma_1 - \Gamma_2$	0.2	3.97	90 000	506 836	323 992	62 455
$\Gamma_2 - \Gamma_1$	1	2.64	63 173	408 663	171 100	157 547
$\Gamma_2 - \Gamma_2$	0.1	6.33	90 000	294 108	332 000	48 000

Пример 2. В случае входных данных примера 1 и C_2 = 100 у. е./т; C_{IFO} = 3.6 у. е./т; C_{MGO} = 0.84 у. е./т; $p_{\max}$ = 50 у. е./м^3 , получим

Таблица 2

	$\alpha*$	p^* (у. е./м^3)	m^* (т)	$J^*_{КС}$ (у. е.)	$J^*_{НП}$ (у. е.)	$J^*_{ФЦ}$ (у. е.)
$\Gamma_1 - \Gamma_1$	0.5	2.48	90 000	50 410	236 248	102 818
$\Gamma_1 - \Gamma_2$	0.1	4.46	90 000	–127 772	362 239	31 182
$\Gamma_2 - \Gamma_1$	1	2.48	66 697	–26 353	171 036	156 731
$\Gamma_2 - \Gamma_2$	0.1	5.95	90 000	–261 408	343 341	44 545

Пример 3. В случае входных данных примера 1 и $C_{надзор}$ = 22000 м^3; ξ = 1.5; C_2 = 2800 у. е./т; η = 0.6; $p_{\max}$ = 15 у. е./м^3, получим

Таблица 3

	α^*	p^* (у. е./м^3)	m^* (т)	$J^*_{КС}$ (у. е.)	$J^*_{НП}$ (у. е.)	$J^*_{ФЦ}$ (у. е.)
$\Gamma_1 - \Gamma_1$	0.6	2.13	82 606	538 937	196 759	96 635
$\Gamma_1 - \Gamma_2$	0.1	6.09	90 000	180 291	342 655	45 818
$\Gamma_2 - \Gamma_1$	1	2.41	59 710	495 370	158 059	135 148
$\Gamma_2 - \Gamma_2$	0.1	7.36	90 000	65 746	336 851	57 273

Пример 4. В случае входных данных примера 3 и $C_{очистка}$ = 4 у. е./м^3; C_2 = 1600 у. е./т; C_{IFO} = 3.6 у. е./т; C_{MGO} = 0.84 у. е./т; $p_{\max}$ = 2 у. е./м^3, получим

Таблица 4

	α^*	p^* (у. е./м^3)	m^* (т)	$J^*_{КС}$ (у. е.)	$J^*_{НП}$ (у. е.)	$J^*_{ФЦ}$ (у. е.)
$\Gamma_1 - \Gamma_1$	1	1.99	58 448	3 737	64 452	107 307
$\Gamma_1 - \Gamma_2$	1	1	33 143	32 223	205 427	24 143
$\Gamma_2 - \Gamma_1$	1	2	67 337	54	28 425	125 675
$\Gamma_2 - \Gamma_2$	1	1	10 000	–167 198	298 000	1 000

В примерах 1–4 концентрация ЗВ в акватории порта не превышает предельно допустимых концентраций, стандарты качества (7) выполняются.

Авторы благодарят сотрудников Южного УГМРН Ространснадзора за обсуждение предложенных математических моделей.

Заключение

Предложенный механизм исследования статической трехуровневой теоретико-игровой модели системы контроля водяного балласта судов, основанный на комбинации равновесий в играх Гермейера Γ_1 и Γ_2, позволяет сделать следующие выводы:

1. Как показывают примеры 1–4, в случае построения равновесия в комбинации игр Гермейера $\Gamma_2 - \Gamma_1$, ФЦ принимает решение оставить в федеральном бюджете все средства, поступающие от КС в виде платы за сброс водяного балласта. При этом ФЦ получает наибольшую прибыль, а НП — наименьшую.

2. По сравнению с другими комбинациями равновесий в играх Гермейера, в случае игры $\Gamma_1 - \Gamma_1$, КС получает максимальный доход (примеры 1–4).

3. В примере 4 (регламент $\Gamma_2 - \Gamma_2$) НП не имеет достаточных экономических рычагов воздействия на КС для выполнения условий сотрудничества с ФЦ, поэтому КС принимает решение не сотрудничать с НП, однако деятельность КС остается убыточной.

4. Ведение своей деятельности для КС может быть экономически невыгодно даже в случае сотрудничества с НП (пример 2: регламенты $\Gamma_1 - \Gamma_2$, $\Gamma_2 - \Gamma_1$, $\Gamma_2 - \Gamma_2$; пример 4: регламент $\Gamma_2 - \Gamma_2$)

5. Из примеров 1–4 видно, что в случае игры Гермейера $\Gamma_2 - \Gamma_2$ суммарная прибыль всех субъектов управления минимальна.

6. ФЦ не всегда выгодно изымать в федеральный бюджет всю плату за сброс водяного балласта, полученную от КС (примеры 1–3: регламенты $\Gamma_1 - \Gamma_1$, $\Gamma_1 - \Gamma_2$, $\Gamma_2 - \Gamma_2$) однако деятельность ФЦ всегда остается экономически выгодной (примеры 1–4).

Список литературы

Винников В. В. Системы технологий на морском транспорте (перевозка и перегрузка) / В. В. Винников, Е. Д. Крушкин, Е. Д. Быкова; под общ. ред. В. В. Винникова: учебное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Одесса: Фенікс; М.: ТрансЛит, 2010. — 576 с.

Винников В. В. Экономика предприятия морского транспорта (экономика морских перевозок): Учебник для вузов водного транспорта. – 2-е изд., перераб. и доп. — Одесса: Латстар, 2001. — 416 с.

Горелик В. А., Горелов М. А., Кононенко А. Ф. Анализ конфликтных ситуаций в системах управления. — М.: Радио и связь, 1991.

Губко М. В., Новиков Д. А. Теория игр в управлении организационными системами. — М.: Синтез, 2002.

Иванов С. Е. Морская индустрия и глобальный кризис — наблюдения судоброкера // URL: http://www.korabel.ru/news/comments/morskaya_industriya_i_globalniy_krizis_-_nablyudeniya_sudobrokera.html (дата обращения: 11.12.2013).

Лесин В. В., Лисовец Ю. П. Основы методов оптимизации. — М.: МАИ, 1998. — 344 с.

Петросян Л. А., Ширяев В. Д. Иерархические игры. — Саранск: Издательство Морд. ун-та, 1986.

Приказ Росрыболовства № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» от 18.01.2010.

Угольницкий Г. А. Иерархическое управление устойчивым развитием. — М.: Издательство физико-математической литературы, 2010. — 336 с.

Угольницкий Г. А., Усов А. Б. Равновесия в моделях иерархически организованных динамических систем управления с учетом требования устойчивого развития // Автоматика и телемеханика. — 2014. — № 6. — С. 86–102.

Laffont J.-J., Martimort D. The Theory of Incentives. Princeton Univ. Press, 2002.