

МОДЕЛИРОВАНИЕ СДЕРЖИВАНИЯ НЕЗАКОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

В. В. Шумов

Отделение погранологии Международной академии информатизации, Москва

Поступила в редакцию 20.09.2012 г.

Аннотация. В настоящей работе на основе теоретико-игрового подхода и с использованием равновесия по Штакельбергу решается задача поиска оптимального количества пограничных кораблей и средств наблюдения. Полученное решение обеспечивает сдерживание незаконной деятельности в исключительной экономической зоне и минимизирует ущерб государству и общественному благосостоянию.

Ключевые слова: исключительная экономическая зона, пограничное сдерживание, теоретико-игровая модель, равновесие по Штакельбергу.

Annotation. In this paper, based on the game-theoretic approach and using the Stackelberg equilibrium is solved the problem of finding the optimal number of border guard ships and means of observation. The resulting solution provides the deterrence of illegal activities in the exclusive economic zone and minimizes damage to the state and the public welfare.

Keywords: exclusive economic zone, border deterrence, game-theoretic model, Stackelberg equilibrium.

ВВЕДЕНИЕ

В статье приняты следующие сокращения: ВБР – водные биологические ресурсы, ИЭЗ – исключительная экономическая зона.

В соответствии со ст. 55 и ст. 57 Конвенции¹ ООН по морскому праву 1982 года *исключительная экономическая зона (ИЭЗ)* – это собой район, находящийся за пределами территориального моря и прилегающий к нему, и который подпадает под особый (смешанный) правовой режим. Внешняя граница исключительной экономической зоны не должна находиться далее 200 морских миль, отсчитываемых от исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря. Прибрежное государство в ИЭЗ имеет суверенные права только в целях разведки, разработки и сохранения природных ресурсов (как живых, так и неживых) в водах, покрывающих морское дно, на морском дне и в его недрах.

Охрана водных (морских) биоресурсов (ВБР) возлагается на службу береговой охраны (США и др. страны) или иные государственные ведомства. Наряду с охраной ВБР (обеспечением исполнения требований законодательства о рыболовстве) на службы береговой охраны

возлагаются и другие задачи, связанные с обеспечением национальной безопасности [1]: обеспечение безопасности портов, водных путей и побережья; противодействие противоправному ввозу наркотиков; борьба с нелегальной миграцией и др.

Моделирование действий подразделений береговой охраны обычно выполняется на следующих уровнях:

- операционный – оптимизация действий отдельных тактических единиц (корабль, самолет, беспилотное средство и т.д.);
- тактический – планирование и оптимизация действий подразделений (группы тактических единиц);
- стратегический – обоснование структуры и состава формирований береговой охраны.

В частности, в работе [2] отмечается, что при планировании на тактическом уровне нельзя опускаться на операционный уровень и планировать действия корабля в назначенном районе, поскольку это противоречит принципам управления. В основу моделирования действий по обеспечению национальной безопасности в морском пространстве положен теоретико-игровой подход, хорошо себя зарекомендовавший в задачах охраны сухопутных участков границы [3], международных аэропортов и воздушных рейсов [4]. Выполненные в области моде-

© Шумов В. В., 2012

¹ http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/lawsea.pdf

лирования национальной безопасности исследования позволяют говорить о наличии специального класса задач (Security Games) [5; 6], основанных на вычислении равновесия по Штакельбергу.

В работе [2] описана модель охраны морских портов и других объектов на побережье, в основе которой, в частности, лежат следующие идеи:

- для составления графиков патрулирования используется граф $G(V, E)$, вершины V которого есть объекты охраны, а дуги E – районы патрулирования; сокращение возможных графиков патрулирования достигается путем исключения доминируемых стратегий и объединения эквивалентных графиков (графиков с одинаковым значением выигрышей сторон);
- злоумышленники полагаются ограниченно рациональными, вероятности выбора им своих стратегий вычисляются с использованием логит-модели.

Отметим, что в настоящее время существует актуальная потребность в моделировании действий по охране ВБР в морских пространствах [7], но работ в данной области крайне мало и в них преимущественно рассматриваются аспекты, связанные с теорией рыболовства [8; 9; 10; 11].

1. ПОГРАНИЧНАЯ СИСТЕМА И СУБЪЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ В ИЭЗ

Нарушения в сфере охраны ВБР [12] можно разделить на два вида (основание классификации – тип пограничного средства, позволяющий выявить нарушение):

- нарушения, выявляемые в ходе досмотра группой, высаживаемой с пограничного корабля (вылов ВБР без разрешения, промысел обезличенными орудиями лова и т.д.);
- нарушения, выявляемые средствами наблюдения (ведение промысла без выдачи навигационных сигналов и др.).

Основными субъектами воздействия со стороны пограничной системы в ИЭЗ являются судовладельцы (капитаны) промысловые суда, ведущие незаконную добычу ресурсов (далее – агенты). Разделим агентов на n непересекающихся групп в зависимости от типа судов, вида промысла, порта приписки и других факторов.

Каждый агент i -й группы имеет следующий набор стратегий:

- $j = 0$ – ведение законного промысла;

- $j = 1$ – ведение незаконного промысла с регулярной выдачей навигационных данных и судовой отчетности;

- $j = 2$ – ведение незаконного промысла без выдачи навигационных данных или с выдачей искаженных данных.

Пусть s^i (s_n^i) есть ожидаемый доход агента i от законной (незаконной) добычи ресурсов, d^i – денежный эквивалент наказания (причем $d_0^i \equiv 0$, $d_2^i = d_1^i + \Delta d^i$, $\Delta d^i > 0$), λ^i – интенсивность прибытия в район агентов i -й группы (в общем случае зависит от промысловой обстановки, удаленности района, эффективности действий пограничных средств, наличия квот и т.д.), t_R^i – время пребывания агента i -й группы в районе.

Ожидаемая полезность U_j^i агента i при выборе им альтернативы j (за один заход в ИЭЗ) может быть вычислена с использованием модели Г. Беккера:

$$U_j^i = s^i, j = 0, \quad (1)$$

$$U_j^i = s_n^i - p_j^i P_s^i d_j^i + \Delta S^i, j = 1, 2, \quad (2)$$

где: p_j^i – вероятность досмотра судна i (выбравшего альтернативу j), при котором обеспечивается обнаружение факта незаконной добычи; P_s^i – вероятность привлечения к ответственности капитана судна (судовладельца) i -й группы в случае установления факта незаконной деятельности; ΔS^i – дополнительная полезность, характеризующая отношение капитана судна (судовладельца) i -й группы к риску.

Американский экономист М. Сесновиц [13] на основе статистики преступлений вычислил, что средний ожидаемый чистый доход преступников, занимающихся кражей с взломом, является отрицательной величиной. Данный факт говорит о том, что преступники, как правило, рискофилы, то есть их функция полезности выпукла [14] и $\Delta S^i > 0$.

Предположим, что пограничные средства состоят из двух типов – средства наблюдения (авиация, беспилотные летательные аппараты, космические средства и др.) и средства реализации обстановки (пограничные корабли).

Пусть имеется порученный для охраны район ИЭЗ площадью S . При наличии одного корабля ($m = 1$) он отвечает за охрану всего района. Если пограничных кораблей несколько ($m > 1$), то каждому из них назначается участок площадью S / m . Участки не пересекаются.

Возможности корабля характеризуются следующими показателями:

t_s – среднее время досмотра судна и при необходимости его задержания и доставления в ближайший порт (подчиняется показательному закону распределения);

t_m – среднее время перемещения корабля с целью досмотра следующего судна.

Время t_m вычисляется по формуле:

$$t_m = l_m / v_k, \quad l_m = \alpha \frac{S}{m}, \quad (3)$$

где: v_k – скорость корабля; $\alpha \geq 0$ – параметр, характеризующий способ действий корабля [15].

Если корабль несет службу в контрольной морской точке, то параметр α близок к нулю, в противном случае параметр определяется с учетом конфигурации участка несения службы, плотности судов в нем и выбранного режима досмотра судов. Заметим, что вычисление оптимального значения параметра α является самостоятельной теоретико-игровой задачей, которая решается в моделях более низкого уровня. В частности, если значение параметра α мало (выбирается для проверки ближайшее судно) то удаленные суда смогут почти безнаказанно вести незаконный промысел. Иначе время перемещения корабля резко увеличится, что скажется на его производительности. Интенсивность «обслуживания» кораблем судов равна:

$$\mu_k(m) = \left(t_s + \alpha \frac{S}{mv_k} \right)^{-1}. \quad (4)$$

Средство наблюдения имеет задачу поиска в районе судов, не выдающих навигационных данных, или выдающих неверные данные. В первом приближении возможности средства наблюдения с круговым обзором могут быть вычислены с использованием формулы Б. Купмана [16; 17]:

$$p_{osn} = 1 - e^{-\gamma t}, \quad (5)$$

где: γ – интенсивность поиска; t – паспортное время поиска.

Если средств наблюдения несколько, то предполагается, что они реализуют случайный поиск в районе и итоговая вероятность обнаружения судов, не выдающих навигационных данных, равна:

$$p_s(k) = 1 - (1 - p_{osn})^k. \quad (6)$$

Полагается, что соответствующая вероятность $p_s(k)$ обнаружения постоянна для каждого участка. Предположим, что суда равномерно распределены по участкам. Тогда пограничная система, состоящая из m кораблей и k средств наблюдения, может быть представлена идентичными системами массового обслуживания (по числу кораблей) с отказами и ошибками.

На вход пограничной системы поступают заявки (суда) с интенсивностью $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \lambda^i$.

Обслуживанию подлежит следующий поток заявок:

$$\begin{aligned} \frac{\chi}{m} \sum_{i=1}^n (q_0^i + q_1^i + q_2^i p_s(k)) \lambda^i &= \\ &= \frac{\chi}{m} \sum_{i=1}^n (x_0^i + x_1^i + x_2^i p_s(k)), \\ q_2^i + q_1^i + q_0^i &= 1, \quad i = 1, \dots, n, \end{aligned}$$

где: q_j^i – вероятность выбора агентом i -й группы j -й стратегии; x_j^i – интенсивность агентов i -й группы, выбравших j -ю стратегию; $\chi \leq 1$ – параметр, характеризующий возможности пограничной системы по мониторингу агентов. Содержательно параметр χ позволяет учесть возможности инспекторов, пребывающих на промысловых судах и возможности автоматизированных систем сбора и обработки информации о судах, судовладельцах и т.д.

Корабль не знает выбора агентом своей стратегии, поэтому его досмотр организуется случайным образом. Незаконная деятельность будет установлена (если она имеет место) в случае, если наступят все перечисленные ниже события:

- во время досмотра на борту судна будут находиться морепродукты;
- корабль, рассматриваемый как одноканальная система массового обслуживания с отказом, будет не занят;
- судно, использующее стратегию $j = 2$, будет обнаружено средством наблюдения.

Вероятность того, что во время досмотра на судне находятся морепродукты, равна $\phi = 1 - 0,5\beta$, где $0 \leq \beta \leq 1$ есть параметр, характеризующий способ действий кораблей и технологию досмотра. Если проверка выполняется в контрольной морской точке, то $\beta \rightarrow 0$. При $\beta > 0$ (проверка в районе) в половине случаев досмотр осуществляется до загрузки морепродуктов на борт, в оставшейся половине – после.

Вероятность обслуживания заявки кораблем равна (в предположении, что кораблю неизвестна принадлежность агента к конкретной группе):

$$p_{smo}(m, k) = \frac{\mu_k(m)}{\frac{\chi}{m} \sum_{i=1}^n (x_0^i + x_1^i + x_2^i p_s(k)) + \mu_k(m)}, \quad (7)$$

Тогда вероятность досмотра судна, при котором обеспечивается установление факта незаконной деятельности, равна:

$$p_j^i = \phi p_{smo}(m, k), j = 0, 1, \quad (8)$$

$$p_j^i = \phi p_{smo}(m, k) p_s(k), j = 2. \quad (9)$$

Рассмотренные модели действий судов и пограничной системы позволяют сформулировать критерий охраны ресурсов в ИЭЗ и определить состав пограничных средств (количество кораблей и средств наблюдения), необходимых для реализации функции сдерживания незаконной деятельности в ИЭЗ.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ПОГРАНИЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИИ СДЕРЖИВАНИЯ

Поскольку принадлежность судна к некоторой группе пограничной стороне обычно заранее неизвестна, то в целях упрощения дальнейших расчетов все имеющиеся группы можно свести к одной, найдя единственный параметр, характеризующий все группы. По О. Коши средней величиной является любая функция $f(X_1, \dots, X_n)$ такая, что при всех возможных значениях аргументов значение этой функции не меньше, чем минимальное из чисел X_1, \dots, X_n и не больше, чем максимальное из этих чисел [18, С. 92]. В соответствии с определением О. Коши в качестве среднего можно использовать математическое ожидание ущерба от всех судов, моду (использовать группу, в которой больше всего судов), медиану и т.д. Предположим, что все группы сведены к одной и в дальнейших рассуждениях индекс i будем опускать.

В качестве критерия охраны ресурсов в ИЭЗ примем предотвращенный ущерб за вычетом расходов на пограничные меры [19], значение которого зависит от выбора агентами альтернатив и от количества кораблей и средств наблюдения:

$$F(x, y) = Tux_0 - r_m m - r_k k - r_e \rightarrow \max, \quad (10)$$

где u – ожидаемый ущерб от незаконной добычи ресурсов одним судном за одно посещение ИЭЗ; $r_m (r_k)$ – приведенная к периоду времени T (например, год) полная стоимость владения корабля (средства наблюдения); r_e – приведенные к периоду времени T расходы на систему обеспечения.

Отметим, что ущерб считается предотвращенным, если судно ведет законный промысел ($j = 0$), что не исключает периодической его проверки.

Судовладельцы имеют цель максимизации ожидаемой полезности:

$$f(x, y) = \sum_{j=0}^3 U_j x_j \rightarrow \max, \quad (11)$$

Будем считать, что агенты ведут наблюдение за системой охраны ИЭЗ; они рациональны и способны почти без ошибок сравнить ожидаемые полезности альтернатив и выбрать ту из них, при которой ожидаемая полезность максимальна. Тогда интенсивность судов, выбирающих альтернативу $j = 0$, равна:

$$x_0 = \begin{cases} \lambda, & U_0 = \max_{j=0,1,2} U_j, \\ 0, & U_0 < \max_{j=0,1,2} U_j. \end{cases} \quad (12)$$

Положим, что в случае равенства полезностей всех трех альтернатив, агент выберет законную деятельность.

Поскольку агенты ведут наблюдение за системой охраны ИЭЗ и цикл их деятельности короче цикла деятельности пограничной системы (цикла построения системы охраны ИЭЗ, включающего оснащение необходимым количеством кораблей и средств наблюдения), то мы имеем игру Γ_1 , решение которой (равновесие по Штакельбергу) находится обратной индукцией. Равновесие по Штакельбергу реализуется, если агент выбирает действие $x \in X$ (одну из трех альтернатив), максимизируя свой выигрыш при известном ему на момент принятия решения действию пограничной системы. Соответственно, пограничная система, зная о таком поведении агента, выбором действия $y \in Y$ максимизирует свой выигрыш, считая заданной реакцию агента на свои действия [20].

Структура допустимого множества Y зависит от поставленной задачи. В первом случае (законотворческая деятельность) множество Y состоит из возможных видов наказания за незаконную добычу ресурсов и количественно

выражается денежным эквивалентом наказания, во втором это множество состоит из количества кораблей и средств наблюдения и т.д. Далее будем считать, что правовые нормы стабильны, и рассмотрим второй случай.

Из выражений (1–2) находим условие сдерживания агентов (выбора ими нулевой альтернативы):

$$p_j \geq \frac{s_n - s + \Delta S}{P_s d_j} = a_{1j}, j = 1, 2. \quad (13)$$

Для альтернативы $j = 1$ имеем:

$$\begin{aligned} p_1 &= \phi p_{smo1}(m) = \\ &= \frac{\mu_k(m)}{\frac{\chi}{m} \lambda + \mu_k(m)} = \\ &= \frac{\left(t_s + \alpha \frac{S}{mv_k} \right)^{-1}}{\frac{\chi}{m} \lambda + \left(t_s + \alpha \frac{S}{mv_k} \right)^{-1}} = a_{11}. \end{aligned} \quad (14)$$

Мы получили алгебраическое уравнение 3-й степени, решение которого (количество кораблей m_1) можно найти с помощью формулы Кардано.

Для альтернативы $j = 2$ имеем:

$$\begin{aligned} p_2 &= \phi p_{smo1}(m, k) = \\ &= \frac{\mu_k(m)}{\frac{\chi}{m} \lambda p_s(k) + \mu_k(m)} = \\ &= \frac{m \mu_k(m)}{\chi \lambda \left[1 - (1 - p_{osn})^k \right] p_s(k) + m \mu_k(m)} = a_{12}. \end{aligned} \quad (15)$$

Поскольку стоимость средства наблюдения значительно меньше стоимости корабля, то в выражение (15) достаточно подставить полученное значение m_1 (при меньшем значении агенты выберут альтернативу $j = 1$) и найти требуемое количество средств наблюдения k_2 .

На завершающем этапе вычисляем значение целевой функции пограничной системы (10). Если оно окажется отрицательным, то необходимо внести изменения в законодательство (ужесточить наказания за незаконную деятельность) и повторить расчеты.

Найденное количество пограничных кораблей и средств наблюдения обеспечивает реализацию функции сдерживания незаконной деятельности в ИЭЗ. Суда, ведущие промысел, должны подвергаться регулярной проверке,

организуемой, например, с помощью датчика случайных чисел. Отметим, что полученное решение не должно подстраиваться под текущее поведение агентов (капитанов судов, судовладельцев). Если в условиях массового отказа агентов от незаконной деятельности снизить интенсивность проверок, то полезность незаконной деятельности агентов повысится, что приведет к значительным экономическим потерям государства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представляются перспективными следующие направления исследований. Во-первых, создание комплексных моделей охраны морских пространств и береговой инфраструктуры в надводной и подводной среде. Во-вторых, формирование матрицы моделей, являющейся объединением иерархических моделей (технический, операционный, тактический и другие уровни, где низшим уровням моделирования соответствует более высокая степень детализации) и моделей, представляемых в виде горизонтальной цепочки (соответствуют этапам цикла деятельности, например: профилактика – сдерживание – пограничные меры).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Homeland Security Act of 2002 (Public Law 107–296).
2. Shieh, E.; An, B.; Yang, R.; Tambe, M.; Baldwin, C.; DiRenzo, J.; Maule, B.; and Meyer, G. 2012. PROTECT: A deployed game theoretic system to protect the ports of the United States. In Proc. of The 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS).
3. Wein L. M., Liu Y., Motskin A. (May 2009). Analyzing the Homeland Security of the U.S.-Mexican Border / Risk Analysis, Vol. 29, No. 5, pp. 699–713.
4. Pita J., Jain M., Western C., Portway C., Tambe M., Ordonez F., Kraus S., Paruchuri P. Deployed ARMOR protection: The application of a game theoretic model for security at the Los Angeles International Airport / In Proc. of AAMAS, 2008.
5. Korzhyk D., Conitzer V., Parr R. Security Games with Multiple Attacker Resources: IJCAI, 2011, p. 273–279.
6. Pita J., Tambe M., Kiekintveld C., Cullen S., Steigerwald E. GUARDS – Game Theoretic Security Allocation on a National Scale / In Proc. of AAMAS, 2011, pp. 37–44.
7. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Председателя Правительства Российской Федерации от 08.12.2010 № 2205-р.

8. Баранов Ф. И. Избранные труды. Т. 3. Теория рыболовства. – М.: Пищ. пром-сть, 1971.

9. Норинов Е. Г. Рациональное рыболовство: монография. – Петропавловск-Камчатский: Камчат-ТГУ, 2006. – 184 с.

10. Система спутникового мониторинга рыболовства. Современное состояние и перспективы развития / составители: К. А. Згуровский, В. В. Приземлин, С. Ю. Фомин. – Москва-Мурманск: WWF России, 2008. – 80 с.

11. Кошкарева Л. А. Нормативное и методикоматематическое обеспечение информационной системы мониторинга иностранных рыболовных судов: Автореф. дис. канд. технич. наук. – Владивосток., 2006. – 28 с.

12. Государственная граница, организованная преступность, закон и безопасность России / Под общ. ред. проф. А.И. Долговой. – М.: Российская криминологическая ассоциация. 2005. – 347 с.

13. *Sesnowitz M.* Returns to Burglary // *The Economics of Crime.* – Cambridge (Mass.), 1980. – С. 181 – 186.

14. Корвин Д. И. О нахождении функции полезности в теории Неймана-Моргенштерна // «Вестник ИГЭУ». Вып. 4. 2005.

15. Приказ ФСБ РФ от 26 сентября 2005 г. N 569 «Об утверждении Положения о порядке осуществления государственного контроля в сфере охраны морских биологических ресурсов».

16. Купман Б. Теория поиска. Ч. II. Обнаружение цели // *Operations Research.* – 1956. – V. 4. – № 5. – С. 503–531.

17. Беляева М. Б., Митрофанов М. Ю. Новые результаты в теории поиска // *Дискретный анализ и исследование операций*, январь – июнь 2004. Серия 2. Том 11, № 1. – С. 26–50.

18. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование: учебник: в 3 ч. Ч.2. Экспертные оценки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.

19. Шумов В. В. Модели пограничного сдерживания. – М.: ЛЕНАНД, 2012. – 200 с.

20. Губко М. В., Новиков Д. А. Теория игр в управлении организационными системами. Издание 2-е. – М.: ИПУ РАН, 2005. – 138 с.

Шумов В. В. – Отделение погранологии Международной академии информатизации, Москва, кандидат наук, старший преподаватель. E-mail: vshum59@yandex.ru

Shumov V. V. – International Informatization Academy, Moscow, Cand. Sc., senior lecturer. E-mail: vshum59@yandex.ru