

Оценка устойчивости модели сдерживания незаконной деятельности в исключительной экономической зоне

В. В. ШУМОВ

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. Предложена методика оценки модели на устойчивость.

Ключевые слова: *исключительная экономическая зона, водные биоресурсы, пограничное сдерживание, устойчивость модели, равновесие по Штакельбергу.*

Введение

Рыба и рыбопродукты представляют собой ценнейший источник белка и основных микроэлементов, необходимых для сбалансированного питания и хорошего здоровья. Объем продукции мирового морского рыболовства составляет около 80 млн тонн. Наиболее продуктивной стала северо-западная часть Тихого океана. Доля чрезмерно эксплуатируемых запасов возрастает: с 10 % в 1974 году до 26 % в 1989 году. После 1990 года число чрезмерно эксплуатируемых запасов продолжало возрастать, хотя и более медленными темпами [22].

В связи с ростом населения Земли по прогнозам объем мирового производства продукции рыболовства и аквакультуры в 2021 году составит около 172 млн. тонн, что на 15 % выше среднего уровня 2009–2011 годов. В 2021 году 55 % мирового экспорта рыбы для человеческого потребления будет поступать из Азии; главным мировым экспортером останется Китай [22].

Глобальный рыболовный флот состоит из порядка 4,3 млн судов. На моторные суда приходится порядка 59 % от этого количества. Остальные 41 % составляют традиционные парусные или весельные средства различных типов, главным образом в Азии (77 %) и Африке (20 %). Порядка 86 % моторных рыболовных судов в мире имеют длину менее 12 метров. Менее 2 % всех моторных рыболовных судов составляют суда промышленного промысла длиной свыше 24 метров [22].

Специалистами признается необходимость управления океанами на всех уровнях, то есть на мест-

ном, национальном, региональном и глобальном. Согласно оценкам, примерно 90 % мирового вылова рыбы добывается в исключительных экономических зонах прибрежных государств [22]. В соответствии со ст. 55 и ст. 57 Конвенции¹ ООН по морскому праву 1982 года *исключительная экономическая зона* (далее, ИЭЗ) — это 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.

По мнению Е. Г. Норинова [17] для сохранения биоресурсов необходимо усилить внимание к фундаментальным проблемам биологии, организовать систему государственного комплексного мониторинга морской среды, перейти к экосистемным принципам управления и заниматься аквакультурой².

Цикл управления водными биоресурсами (далее ВБР) в ИЭЗ состоит из следующих этапов: аквакуль-

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

² Аквакультура (от лат. aqua — вода и cultura — возделывание, разведение, выращивание) — разведение и выращивание водных организмов (рыб, ракообразных, моллюсков, водорослей) в континентальных водоемах и на специально созданных морских плантациях.

тура и контроль естественного прироста ВБР — установление нормы изъятия — выдача квот¹ — промысел ВБР — обеспечение законности промысла (охрана ВБР). Для управления ВБР используются правовые, политические, социально-экономические и режимные механизмы. С точки зрения криминологии [12] и теории безопасности [18] борьба с незаконной деятельностью в ИЭЗ включает следующие основные этапы: профилактика — сдерживание — нейтрализация (пограничные меры) [27]. Охрана ВБР и морских районов осуществляется в целях сохранения биоразнообразия и обеспечения устойчивого рыболовства. При назначении тех или иных режимных и охранных мер обычно рассматриваются вопросы о том, кто получит выгоду или пострадает, каков будет суммарный объем затрат и выгод, и каким должно быть распределение режимных мер в пространстве и времени.

Охрана 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 [37]: обеспечение безопасности портов, водных путей и побережья; противодействие противоправному ввозу наркотиков; борьба с нелегальной миграцией и др.

Наиболее распространенными нарушениями в сфере охраны ВБР являются следующие [7]:

- промысел (добыча) ВБР без разрешения (квот);
- промысел (добыча) ВБР с разрешением, но с превышением установленных объемов квот, в запрещенных и не отведенных для этих целей местах и районах, в запрещенное время, с применением запрещенных и недозволённых орудий лова;
- промысел (добыча) ВБР с наличием разрешения (квот) на определенные виды, но с фактической добычей других (более дорогих при реализации);
- умышленное искажение в сторону уменьшения объемов добычи ВБР в судовых и иных документах и др.

Для защиты незаконного браконьерского бизнеса и контрабандных поставок продукции морского рыбного промысла за рубеж некоторые рыболовные компании тратят значительные средства на сбор информации о точном местонахождении в море пограничных и таможенных кораблей, о маршрутах их следования, внезапных изменениях курсов и направлений движения [7].

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 [35] 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 [39], международных аэропортов и воздушных рейсов [32]. Выполненные в области моделирования национальной безопасности исследования позволяют говорить о наличии специального класса задач (Security Games) [30; 31; 32; 33; 36; 40], основанных на вычислении равновесия по Штакельбергу.

Отметим, что в настоящее время существует актуальная потребность в моделировании действий по охране ВБР в морских пространствах [23], но работ в данной области крайне мало и в них преимущественно рассматриваются аспекты, связанные с теорией рыболовства [2; 11; 17; 21; 25].

1. Модель выбора субъектами воздействия альтернатив

Основными субъектами воздействия (далее, СВ) со стороны пограничной системы являются промысловые суда, ведущие незаконную добычу ресурсов (капитаны судов, судовладельцы, выгодоприобретатели).

Традиционно СВ подразделяются (основание классификации — мотивация действий) на экономических (контрабандисты, нелегальные мигранты и т. д.) или неэкономических (террористы и др.) агентов [27]. Однако в определенные периоды борьба с контрабандистами принимала характер настоящих боев с применением стрелкового оружия и артиллерии [4; 14; 26]. И в настоящее время известно немало случаев, когда капитаны пограничных кораблей вынуждены применять оружие по судам для пресечения их незаконных действий.

Выбор экономическими агентами альтернатив обычно описывается моделью Г. Беккера [29] и функциями полезности [10; 15] или весовыми функциями и ожидаемыми стоимостями [38].

¹ Квота (лат. quota) — норма, доля или часть чего-либо, допускаемого в рамках возможных соглашений и договоров.

Нарушения в сфере охраны ВБР можно разделить на два вида (основание классификации — тип пограничного средства, позволяющий выявить нарушение) [7]:

- 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 в ИЭЗ являются промысловые суда, ведущие незаконную добычу ресурсов (капитаны судов, судовладельцы, выгодоприобретатели). Разделим СВ на некоторое количество непересекающихся групп в зависимости от типа, вида промысла, порта приписки и других факторов и рассмотрим далее i -ю группу, опуская индекс i .

Каждый СВ 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.

Ожидаемая полезность U_j экономического СВ при выборе им альтернативы j (за один заход в ИЭЗ) может быть вычислена с использованием следующих выражений (модель Г. Беккера):

$$U_j = u(s + s_0), j = 0, \tag{1}$$

$$U_j = (1 - p_j P_s) u(s_n + s_0) + p_j P_s u(s_n + s_0 - d_j), j = 1, 2, \tag{2}$$

где: p_j — вероятность досмотра судна (выбравшего альтернативу j), при котором обеспечивается обнаружение факта незаконной добычи;

P_s — вероятность привлечения к ответственности капитана судна (судовладельца) в случае установления факта незаконной деятельности;

s_0 — имеющиеся в распоряжении СВ средства в денежном эквиваленте;

$s(s_n)$ — ожидаемый доход СВ от законной (незаконной) добычи ресурсов;

d_j — денежный эквивалент наказания (причем $d_0 \equiv 0, d_2 = d_1 + \Delta d, \Delta d > 0$);

$u(\cdot)$ — функция полезности.

Положим для определенности, что функция полезности равна:

$$u(x) = x^\zeta, \tag{3}$$

где: $\zeta = 1$ для рисконейтралов, $\zeta > 1$ для рискофилов и $\zeta < 1$ для рискофобов.

В случае получения от пограничников требования о проверке судна, у субъекта, ведущего незаконную деятельность, имеется две альтернативы: остановиться и предъявить судно для осмотра или попытаться скрыться. Во втором случае организуется его преследование по «горячим следам» [19].

Применительно к боевым и другим действиям, связанным с применением оружия и угрозой потери здоровья и жизни, определяется пороговая вероятность — вероятность, при которой субъекты массово отказываются от ведения боевых действий в связи с чрезмерными (с их точки зрения) рисками. По опыту боевых действий значение пороговой вероятности равно 0,05–0,3 [6].

Пусть P_0 есть пороговая вероятность (вероятность, при которой субъекты массово отказываются от попыток скрыться от досмотра в связи с чрезмерными рисками, связанными с применением пограничниками оружия); P_{zp} — вероятность задержания (нейтрализации) в ходе преследования (зависит от соотношения скоростей судна-нарушителя и пограничного корабля, дистанции между ними, погоды, типа имеющегося оружия и способов его применения и т. д.). В соответствии со стандартной логит-моделью вероятность P_u попытки ухода субъекта от досмотра равна [34; 39; 27]:

$$P_u = \frac{\exp(\theta(1 - P_{zp}) / (1 - P_0))}{\exp(\theta) + \exp(\theta(1 - P_{zp}) / (1 - P_0))}, \tag{4}$$

где $\theta > 0$ — параметр модели. Параметр θ содержательно характеризует степень рациональности субъектов (знание ими обстановки и своих возможностей).

2. Модель охраны ВБР в районе ИЭЗ

Сделаем следующие допущения и предположения.

Первое. В настоящей модели будем рассматривать агрегированные показатели: математические ожидания, средние значения и аналогичные характеристики, складывающиеся в результате тактических действий пограничных средств и нарушителей, в том числе и с возможным применением математических моделей нижнего уровня.

Второе. Пограничные средства состоят из двух типов — подвижные средства наблюдения (авиация, беспилотные летательные аппараты, космические средства и др.) и средства реализации обстановки (пограничные корабли).

Пусть имеется район ИЭЗ с эффективной 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 (рис. 1).

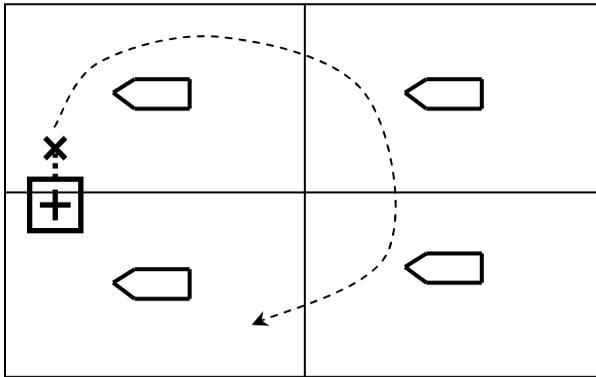


Рис. 1. Условная схема охраны района ИЭЗ

Возможности корабля характеризуются следующими показателями:

t_s — математическое ожидание времени досмотра судна и при необходимости его задержания и доставления в ближайший порт (обычно предполагается, что время досмотра подчиняется показательному закону распределения), час.;

t_m — математическое ожидание времени перемещения корабля с целью досмотра следующего судна, час.

Время t_m можно вычислить по формуле:

$$t_m = l_m / v_k, \quad l_m = \alpha \frac{\sqrt{S}}{m}, \quad (5)$$

где: v_k — скорость корабля (км/час); $\alpha \geq 0$ — параметр, характеризующий способ действий корабля [20] и конфигурацию района.

Если корабль несет службу в контрольной морской точке, то параметр α близок к нулю (судно обязано по требованию корабля прийти в точку), 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 $\mu_k(m)$ «обслуживания» кораблем судов определяется временем t_s досмотра судна, временем t_m перемещения к следующему судну и временем t_u погони по горячим следам. Тогда с учетом выражений (4) и (5) получим следующее выражение для расчета интенсивности:

$$\mu_k(m) = \left(t_s + \alpha \frac{\sqrt{S}}{mv_k} + P_u t_u \right)^{-1}. \quad (6)$$

Средство наблюдения имеет задачу поиска в районе судов, не выдающих навигационных данных, или выдающих неверные данные. Учитывая, что скорость средства наблюдения значительно больше скорости судов, возможности средства наблюдения с круговым обзором могут быть приближенно оценены с использованием формулы Б. Купмана [1; 3; 13]:

$$p_{osn} = 1 - e^{-\gamma_s t_{sn}}, \quad \gamma_s = \frac{2D_s v_s}{S}, \quad (7)$$

где: p_{osn} — вероятность обнаружения судна в районе поиска; γ_s — интенсивность поиска; t_{sn} — время поиска (час); D_s — дальность обнаружения судна средством наблюдения (км), v_s — скорость средства наблюдения (км/час).

Пусть τ_{sn} есть ежедневное ресурсное (паспортное) время полета одного средства наблюдения (час/сут). Тогда математическое ожидание времени поиска равно

$$t_{sn} = (\tau_{sn} - \Delta\tau_{sn}) \gamma_R t_R, \quad (8)$$

где: $\Delta\tau_{sn}$ — ежедневное время полета в район поиска и возвращения из него (час/сут); t_R — время пребывания судна в районе (суток), $0 < \gamma_R < 1$ — параметр, характеризующий требования к своевременности обнаружения судна.

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

$$p_s(k) = 1 - (1 - p_{osn})^k. \quad (9)$$

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

Пусть λ есть интенсивность прибытия в район судов (в общем случае зависит от промысловой обстановки, удаленности района, эффективности действий пограничных средств, наличия квот и т. д.). Тогда на вход пограничной системы поступают заявки (суда) с интенсивностью λ/m . Обслуживанию подлежит следующий (максимально возможный) поток заявок:

$$\lambda_m = \lambda \frac{1 - \chi}{m} \gamma_m,$$

где: $0 < \chi \leq 1$ — параметр, характеризующий возможности пограничной системы по мониторингу судов (например, в форме присутствия на них инспекторов); $\gamma_m \geq 1$ — параметр, отражающий требо-

вания по повторной проверке судов (при $\gamma_m = 1$ повторные проверки не производятся). 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.

Пограничный корабль не знает выбора СВ своей стратегии, поэтому организует досмотр судов случайным образом. Незаконная деятельность будет установлена (когда 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 ограниченным временем ожидания, «обслужит» судно;
- судно, использующее стратегию $j = 2$, будет обнаружено средством наблюдения.

Факт незаконной деятельности иногда может быть установлен при проверке судна в любой момент его нахождения в районе (трал запрещенного типа и др.). Другие виды незаконной деятельности могут быть установлены только после завершения добычи ВБР. Если проверка судна выполняется не более одного раза, то у капитана судна появляется почти безрисковая возможность незаконной деятельности с момента проверки до момента выхода из района.

Пусть $0 \leq \beta_0 \leq \beta \leq 1$ есть параметр, характеризующий способ действий кораблей и технологию досмотра. Если проверка выполняется в контрольной морской точке, то $\beta \rightarrow 1$. При $\beta \rightarrow \beta_0$ (проверка в районе) досмотр с вероятностью β_0 позволит выявить факт незаконной деятельности.

Тогда вероятность того, что во время досмотра будет установлен факт незаконной деятельности, равна:

$$P_d = \beta_0. \tag{10}$$

Вероятность обслуживания заявки кораблем равна (в предположении, что нет приоритета обслуживания кораблем судов и мы имеем одноканальную систему с ограниченным временем ожидания) [5]:

$$p_{smo}(m, k) = \begin{cases} 1 - \frac{\lambda_m}{\mu_k(m)} e^{-24(\mu_k(m) - \lambda_m)t_R}, & \mu_k(m) > \lambda_m, \\ 0, & \mu_k(m) \leq \lambda_m, \end{cases} \tag{11}$$

где $24 \cdot t_R$ есть время пребывания судна в районе, час.

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

$$p_j = P_d p_{smo}(m, k), j = 0, 1, \tag{12}$$

$$p_j = P_d p_{smo}(m, k) p_s(k), j = 2. \tag{13}$$

Рассмотренные модели действий субъектов воздействия и пограничной системы в зависимости от цели исследования позволяют ставить и решать как оптимизационные, так и теоретико-игровые модели.

Положим: во-первых, СВ действуют независимо друг от друга, стремясь максимизировать свою полезность; во-вторых, СВ имеют полную информацию о целях пограничной системы и способах ее действий (не исключается, что эту информацию они могут получать из единого центра).

Цель субъектов i -й группы заключается в выборе действия x^i_j , максимизирующего ожидаемую полезность:

$$f^i(x, m, k) = \sum_{j=0}^2 U_j^i(m, k) x^i_j \rightarrow \max_{x^i}, \tag{14}$$

$$x = (x^1, \dots, x^n), x^i = (x^i_0, x^i_1, x^i_2),$$

$$x^i_j \in (0, 1), j = 0, 1, 2, \sum_{j=0}^2 x^i_j = 1,$$

$$U_j^i(m, k) = (1 - P_s p_j^i(m, k)) (s_{nj}^i + s_0^i)^{s^i} + P_s p_j^i(m, k) (s_{nj}^i + s_0^i - d^i)^{s^i}, \tag{15}$$

$$s_{n0}^i = s^i, s_{n1}^i = s_{n2}^i = s_n^i, p_0^i(m, k) = 0, i = 1, \dots, n.$$

Перепишем полученные выражения для расчета вероятности досмотра судна, при котором устанавливается факт ведения незаконной деятельности.

$$p_j^i(m, k) = P_d p_{smo}^i(m, k) p_{sj}^i(k), \tag{16}$$

$$p_{sj}^i(k) = \begin{cases} 1, & j = 0, 1, \\ 1 - (1 - p_{osn}^i)^k, & j = 2, \end{cases} \tag{17}$$

$$p_{smo}^i(m, k) = \begin{cases} 1 - \frac{\lambda_m}{\mu_k(m)} e^{-24(\mu_k(m) - \lambda_m)t_R}, & \mu_k(m) > \lambda_m, \\ 0, & \mu_k(m) \leq \lambda_m, \end{cases} \tag{18}$$

$$\mu_k(m) = \left(t_s + \alpha \frac{\sqrt{S}}{m v_k} + P_u t_u \right)^{-1}, \tag{19}$$

$$\lambda_m = \frac{\lambda(1 - \chi)\gamma_m}{m}, \tag{20}$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{N^i r^i}{24 T_p^i}, \tag{21}$$

где r^i — среднее количество посещений морского района судном i -й группы за год, N^i — количество

судов i -й группы, T_p^i — количество суток в году, в течение которого суда i -й группы ведут промысел ВБР.

Суммарный ущерб от незаконной деятельности может значительно превосходить сумму ущербов от одного субъекта. Массовая незаконная деятельность иногда приводит к исчезновению отдельных видов морепродуктов, криминализации региона или иным необратимым последствиям. В теории оперативно-розыскной деятельности используется следующая классификация преступных формирований по численности участников: малочисленные (до 5 человек); средней численности (до 15 человек); большие по численности (до 50 человек); многочисленные (до 100 человек); гигантские (до 500 и более человек) [24]. Полагается, что если численность преступного формирования превышает 500 человек, то с ней необходимо бороться другими методами, силами и средствами.

Допустим, что в случае массовых нарушений государства способно направить в регион силы и средства других ведомств, что нам дает основания при обосновании состава пограничных средств считать функцию суммарного ущерба аддитивной.

В качестве критерия пограничной системы примем предотвращенный ущерб за вычетом расходов на пограничные меры [27]. Предположим, что в случае отсутствия охраны любое судно, максимизируя прибыль, будет вести незаконный промысел ВБР. Ущерб считается предотвращенным, если судно ведет законный промысел ($j = 0$), что не исключает периодической его проверки.

Расходы государства $Y(m, k)$ на пограничные меры можно определить по формулам:

$$Y(m, k) = y_m m + y_k k + y_e, \quad (22)$$

$$y_m = c_m / K_{kr}, \quad y_k = c_k / K_{sn},$$

где: c_m (c_k) — приведенная к одному году полная стоимость владения корабля (средства наблюдения);

K_{kr} (K_{sn}) — коэффициент напряженности использования корабля (средства наблюдения) по назначению;

y_e — ежегодные расходы на организационную систему и системы обеспечения.

Целевая функция пограничной системы имеет вид:

$$K(x, m, k) = \sum_{i=1}^n w^i N^i r^i x_0^i - y_m m - y_k k - y_e \rightarrow \max_{m, k}, \quad (23)$$

где w^i есть ущерб общественному благосостоянию со стороны одного судна i -й группы за одно посещение морского района в случае ведения им незаконного промысла; x_0^i — вероятность выбора субъектом i альтернативы $j = 0$ (отказ от незаконной деятельности).

3. Решение теоретико-игровой задачи для частного случая

Исключим из рассмотрения внутренние и прибрежные воды, где промысел ведется в основном маломерными моторными, парусными и весельными судами. Предположим, что охраняемый район ИЭЗ удален от побережья. В этом случае мы можем исключить из рассмотрения береговые пограничные средства и считать, что промысел ведется судами промышленного типа. Данное предположение позволяет ограничиться одной группой субъектов воздействия ($n = 1$).

Поскольку СВ 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 СВ выбирает действие x^j (одну из трех альтернатив), максимизируя свой выигрыш при известном ему на момент принятия решения действию пограничной системы. Соответственно, пограничная система, зная о таком поведении СВ, выбором действия (m, k) максимизирует свой выигрыш, считая заданной реакцию СВ на свои действия [8].

Опуская индекс i , из условия $U_j \leq U_0, j = 1, 2$ (полезность законной деятельности должна быть не ниже полезности незаконной) и формулы (15), находим условие сдерживания СВ:

$$P_j \geq \frac{(s_n + s_0)^\zeta - (s + s_0)^\zeta}{P_s (s_n + s_0)^\zeta - P_s (s_n + s_0 - d_j)^\zeta} \equiv a_{1j}, j = 1, 2, \quad (24)$$

где: s — полезность законной деятельности;

$s_n = s_{n1} = s_{n2}$ — полезность незаконной.

Перейдя в (24) к равенству, для альтернативы $j = 1$ имеем:

$$p_1 = P_d P_{smo} = a_{11},$$

или (с выполнением условия $\mu_k > \lambda_m$)

$$a_{11} = P_d \left(1 - \frac{\lambda_m}{\mu_k} e^{-2A(\mu_k - \lambda_m)t_R} \right), \quad (25)$$

$$\mu_k = \frac{mv_k}{mv_k t_s + \alpha \sqrt{S} + mv_k P_u t_u}, \quad (26)$$

$$\lambda_m = \frac{Nr(1 - \chi)\gamma_m}{24mT_p} \quad (27)$$

(в предположении, что выбор альтернативы субъектами пограничникам неизвестен и они проверяют все суда).

Таблица 1

Диапазоны изменения исходных данных модели

№	Наименование фактора	Мин. значение	Макс. значение
<i>Управляемые переменные (факторы)</i>			
1	Денежный эквивалент наказания (при выдаче навигационных сигналов), d_1	8	12
2	Денежный эквивалент наказания (если навигационный сигнал не подается), d_2	12	16
3	Вероятность привлечения к ответственности капитана судна в случае установления факта незаконной деятельности, p_s	0,6	0,75
4	Количество судов, ведущих промысел, N	300	450
5	Полезность законной деятельности, s	1	1,5
6	Полезность незаконной деятельности, s_n	2	4
7	Степень функции полезности, ζ	0,5	2
8	Ущерб общественному благосостоянию, w	10	15
<p><i>Неуправляемые переменные (детерминированные и вероятностные):</i> $s_0 = 15$; $P_u = 0,1$; $t_u = 10$ час; $S = 90000$ км²; $\alpha = 0,7$; $v_k = 40$ км/час; $t_s = 3$ час; $D_s = 5$ км; $v_s = 100$ км/час; $\tau_{sn} = 4$ час; $\Delta\tau_{sn} = 1$ час; $t_R = 5$ сут.; $\chi = 0,3$; $r = 5$; $T_p = 100$ сут.; $\gamma_R = 0,25$; $\gamma_m = 1,25$; $P_d = 0,85$.</p>			

Решая уравнения (25)–(27) и учитывая условие $\mu_k = \mu_k(m) > \lambda_m$, найдем количество кораблей m для альтернативы $j = 1$.

Для альтернативы $j = 2$ имеем:

$$a_{12} = P_d \left(1 - (1 - p_{osn})^k\right) \left(1 - \frac{\lambda_m}{\mu_k} e^{-24(\mu_k - \lambda_m)t_R}\right). \quad (28)$$

Поскольку стоимость средства наблюдения значительно меньше стоимости корабля, то в выражение (28) достаточно подставить полученное значение m (при меньшем значении СВ выберут альтернативу $j = 1$) и найти требуемое количество средств наблюдения k . Найденное количество пограничных кораблей и средств наблюдения обеспечивает реализацию функции подавления незаконной деятельности в ИЭЗ.

На завершающем этапе вычисляем значение целевой функции пограничной системы (23). Если значение целевой функции окажется отрицательным, то необходимо пересмотреть действующую систему наказания или принять иные меры.

4. Анализ модели на устойчивость

Изучение устойчивости модели обычно сводится к исследованию зависимости оптимального решения от параметров модели [16, С. 300–301].

Параметры модели можно разделить на следующие виды (основание классификации — возможность управления ими): управляемые¹ и неуправляемые. Каждый из видов в свою очередь подразделяется на типы: детерминированные, вероятностные (известна функция распределения), интервальные и нечеткие. Если значение параметра вычислено в результате экспертного опроса, то полагается, что значение определено в шкале отношений.

В таблице 1 указаны диапазоны изменения исходных данных, при которых вычислялись пограничный критерий K , оптимальное количество кораблей m^* и средств наблюдения k^* .

Поскольку в задачах проектного типа результат будет реализован в краткосрочной или среднесрочной перспективе, то полагается, что управляемые факторы относятся к интервальному типу. Границы интервалов могут быть определены, например, на основе сценарного подхода [28].

Как видно из таблицы 1, всего имеется $l = 8$ управляемых факторов, и для построения полного факторного эксперимента (в котором уровни каждого управляемого фактора комбинируются со всеми уровнями других управляемых факторов) [9] необходимо выполнить $2^l = 256$ вычислений.

¹ Под управляемым фактором будем понимать переменную, значение которой меняется в ходе вычислительного эксперимента.

Примечание. Параметры стоимостного типа имеют размерность в национальной или иной валюте (десятки или сотни тысяч руб. и т. д.).

Для вычисления весов факторов использовалась нелинейная модель наблюдений вида (функция отклика η):

$$\eta = \sum_{0 \leq i \leq l} \xi_i z_i + \sum_{1 \leq i < j \leq l} \xi_{ij} z_i z_j + \dots + \xi_{1,2,\dots,l} z_1 z_2 \dots z_l, \quad (29)$$

где: $\xi_i, \xi_{ij}, \dots, \xi_{1,2,\dots,l}$ — вес (вклад в изменение функции отклика) i -го фактора, парных взаимодействий факторов и т. д.; z_i — i -й фактор, принимающий два значения (-1 соответствует нижнему значению интервала варьирования, 1 — верхнему).

В результате эксперимента получены функции отклика для оптимального количества кораблей (незначимые факторы опущены):

$$\eta_m = 4,5z_0 + 0,5z_4, \quad (30)$$

средств наблюдения:

$$\eta_k = 2,6z_0 - 0,22z_2 - 0,25z_3 + 0,03z_4 - 0,31z_5 + 1,38z_6 + 0,78z_8 + 0,09z_{23} - 0,03z_{456} \quad (31)$$

пограничного критерия:

$$\eta_F = 14005z_0 + 2807z_4 - 1z_6 - 1z_7 + 4688z_8. \quad (32)$$

Средние значения показателей (оптимальное количество кораблей и средств наблюдения, пограничный критерий) соответственно равны: 4,5, 2,6 и 14005. Из функции (30) видно, что при заданных значениях параметров и определенных в таблице 1 интервалах варьирования управляемых факторов оптимальное количество кораблей равно 4–5, причем изменение количества кораблей определяется значением 4-го фактора (количество судов, ведущих промысел в районе).

Наибольший вклад в изменение оптимального количества средств наблюдения (функция (31)) вносит 6-й фактор — полезность незаконной деятельности.

Значение пограничного критерия (функция (32)) зависит главным образом от 8-го и 4-го факторов.

При изменении исходных данных в указанных диапазонах, модель устойчива. Устойчивость теряется, если значение параметра a_{ij} (выражение (24)) приближается или превышает 1. В частности, если взять интервал 5-го фактора, равный (2, 5), то модель станет неустойчивой. В данном случае неустойчивость модели объясняется недостаточным значением денежного эквивалента наказания и/или малым значением вероятности p_s привлечения к ответственности.

Заметим, что значения функций отклика (30) и (31) не зависят от степени функции полезности (7-й фактор), т. е. в условиях эксперимента не требуется знание отношений субъектов к риску.

Пограничное ведомство охраняет множество районов ИЭЗ и в этой связи возникает задача определения оптимального количества пограничных средств для каждого из районов. В табл. 2 представлены значения управляемых факторов, для которых выполнен новый вычислительный эксперимент.

В результате последнего эксперимента получены следующие функции отклика:

$$\eta_m = 3,3z_0 + 0,06z_1 - 0,81z_2 + 0,44z_3 + 0,41z_4 - 0,16z_5 - 0,72z_7 - 0,03z_{13} - 0,22z_{23}, \quad (33)$$

$$\eta_k = 3,4z_0 + 0,13z_1 - 0,26z_2 - 0,05z_3 + 0,09z_4 + 0,12z_5 - 2,27z_6 - 0,25z_7 + 0,21z_{23} - 0,13z_{14} + 0,04z_{123}, \quad (34)$$

$$\eta_F = 23391z_0 - 1z_1 + 8z_2 - 4z_3 + 4683z_4 + 1z_5 + 2z_6 + 7z_7 + 4688z_8 + 2z_{23}. \quad (35)$$

Из анализа выражений (33)–(35) можно сделать вывод, что не обязательно выполнять расчеты для каждого района отдельно. Достаточно выделить несколько типовых районов и выполнить расчеты по ним.

Отметим, что можно все или почти все факторы модели определить управляемыми, провести отсеивающий эксперимент (исключение незначимых факторов), а затем для оставшихся факторов выполнить полный или дробный факторный эксперимент по изложенной в литературе методике [9], с помощью которого определить влияние этих факторов на оптимальный состав пограничных средств.

Таблица 2

Диапазоны изменения исходных данных модели

№	Наименование фактора	Мин. значение	Макс. значение
<i>Управляемые переменные (факторы)</i>			
1	Площадь района ИЭЗ, S	75000	120000
2	Параметр, характеризующий систему мониторинга судов, χ	0,3	0,7
3	Вероятность попытки ухода субъекта от досмотра, P_u	0,05	0,3
4	Количество судов, ведущих промысел, N	300	450
5	Скорость пограничного корабля, v_k	30	60
6	Ежедневное время полета средства наблюдения, τ_{sn}	3	6
7	Количество суток в году, в течение которого ведется промысел, T_p	90	180
8	Ущерб общественному благосостоянию, w	10	15
<i>Неуправляемые переменные (детерминированные и вероятностные):</i> $d_1 = 10; d_2 = 14; p_s = 0,75; s = 1,5; s_n = 3; \zeta = 2;$ $s_0 = 15; t_u = 10$ час; $\alpha = 0,7; t_s = 3$ час; $D_s = 5$ км; $v_s = 100$ км/час; $\Delta\tau_{sn} = 1$ час; $t_R = 5$ сут.; $r = 5;$ $\gamma_R = 0,25; \gamma_m = 1,25; P_d = 0,85.$			

Заключение

В первом разделе работы описана модель выбора нарушителями режима ИЭЗ альтернатив, основанная на формуле Г. Беккера и стандартной логит-модели, позволяющая учитывать как экономические, так и неэкономические мотивы субъектов воздействия со стороны пограничного ведомства.

Во втором разделе рассмотрена модель охраны района ИЭЗ, в которой пограничные средства представлены подвижными средствами наблюдения (авиация, беспилотные летательные аппараты и т. д.) и средствами реализации обстановки (пограничные корабли).

В модели учитываются физико-географические факторы, характеристики пограничных средств, основные способы действий по охране района ИЭЗ, экономические, правовые и иные факторы.

В третьем разделе найдено решение теоретико-игровой задачи для частного случая — охраны удаленного района ИЭЗ, в котором ведут промысел в основном суда промышленного промысла (субъекты воздействия представлены одной группой). Решение основано на вычислении равновесия по Штакельбергу и нахождении оптимального количества пограничных кораблей и средств наблюдения. Также вычисляется оптимальное значение критерия пограничной системы — предотвращенного ущерба за вычетом расходов на пограничные средства и меры.

Поскольку задача определения оптимального состава пограничных средств относится к задачам проектного типа (срок реализации решения составляет несколько лет), то ряд факторов к моменту реализации решения могут поменять значения. В связи с чем актуальна задача анализа модели на устойчивость. Для среднесрочного прогноза обстановки предлагается использовать сценарный подход. Оценка влияния факторов на значение оптимального решения выполнена с использованием полного факторного эксперимента. Вычислительный эксперимент реализован с использованием пакета MS Excel 2007.

Представляются актуальными следующие направления исследований:

- разработка модели охраны прибрежных районов ИЭЗ, учитывающей береговые пограничные средства и широкий спектр судов (весельных, парусных, моторных);
- разработка модели подавления незаконной деятельности в ИЭЗ, охватывающей основные этапы цикла пограничной деятельности: профилактика, сдерживание, пограничные меры.

Литература

1. *Абчук В. А., Суздаль В. Г.* Поиск объектов. — М.: Сов. радио, 1977. — 336 с.
2. *Баранов Ф. И.* Избранные труды. Т. 3. Теория рыболовства. — М.: Пищ. пром-сть, 1971.
3. *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.
4. *Боярский В. И.* На стороже Руси стояти. Страницы истории пограничной стражи Российского государства. — М.: Издательство «Граница», 1992. — 168 с.
5. *Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н.* Введение в теорию массового обслуживания. Изд. 6-е. М.: URSS, 2013. — 400 с.
6. *Головин Н. Н.* Наука о войне. О социологическом изучении войны. — Париж: Издательство газеты «Сигнал», 1938. — 248 с.
7. Государственная граница, организованная преступность, закон и безопасность России / Под общ. ред. проф. А. И. Долговой. — М.: Российская криминологическая ассоциация, 2005. — 347 с.
8. *Губко М. В., Новиков Д. А.* Теория игр в управлении организационными системами. Издание 2-е. — М.: ИПУ РАН, 2005. — 138 с.
9. *Ермаков С. М., Жигляевский А. А.* Математическая теория оптимального эксперимента: Учеб. пособие. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 320 с.
10. *Коровин Д. И.* О нахождении функции полезности в теории Неймана—Моргенштерна // «Вестник ИГЭУ». Вып. 4. 2005.
11. *Кошкарёва Л. А.* Нормативное и методико-математическое обеспечение информационной системы мониторинга иностранных рыболовных судов: Автореф. дис. канд. технич. наук. — Владивосток., 2006. — 28 с.
12. Криминология: учебник для вузов / Под ред. д. ю. н., проф. А. И. Долговой. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Норма, 2005. — 912 с.
13. *Кулман Б.* Теория поиска. Ч. II. Обнаружение цели // Operations Research. — 1956. — V. 4. — № 5. — С. 503–531.
14. На страже границ Отечества. История пограничной службы. Краткий очерк. — М.: Граница, 1998. — 607 с.
15. *Нейман Д., Моргенштерн О.* Теория игр и экономическое поведение. — М.: Наука, 1970. — 708 с.
16. *Новиков А. М., Новиков Д. А.* Методология. — М.: СИНТЕГ, 2007. — 668 с.
17. *Норинов Е. Г.* Рациональное рыболовство: монография. — Петропавловск-Камчатский: КамчатГУ, 2006. — 184 с.
18. Общая теория национальной безопасности: учебник / Под общ. ред. А. А. Прохожева. Изд. 2. — М.: Изд-во РАГС, 2005. — 344 с.
19. Постановление Правительства РФ от 24 февраля 2010 г. № 80 «Об утверждении Правил применения оружия и боевой техники при охране государственной границы Российской Федерации, исключительной экономической зоны и континентального шельфа Российской Федерации». Опубликовано в «Российской газете» — Федеральный выпуск № 5121 от 2 марта 2010 г.
20. Приказ ФСБ РФ от 26 сентября 2005 г. № 569 «Об утверждении Положения о порядке осуществления государственного контроля в сфере охраны морских биологических ресурсов».
21. Система спутникового мониторинга рыболовства. Современное состояние и перспективы развития / Составители: Згуровский К. А., Приземлин В. В., Фомин С. Ю. — Москва-Мурманск: WWF России, 2008. — 80 с.
22. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры / Департамент рыболовства и аквакультуры ФАО. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций. — Рим, 2012. — 237 с.
23. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Председателя Правительства Российской Федерации от 08.12.2010 № 2205-р.
24. Теория оперативно-розыскной деятельности: учебник / Под ред. К. К. Горяинова, В. С. Овчинского, Г. К. Синилова. — М.: ИНФРА-М, 2006. — 832 с.
25. *Фрисман Е. Я., Сычева Э. В., Израильский Ю. Г.* Математическая модель динамики численности однородной промысловой популяции и анализ влияния промысла на характер динамики // Дальневосточный математический журнал, 2002, Том 3, № 1. — С. 108–122.
26. *Чугунов А. И.* Борьба на границе, 1917–1928: (Из истории пограничных войск СССР). — М.: Мысль, 1980. — 184 с.
27. *Шумов В. В.* Модели пограничного сдерживания. — М.: URSS, 2012. — 200 с.
28. *Ariely, G. Bijak, J. Landesmann, R. Poria, Y. and Warnes, R.* (2011) Futures of Borders: A Forward Study of European Bor-

- der Checks. Report for Frontex: EU external borders agency. Liron Systems Ltd./University of Southampton/University of Ben Gurion, Eilat/Southampton/ Be'er Sheva, December 2011.
29. *Becker G. S.* Crime and Punishment: An Economic Approach // Essays in the Economics of Crime and Punishment / Ed. by G. S. Becker, W. L. Landes. — N.Y., 1974. — P. 10.
 30. *Golany B., Kaplan E., Marmur A., Rothblum U. G.* Nature plays with dice — terrorists do not: Allocating resources to counter probabilistic and strategic risks // *European Journal of Operational Research*. — 1990, Vol. 192. — P. 198–208.
 31. *Korzhyk D., Conitzer V., Parr R.* Security Games with Multiple Attacker Resources: IJCAI, 2011, p. 273–279.
 32. *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.
 33. *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.
 34. *Sandor Z.* Multinomial discrete choice models // *Quantile*. — 2009, № 7. — P. 9–19.
 35. *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).
 36. *Tambe M.* Security and Game Theory: Algorithms, Deployed Systems, Lessons Learned. Cambridge University Press. — 2011.
 37. The Homeland Security Act of 2002 (Public Law 107–296).
 38. *Tversky A., Kahneman D.* Prospect theory: An analysis of decision under risk // *Econometrica*. — 1979, Vol. 47. — № 2. — P. 263–291.
 39. *Wein L. M., Liu Y., Motskin A.* Analyzing the Homeland Security of the U.S.-Mexican Border // *Risk Analysis*. — 2009, Vol. 29, No 5. — P. 699–713.
 40. *Wright P. D., Liberatore M. J., Nydick R. L.* A Survey of Operations Research Models and Applications in Homeland Security // *Interfaces*. — 2006, Vol. 36, № 6. — P. 514–529.

Шумов Владислав Вячеславович. Доцент Международной академии информатизации. К. т. н. Окончил в 1990 г. Военную академию им. М. И. Калинина, в 1994 г. МГУ. Кол-во печатных работ: более 50. Область научных интересов: погранология и погранометрика. E-mail: vshum59@yandex.ru