

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОГРАНИЧНОГО СДЕРЖИВАНИЯ

Шумов В. В.¹

(Отделение погранологии

Международной академии информатизации, Москва)

В статье рассматривается концептуальная модель пограничного сдерживания, вводится критерий его эффективности. С использованием стандартной логит-модели, положений теории организационных систем, погранометрических моделей разработана математическая модель пограничного сдерживания, позволяющая учитывать как прямые, так и информационные воздействия, направленные на обеспечение пограничной безопасности.

Ключевые слова: пограничное сдерживание, пограничные функции, пограничная безопасность, охрана границы, математическая модель.

1. Введение

Термин *deterrence* означает: 1) сдерживание; препятствование; удержание; 2) устрашение; отпугивание; запугивание [1].

Зародившись еще до первой мировой войны, сдерживание как политическая категория получило широкое признание с появлением ядерного оружия [2]. По определению американского политолога П. Моргана под сдерживанием понимается «деятельность по обеспечению безопасности с помощью угроз». Сдерживание подразделяется на *всеобъемлющее сдерживание* (*general deterrence* – попытка повлиять на оппонента заранее просчитанными рациональными угрозами) и *ситуативное*

¹ Шумов Владислав Вячеславович, кандидат технических наук, доцент (vshum59@yandex.ru)

сдерживание (immediate deterrence – ситуация, когда один из акторов видит угрозу атаки и предпринимает меры, чтобы сдержать ее) []. Морган делает акцент на политико-психологических аспектах сдерживания. Варианты и способы сдерживания являются не стратегическими константами, а переменными, зависящими от поведенческих моделей различных акторов.

Павловский Ю.Н. рассматривает четыре наиболее существенных аспекта механизма ядерного сдерживания. «Первый связан с представлениями о ценности человеческой жизни, распространенными в обществе, второй – с отсутствием в настоящее время эффективных средств защиты от ядерного оружия, третий – с катастрофическими последствиями применения ядерного оружия, которые будут иметь место во всех сферах жизни государств, в том числе в экономике и экологии, четвертый – с возможностью адекватного прогноза последствий использования ядерного оружия (его можно охарактеризовать как "информационный")» [].

Головин Н.Н. отмечает, что важнейшим фактором победы войска в бою является процент «кровавых» потерь (потери ранеными и убитыми), при котором войско все еще не утрачивает боеспособность (моральный дух). «... можно установить, что для сражений второй половины XVIII и всего XIX века пределом наибольшей, моральной упругости войск, после которого они не способны уже к победе, являются кровавые потери в 25 %. ... Моральный эффект равного процента потерь для каждого из сражающихся далеко не одинаков. Те же размеры потерь подавляют дух одного и вызывают более быстрый процесс морального разложения, нежели у другого, а тогда, этот другой и становится победителем...» [С.164-165]. По мнению О. Берндта «Психические свойства народа, массы которого составляют толщу армии, тоже обуславливают размеры потерь, которые эта армия способна выдерживать. И здесь встречается некоторое разнообразие. Так, например большинство сражений в которых русские дрались против равноценного врага, являются очень для них кровопролитными: Цорндорф – 43 %, Кунерсдорф – 43 %, Аустерлиц – 15 %, (Прейсиш) Эйлау – 28 %, Фридланд – 24 %,

Бородино – 31 %, Варшава – 18 %, Инкерман – 24 %, Первая Плевна – 28 %, Вторая Плевна – 28 %, Третья Плевна – 17 %, и т. д. Напротив, везде, где дерутся итальянцы мы всегда встречаем небольшие потери. Они проиграли сражение у Санта Лючия потеряв 2 %, у Кустоццы 1.2 %, у Мортары 2.2 %, у Новарры 5 % ... Можно найти некоторое объяснение этому явлению в особенностях театра военных действий, однако, видеть в этом последнем исчерпывающее объяснение – нельзя» [., С. 168]. Относительно низкий пороговый процент потерь фактически является сдерживающим фактором, не позволяющим достичь победы над более сильным в моральном отношении противником.

Поскольку исход боя в решающей степени зависит от морального состояния войска, то обе воюющие стороны издавна прибегают к информационным воздействиям. Историк Е.Б. Черняк следующим образом характеризовал наполеоновскую пропаганду: "В [ней] легко обнаружить в более или менее развитом виде многие характерные черты психологической войны – утверждения о единстве в собственном лагере и разлады у противников; дифференцированный подход к различным группам; замалчивание неблагоприятных известий и выпячивание выгодных, пусть и маловажных, новостей; использование доводов от соответствующим образом фальсифицированной истории; выдвижение легкодоступных лозунгов; постоянное повторение особенно полезных и удобных тезисов, включая и явные фальшивки; искажение сведений и аргументов враждебной печати; настойчивые попытки осмеяния неприятеля; обвинение его в собственных преступлениях или действиях, за которые несли в равной степени ответственность обе стороны и т. д." [., С. 50-51].

В соответствии с концепцией Д. Бойда [., С. 8] войны в современную информационную эпоху состоят из трех элементов:

- *Моральная война* (moral warfare): разрушение воли противника к достижению победы путем его отделения от союзников (или потенциальных союзников) и внутреннего раздробления, подрывая общую веру и общие взгляды;

- *Ментальная война* (mental warfare): деформация и искажение восприятия противником реальности на основе дезинформации и создания неправильных представлений о ситуации;
- *Физическая война* (physical warfare): разрушение физических ресурсов противника (вооружение, живая сила, инфраструктура и предметы снабжения).

А. Уилнер в статье «Понятие сдерживания времен холодной войны работает против терроризма» отмечает: если мы думаем о терроризме как о группе людей, действующих согласованными усилиями для достижения единой цели, тогда мы можем подумать и о том, чтобы выбрать группу целей внутри этой организации, которыми мы можем манипулировать с точки зрения логики сдерживания []. По мнению Уилнера включение теории сдерживания в войну с терроризмом путем ослабления соотношения затрат к выгоде в вопросе осуществления атаки, позволит заблаговременно манипулировать поведением террористических групп.

Основоположником экономической теории сдерживания считается Г. Бэккер [], установивший, что преступники – это люди, максимизирующие свою полезность, осуществляя выбор в условиях риска. Ожидаемая полезность EU (expected utility) от преступления вычисляется на формуле:

$$(1) \quad EU = p U(S - D) + (1 - p) U(S),$$

где: p – вероятность задержания и наказания преступника,

$U(\cdot)$ – его функция полезности,

S – доход преступника (если он не пойман),

D – денежная величина потерь преступника в случае его наказания.

Выражение (1) подвергается справедливой критике [], но в рамках настоящей работы оно интересно с концептуальной точки зрения. Государство, повышая неотвратимость наказания (увеличивая значение вероятности p) или его тяжесть (увеличивая D), тем самым оказывает сдерживающее воздействие на потенциальных преступников.

Г. Уиллис и др. в работе «Оценка эффективности безопасности границы между пунктами пропуска» []

формулируют функции пограничной системы, направленные на реализацию пограничной политики:

- *Функция запрета* – недопущение незаконного перемещения через границу лиц и грузов,
- *Функция сдерживания* – создание условий, при которых потенциальные правонарушители будут отказываться от незаконных действий,
- *Функция интегрирования информации* – совместное использование разведывательной информации разными правоохранительными структурами.

Отметим, что в отечественной литературе, рассматривающей функции государственной границы, преобладает географический (лимнологический) подход. «Любая гос. граница выполняет в разных соотношениях *контактные* (между экономическими и правовыми системами, культурами соседних стран) и *барьерные функции*: граница обладает избирательной проницаемостью для разных категорий людей, товаров и т. п. ... Гос. границы обладают также функцией отражения, под которой понимается воспроизводство в их функциях особенностей политического строя, гос. устройства, уровня экономического, социального и культурного развития страны, её идеологии, стратегических целей и экономических возможностей на мировом рынке» [].

Будет считать, что субъект воздействия (далее СВ или агент) со стороны пограничной системы¹ (например, потенциальный нарушитель) действует исходя из рациональных соображений. В теории организационных систем правило индивидуального рационального выбора агента определяется двумя гипотезами [, С. 27-29]:

1. *гипотеза рационального поведения*, заключающаяся в том, что агент с учетом всей имеющейся у него информации

¹ Пограничной системой называется система, предназначенная для оказания воздействий на субъекты по обеспечению режима государственной границы, пограничного режима, режима в пунктах пропуска, режима в прилегающей зоне, режима исключительной экономической зоны и континентального шельфа с целью повышения могущества государства [].

выбирает действия, которые приводят к наиболее предпочтительным результатам деятельности;

2. *гипотеза детерминизма*, заключающаяся в том, что агент стремится устранить (с учетом всей имеющейся у него информации) существующую неопределенность и принимать решения в условиях полной информированности.

Наиболее распространенными способами задания предпочтений являются *отношения предпочтения* и *функции полезности*. Бинарное отношение определяет для пары альтернатив, какая из них является «лучше». Функция полезности ставит в соответствие каждой альтернативе действительное число – полезность этой альтернативы.

Поскольку результат деятельности агента зависит не только от его собственных действий, но и от действий пограничной системы (далее ПС), то агент, принимая решение о выборе действия, должен предсказывать, к каким результатам могут привести те или иные действия. Процесс перехода от предпочтений на множестве действий к предпочтениям на множестве результатов называется *устранением неопределенности*. И этот процесс устранения неопределенности, а, значит, и принимаемое агентом решение, существенно зависит от прямых и информационных сдерживающих действий со стороны ПС.

2. Концептуальная модель пограничного сдерживания

Пограничная деятельность направлена на повышение могущества государства (его способности суверенно принимать и реализовывать определенные решения). Основными угрозами могуществу государства в пограничной сфере являются угрозы терроризма (попытки принудить государственную власть принимать определенные, выгодные внешним силам решения и действия), контрабанды (подрыв экономического суверенитета, нанесение ущерба здоровью и нравственности обществу), нелегальной миграции (нанесение экономического ущерба, рост межнациональной напряженности и конфликтов) и т.д.

Под *пограничным сдерживанием* будем понимать деятельность пограничной системы, направленную на создание условий, при которых потенциальные правонарушители будут отказываться от попыток незаконных действий в пограничном пространстве¹. Пограничное сдерживание является составной частью государственной (межгосударственной) системы сдерживания трансграничной преступности.

Пограничное сдерживание как деятельность пограничной службы можно классифицировать по следующим основаниям [,]:

1. *Масштаб реальных систем*. Пограничное сдерживание на уровне государства, региона, пограничного подразделения, пограничного наряда (корабля, пограничного средства).
2. *Пограничная специфика*. Сдерживание на государственной границе, в пограничной зоне, в пунктах пропуска, в прилегающей зоне, в исключительной экономической зоне, на континентальном шельфе и т.д.
3. *Мотивация действий субъектов воздействия*. Сдерживание экономических и неэкономических агентов.
4. *Форма действий*. Сдерживание в форме физических, административно-правовых, экономических, информационно-психологических и иных действий.
5. *Предмет сдерживания*:
 - Сдерживание, направленное на изменение (сокращение) состава преступных групп, уменьшение количества потенциальных агентов;

¹ К пограничным пространствам, находящимся в пределах государственной территории, следует относить: сухопутную, водную (внутренние морские воды, воды находящихся в пределах территории государства пограничных и международных рек, каналов, озер и иных водоемов, проливов, используемых для международного судоходства, архипелажные воды и территориальное море), воздушную территорию и недра государств на ширину (глубину, высоту) зоны действий и интересов пограничной службы. К пограничным пространствам, находящимся вне пределов территории государств, следует относить воды открытого моря, прилежащую зону, исключительную экономическую зону и континентальный шельф государств, а также воздушное пространство над ними [].

- Сдерживание, направленное на изменение *структуры* преступных групп (дезорганизация, раскол, сокращение множества возможных действий и т.д.);
- *Мотивационное* сдерживание (изменение функции полезности агентов),
- *Информационное* сдерживание (изменение информации, которую агенты используют при принятии ими решений о выбираемых действиях).

6. *Метод моделирования.* Теоретико-игровые модели, оптимизационные модели, эконометрические, погранометрические и другие модели. **Нерядоположенно. Давайте обсудим.**

Используя концептуальную модель безопасности границы Г. Уиллиса [], рассмотрим модель пограничного сдерживания (рис. 1). На рисунке потоки людей (грузов и т.д.) действия показаны сплошной линией, информационные потоки – пунктирной линией.

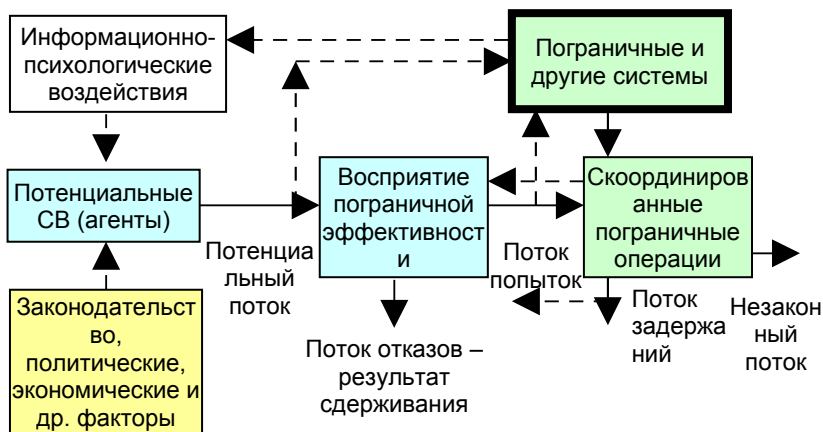


Рис. 1. Концептуальная модель пограничного сдерживания

К субъектам воздействия пограничной системы можно отнести выгодоприобретателей, организаторов незаконных каналов через границу, собственно нарушителей границы и пособников (*первое основание* для классификации – организационная роль).

По данному основанию выделим следующие классы СВ:

- Организаторов незаконных каналов через границу – субъекты воздействия 1-го класса (СВ-1),
- Нарушителей границы (режима границы, режима в пунктах пропуска) – субъекты воздействия 2-го класса (СВ-2 или агенты), действующих самостоятельно (и/или пользующихся услугами СВ-1) или по приказам СВ-1.

СВ-1 можно классифицировать по следующим основаниям:

- Вид выгодоприобретателей (государство или блок государств, международная преступная группировка и т.д.),
- Мотивация действий (материальная выгода или иные соображения).

Множество M СВ-1 разделим на два непересекающихся подмножества:

- Множество M_E СВ-1, действующих исходя из материальной выгоды (международная преступная группировка, организаторы каналов через границу);
- Множество M_P СВ-1, действующих исходя из нематериальных побуждений (государственная организация, террористическая группировка и т.д.).

Множество СВ-1 не будем разделять по направлениям действий (нарушение границы с нашей или сопредельной стороны) по следующим причинам: а) СВ-1 могут «обслуживать» агентов, нарушающих границу с той и другой стороны; б) подчиненные агенты могут нарушить границу дважды, до выполнения задания и после.

Основания для классификации агентов могут быть следующими:

- Мотивация действий (действуют по распоряжениям СВ-1 или самостоятельно, исходя из материального или иного интереса),
- Степень знания ими системы охраны границы,
- Вид правонарушения,
- Вид юридической ответственности за совершенное правонарушение,
- Степень государственной (общественной) опасности (и/или потенциальный экономический ущерб),

- Направление движения (к нам или от нас) и т.д.

Множество N групп агентов разделим на три непересекающихся подмножества:

- Множество N_E агентов, действующих самостоятельно и исходя из материальной выгоды;
- Множество N_P агентов, действующих самостоятельно и исходя из нематериальных побуждений;
- Множество N_M агентов, действующих по приказу СВ-1.

В свою очередь, каждое из указанных множеств можно разделить на два непересекающихся подмножества: $N_{E\downarrow}$ (к нам) и $N_{E\uparrow}$ (от нас), $N_{P\downarrow}$ и $N_{P\uparrow}$, $N_{M\downarrow}$ и $N_{M\uparrow}$. Для агентов, фактически нарушающих границу в обоих направлениях, в качестве расчетного направления выберем государство, куда направлены его действия (совершение теракта, ввоз контрабанды и т.д.). Обозначим символом « $\leftrightarrow$ » (взамен « $\downarrow$ » или « $\uparrow$ ») принадлежность агента к одному из них. Тогда $N = N_{\downarrow} \cup N_{\uparrow}$ и т.д.

Применительно к задачам охраны границы можно выделить следующие зоны правонарушения:

- Отказ от попытки нарушения границы ($j = 0_{\downarrow}$ – к нам, $j = 0_{\uparrow}$ – от нас), выбор «нулевой» зоны $j \in J_0$ или $j = 0$;
- Самостоятельное пересечение в пунктах пропуска ($j = 1_{\downarrow}$ – к нам, $j = 1_{\uparrow}$ – от нас) или пересечение границы ($j = 2_{\downarrow}$ – к нам, $j = 2_{\uparrow}$ – от нас), $j \in J_S$;
- Пересечение в пунктах пропуска ($j = 3_{\downarrow}$ – к нам, $j = 3_{\uparrow}$ – от нас) или пересечение границы ($j = 4_{\downarrow}$ – к нам, $j = 4_{\uparrow}$ – от нас) с получением информации о режиме в пунктах пропуска или надежности охраны границы, $j \in J_I$;
- Пересечение в пунктах пропуска ($j = 5_{\downarrow}$ – к нам, $j = 5_{\uparrow}$ – от нас) или пересечение границы ($j = 6_{\downarrow}$ – к нам, $j = 6_{\uparrow}$ – от нас) с использованием канала правонарушения, $j \in J_C$.

Дополнительно множество зон $J = (0_{\downarrow}, 0_{\uparrow}, 1_{\downarrow}, 1_{\uparrow}, \dots, 6_{\downarrow}, 6_{\uparrow})$ разобьем на два непересекающихся подмножества:

- $J_{\downarrow} = (0_{\downarrow}, 1_{\downarrow}, 2_{\downarrow}, \dots, 6_{\downarrow})$ – движение агентов к нам (со стороны сопредельного государства);

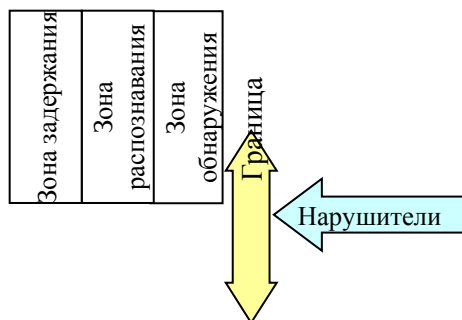
- $J_{\uparrow} = (0_{\uparrow}, 1_{\uparrow}, 2_{\uparrow}, \dots, 6_{\uparrow})$ – движение агентов от нас (в сторону сопредельного государства или в сторону открытого моря).

Обозначим $J_{\leftrightarrow}$ – множество $J_{\downarrow}$ или $J_{\uparrow}$. Предполагается, что любая группа агентов i принадлежит строго к одному из них.

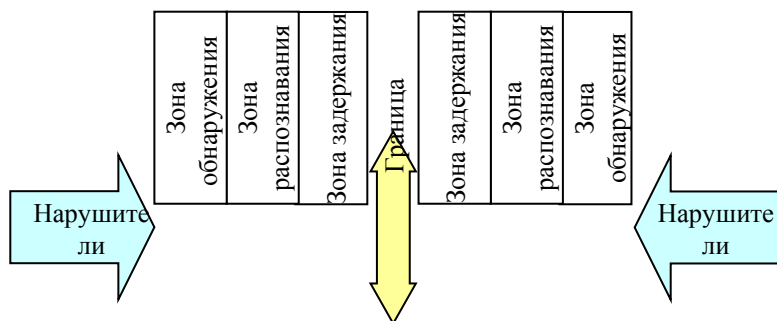
На рис. 2 показана упрощенная схема системы охраны границы.



(а) Пограничная полоса и пограничная зона



(б) Метафора «крепости»



(в) Метафора «взаимосвязанного организма»

Рис. 2. Упрощенная схема системы охраны границы

Граница может быть двусторонней или односторонней (выход к открытому морю), в разных государствах пограничная полоса¹ и пограничная зона² могут иметь различное название или их может и не быть.

С. Хаддал [] выделяет две модели пограничной политики:

- Метафора «крепости» – односторонняя защита с использованием охраняемого периметра,
- Метафора «взаимосвязанного организма» – взаимозависимость, гибкость, упор не на войсковые действия, а на оперативные, сотрудничество с сопредельной стороной.

Частным критерием, характеризующим эффективность пограничного сдерживания, может быть вероятность отказа субъектов воздействия от попыток нарушения границы.

3. Модель выбора субъектом воздействия зоны действий

Агент i -й группы имеет множество альтернатив, приведенное на рис. 3. Получили модель конечного выбора, в которой агент i , выбирая альтернативу j , приобретает случайную полезность u_{ij} , напрямую не наблюдаемую.

Ситуацию выбора агентом некоторого действия из конечного числа альтернатив можно описать стандартной логит-моделью [], в которой полезность u_{ij} является линейной функцией свойств альтернативы:

¹ Пограничная полоса – земельная полоса, проходящая непосредственно вдоль государственной границы, выделенная пограничной службе в постоянное пользование.

² Пограничная зона устанавливается в пределах территории поселений и межселенных территорий, прилегающих к государственной границе на суше, морскому побережью, берегам пограничных рек, озер и иных водоемов, и в пределах территорий островов на указанных водоемах.

$$(2) \quad u_{ij} = \chi_{ij}^T \theta + \varepsilon_{ij},$$

где χ_{ij} – вектор, содержащий характеристики агента i и альтернативы j , θ – вектор параметров, а ошибки ε_{ij} предполагаются независимыми случайно распределенными величинами, например, с функцией распределения $F(\varepsilon_{ij}) = \exp(-\exp(-\varepsilon_{ij}))$.

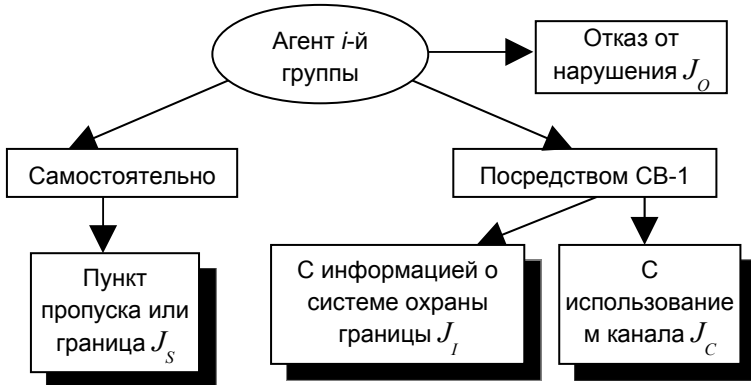


Рис. 3. Выбор агента

В стандартной логит-модели вероятность выбора агентом i альтернативы j вычисляется по формуле:

$$(3) \quad x_{ij} = \exp(\theta_i^T u_{ij}) / \sum_j \exp(\theta_i^T u_{ij}).$$

Вектор χ_{ij} , характеризующий свойства альтернативы j для агента i может состоять из следующих компонент:

- Ожидаемые денежные приобретения $\chi_{ij(1)}$,
- Ожидаемые потери времени $\chi_{ij(2)}$,
- Возможная потеря здоровья $\chi_{ij(3)}$,
- Возможность сделать карьеру $\chi_{ij(4)}$ и т.д. и т.п.

В общем случае не всегда удастся корректно свести разные компоненты к одному. Но поскольку к настоящему времени нет необходимого объема статистических данных для оценки значения вектора параметров θ , в настоящей работе далее будем использовать однокомпонентную функцию полезности.

Основываясь на положениях теории организационных систем и теории полезности дискретного выбора, сформулируем *принцип рационального поведения агента*. Будем считать, что агент i максимизирует свою случайную полезность, выбирая j таким образом, чтобы получить максимальное значение u_{ij} .

Тогда вероятность выбора агентом плохо, что в перемешку идут «СВ» и «агент». Давайте лучше всюду «агент» – привычнее (спасибо! Исправлено) i альтернативы (зоны) j равна:

$$(4) \quad x_{ij} = \exp(\theta_i u_{ij}) / \sum_{j \in J_{\leftrightarrow}} \exp(\theta_i u_{ij}), \quad \theta_i > 0,$$

где θ_i – неизвестный параметр.

Введем безразмерный параметр $\hat{\theta}_i = \theta_i u_{i0}$ ($j \in J_0$) и перепишем выражение (4):

$$(5) \quad x_{ij} = \exp(\hat{\theta}_i u_{ij} / u_{i0}) / \sum_{j \in J_{\leftrightarrow}} \exp(\hat{\theta}_i u_{ij} / u_{i0}).$$

Параметр $\hat{\theta}_i$ содержательно характеризует чувствительность (*мобильность*) агентов внутри группы к изменению полезности от незаконной деятельности относительно полезности от законной деятельности при принятии ими решений.

На рис. 4 приведен эскиз графика вероятности выбора законной деятельности при $u_{i0} = 100$ (полезность легальной деятельности, $j \in J_0$); изменении полезности от незаконной деятельности в интервале от 35 до 155 единиц и при различных значениях параметра мобильности.

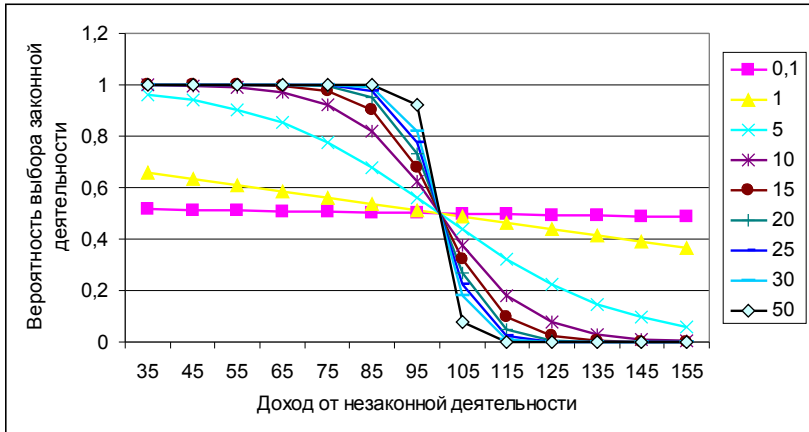


Рис. 4. Зависимость вероятности выбора законной деятельности от ожидаемой полезности незаконной деятельности и параметра мобильности

При значениях параметра $\hat{\theta} \geq 20$ даже небольшое отклонение дохода от незаконной деятельности относительно u_{i0} является основанием для принятия соответствующего решения практически всей группой агентов. Тогда как при $\hat{\theta} \leq 0,1$ даже существенное отклонение дохода от незаконной деятельности от u_{i0} приводит лишь к единичным изменениям выбора внутри группы агентов. В расчетах можно использовать значение $\theta = \hat{\theta}_i \approx 4-8$ [].

Вероятность отказа агента i от попытки нарушения границы равна вероятности выбора нулевой зоны:

$$(6) \quad x_{i0} = \exp(\theta) / \sum_{j \in J \leftrightarrow} \exp(\theta_{ij} / u_{i0}).$$

Ожидаемую полезность для экономических агентов ($i \in N_E$) определим, основываясь на модели Г. Беккера:

$$(7) \quad u_{ij} = (1 - B(p_{ij}))S_i + B(p_{ij})(S_i - D_i) - \hat{G}_{ij} = S_i - B(p_{ij})D_i - G_{ij},$$

где p_{ij} – вероятность задержания и наказания агента i в зоне j ,

$B(\cdot)$ – представление агента о вероятности,

S_i – математическое ожидание дохода агента i ,

D_i – денежная величина потерь в случае наказания за нарушение границы,

G_{ij} – ожидаемые расходы агента i , связанные с использованием зоны j ($G_{i0} = 0$, $j \in J_0$).

Потери D_i и доходы S_i обычно рассчитываются за некоторый интервал времени, например, за год. Если агент действует самостоятельно ($j \in J_S$) и поддерживается режим пограничной зоны, то G_{ij} есть сумма денежных расходов агента на самостоятельное обследование участков границы (пунктов пропуска) региона. При $j \in J_I$ G_{ij} есть расходы агента на получение информации от СВ-1 о состоянии системы охраны границы, при $j \in J_C$ – плата за использование канала правонарушения. Во втором и третьем случаях размер платы устанавливает СВ-1.

Для неэкономических агентов ожидаемую полезность определим:

$$(8) \quad u_{ij} = 1 - B(p_{ij}).$$

Подчиненным неэкономическим агентам ($i \in N_{M \leftrightarrow}$) нет необходимости нести расходы, связанные с использованием зоны проникновения (за них это делают СВ-1). Для самостоятельных неэкономических агентов ($i \in N_{P \leftrightarrow}$) введем параметр $0 \leq \delta_{ij} \leq 1$ – доля агентов i -й группы, способных оплатить расходы за пользование зоны j . Для остальных агентов положим $\delta_{ij} = 1$.

Неэкономические агенты ($i \in N \setminus N_{E \cap}$) принимают решение о выборе зоны проникновения, сравнивая представления о вероятности задержания и наказания в них с представлением о пороговой вероятности $B(p_{i0})$, $j \in J_0$. Пороговая вероятность p_{i0} – это вероятность задержания и наказания, при которой агенты массово отказываются от попыток нарушения границы. Пороговая вероятность зависит от правоприменительной практики, тяжести наказания, профессиональных и социальных

качеств, национальности агента и стабильна во времени (мало меняется в течение десятков лет или столетий).

4. Субъективные представления о вероятностях в условиях информационных воздействий

Информационное управление агентами со стороны ПС и СВ-1 может быть направленным на формирование у них представлений, что:

- Представление о вероятности наказания выше или ниже реальной вероятности наказания – управление 1-го вида;
- Представление о вероятности задержания выше или ниже реальной вероятности задержания – управление 2-го вида;
- Представление о пороговой вероятности выше или ниже реальной пороговой вероятности, $i \in N \setminus N_{E\oplus}$ – управление 3-го вида.

Существует проблема стабильности информационного управления []. Если ПС или СВ-1 сообщает агенту некоторую информацию, на основании которой последний принимает решение, то это решение является для агента наилучшим, т.е. приводящим к желаемому результату. Если после реализации решения результат оказывается далеким от ожидаемого, то доверие к источнику представления о вероятности может быть потеряно. В результате последующие информационные воздействия могут оказаться безрезультатными.

Исходя из этого соображения, для агентов i -й группы введем параметр $0 \leq \beta_i \leq 1$ – *степень восприимчивости* к внешним информационным воздействиям. Для подчиненных агентов или агентов, регулярно нарушающих границу, этот показатель близок к 0, для эпизодически нарушающих агентов – к 1. Соответственно, значение параметра β_i близко к 1 (для всех групп агентов) применительно к субъектам, выбирающим, заниматься ли преступной деятельностью, т.е. пополнять ли численность потенциальных правонарушителей.

Представлением $B(p)$ агента о вероятности p в условиях внешних информационных воздействий назовем функцию:

$$(10) \quad B(p) = B(p, \eta, y) = f(p, \eta, y), \quad -1 \leq \eta \leq 1, \eta \neq 0, y \geq 0, y \in Y,$$

где: η – параметр направленности и репутации источника внешних информационных воздействий,

y – действие (расходы на информационные воздействия и т.д.),

Y – множество допустимых действий.

Если $\eta < 0$, то действия направлены на снижение представления о вероятности, при $\eta > 0$ – на увеличение. Если $|\eta| \rightarrow 0$, то репутация источника (а, следовательно, и эффективность) минимальна, при $|\eta| = 1$ – максимальна. Если принадлежность информационного источника невозможно идентифицировать, то можно положить $|\eta| = 1$.

Функция $B(\cdot)$ обладает следующими свойствами (аксиомы представления):

1. $0 \leq B(p) \leq 1$.
2. $f(p, \eta, 0) = p$.
3. $\forall p, q \quad p > q \Leftrightarrow f(p, \eta, y) > f(q, \eta, y)$.
4. $\forall \eta_1, \eta_2 \quad \eta_1 > \eta_2 \Leftrightarrow f(p, \eta_1, y) > f(p, \eta_2, y)$.
5. $\forall y_1, y_2 \quad y_1 > y_2 \Leftrightarrow \text{sign}(\eta) f(p, \eta, y_1) > \text{sign}(\eta) f(p, \eta, y_2)$

Дополнительно определим следующие операции с представлениями:

6. $B(p \cdot q) = B_i(p) \cdot B_j(q)$.
7. Аксиома суммирования информационных воздействий:

$$B(p, \{\eta\}, \{y\}) = \sum_{i=1}^n \hat{\eta}_i B_i(p, \eta_i, y_i),$$

$$\text{где: } \eta = \sum_{i=1}^n \eta_i, \quad \hat{\eta}_i = |\eta_i| / \sum_{i=1}^n |\eta_i|.$$

8. Аксиома непрерывности:

$$\forall r \in [0, 1] \quad B(rp + (1-r)q) = rB_i(p) + (1-r)B_j(q).$$

Интересно! Содержательные интерпретации аксиом?

Если информационные воздействия направлены на представление агента о вероятности задержания $B_i(p)$ и представление об условной вероятности его наказания $B_j(q)$, то представление агента о вероятности его задержания и наказания вычисляется в соответствии с аксиомой 6.

В условиях информационных воздействий на агента со стороны множества источников, результирующее представление агента о вероятности p вычисляется по аксиоме суммирования 7.

Если известна степень (доля) r подверженности агента информационному воздействию, то результирующее представление о вероятности вычисляется в соответствии с аксиомой 8:

$$B(rp + (1-r)p) = r B_i(p) + (1-r)p.$$

Зависимость представления $B(p_i)$ о вероятности p_i при $\eta > 0$ от затраченных средств y_i имеет следующие свойства (рис. 5, сплошная линия):

- Выпуклая и монотонно возрастающая функция,
- При неограниченном возрастании затрат значение функции приближается к 1.

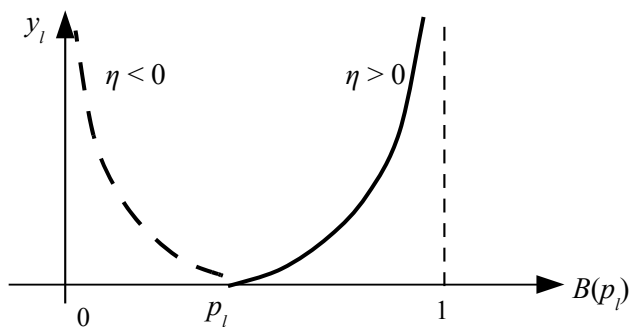


Рис. 5. Зависимость расходов на информационное управление от значения представления о вероятности $B(p_i)$

Соответственно, зависимость представления $B(p_i)$ о вероятности p_i при $\eta < 0$ (если требуется обеспечить значение представления ниже реальной вероятности p_i) от затраченных

средств y_l имеет следующие свойства (рис. 5, пунктирная линия):

- Выпуклая и монотонно убывающая функция,
- При неограниченном возрастании затрат значение функции приближается к 0.

В частности, аксиомам 1-5 удовлетворяет гипербола, ее и будем использовать в расчетах.

При $\eta > 0$ получим следующую зависимость расходов y_{l+} , направленных на обеспечение значения представления выше реальной вероятности:

$$(11) \quad y_{l+} = \frac{K_{p+}}{1 - B(p_l)} + \frac{K_{p+}}{p_l - 1} = \frac{K(1 - p_l)}{1 - B(p_l)} - K,$$

$$K = K_{p+} / (1 - p_l), \quad \eta > 0,$$

где: $K_{p+} > 0$ – положительный коэффициент (стоимость условной единицы управления),

$K > 0$ – нормированный коэффициент (нормированная стоимость условной единицы управления), характеризующий эффективность воздействия.

Предположим, что реальная вероятность равна $p_l = 0,5$, пограничной службой затрачено 500 единиц на информационное воздействие (выпущен художественный или документальный кинофильм, организована интернет-компания и т.д.) на агентов i -й группы со степенью восприимчивости $\beta_i = 1$. Опросом или обработкой статистики установлено, что представление о вероятности стало равной $B(p_l) = 0,7$. Из выражения (11) получим нормированный коэффициент $K = 750$. Тогда аналогичное воздействие при реальной вероятности $p_l = 0,75$ приведет к тому, что представление о вероятности будет равной 0,85.

Если информационное управление направлено на то, чтобы обеспечить условие $B(p_l) < p_l$, то получим следующую зависимость:

$$(12) \quad y_{l-} = \frac{p_l K}{B(p_l)} - K, \quad \eta < 0.$$

При этом соответствующие представления о вероятности будут равны:

$$(13) \quad B(p_l) = 1 - \frac{(1 - p_l)K}{y_{l+} + K}, \quad \eta > 0,$$

$$(14) \quad B(p_l) = \frac{p_l K}{y_{l-} + K}, \quad \eta < 0.$$

Будем считать, что ПС способна организовать безадресные (направленные на все группы агентов) информационные воздействия всех трех видов. Соответствующие расходы ПС обозначим y_{1+} , y_{2+} и y_{3-} .

СВ-1, действующие исходя из материальных или нематериальных соображений и имеющие в своем распоряжении подчиненных агентов, не оказывают на них отдельных информационных воздействий. Это множество СВ-1 обозначим M_A . Оставшиеся СВ-1 не имеют в своем распоряжении подчиненных агентов и могут оказывать на агентов i ($i \in N \setminus N_M$) информационные воздействия.

Соответствующие безадресные расходы k -го СВ-1 ($k \in M \setminus M_A$) обозначим z_{1k-} , z_{2k-} и z_{3k+} .

В соответствии с аксиомой 7 эффективность управления 1-го вида (представление о вероятности наказания) для агентов i -й группы в j -й зоне равна:

$$(15) \quad B(p_{sij}) = \frac{|\eta_{10}|}{\sum_{k=0, k \in M \setminus M_A} |\eta_{1k}|} \left(1 - \frac{(1 - p_{sij})K_{ps}}{y_{1+} + K_{ps}} \right) + \\ + \sum_{k \in M \setminus M_A} \frac{|\eta_{1k}|}{\sum_{k=0, k \in M \setminus M_A} |\eta_{1k}|} \left(\frac{p_{sij}K_k}{z_{1k-} + K_k} \right),$$

где: η_{10} – параметр направленности и репутации ПС для информационных воздействий 1-го вида,

η_{1k} – параметр направленности и репутации k -го СВ-1 для информационных воздействий 1-го вида,

K_{ps} – параметр эффективности информационных воздействий со стороны ПС,

K_k – параметр эффективности информационных воздействий со стороны k -го СВ-1.

Для эффективности управления 2-го вида (представление о вероятности задержания) получим аналогичное выражение:

$$(16) \quad B(p_{zij}) = \frac{|\eta_{20}|}{\sum_{k=0, k \in M \setminus M_A} |\eta_{2k}|} \left(1 - \frac{(1 - p_{zij}) K_{ps}}{y_{2+} + K_{ps}} \right) + \\ + \sum_{k \in M \setminus M_A} \frac{|\eta_{2k}|}{\sum_{k=0, k \in M \setminus M_A} |\eta_{2k}|} \left(\frac{p_{zij} K_k}{z_{2k-} + K_k} \right),$$

где: η_{20} – параметр направленности и репутации ПС для информационных воздействий 2-го вида,

η_{2k} – параметр направленности и репутации k -го СВ-1 для информационных воздействий 2-го вида.

Эффективность управления 3-го вида (представление о пороговой вероятности) равна:

$$(17) \quad B(\hat{p}_i) = \frac{|\eta_{30}|}{\sum_{k=0, k \in M \setminus M_A} |\eta_{3k}|} \left(\frac{\hat{p}_i K_{ps}}{y_{3-} + K_{ps}} \right) + \\ + \sum_{k \in M \setminus M_A} \frac{|\eta_{3k}|}{\sum_{k=0, k \in M \setminus M_A} |\eta_{3k}|} \left(1 - \frac{(1 - \hat{p}_i) K_k}{z_{3k+} + K_k} \right),$$

где: η_{30} – параметр направленности и репутации ПС для информационных воздействий 3-го вида,

η_{3k} – параметр направленности и репутации k -го СВ-1 для информационных воздействий 3-го вида.

В выражениях (15-17) необходимо учесть, что на агентов $i \in N_M$ СВ-1 не оказывают информационных воздействий.

Поскольку не все агенты подвержены информационному управлению, то для учета информационных воздействий в расчетах будем использовать следующие выражения:

$$(18) \quad B_{\beta}(p_{sij}) = \beta_i B(p_{sij}) + (1 - \beta_i) p_{sij}, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$(19) \quad B_{\beta}(p_{zij}) = \beta_i B(p_{zij}) + (1 - \beta_i) p_{zij}, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$(20) \quad B_{\beta}(\hat{p}_i) = \beta_i B(\hat{p}_i) + (1 - \beta_i) \hat{p}_i, \quad i \in N \setminus N_E,$$

$$(21) \quad B_{\beta}(p_{ij}) = B_{\beta}(p_{sij}) B_{\beta}(p_{zij}), \quad i = 1, \dots, n.$$

5. Модель канала проникновения

Учитывая особую значимость и опасность коррупции [,] рассмотрим модель канала проникновения с использованием коррупционных схем. В настоящей работе под коррупцией будем понимать двустороннюю сделку между СВ-1 и сотрудником ПС, имеющим властные, организационно-распорядительные или административно-хозяйственные функции []. Исключим из рассмотрения недобросовестное и оппортунистическое¹ поведение сотрудников ПС.

Введем следующие предположения:

- Все потенциальные коррупционеры в одной зоне однородны, т.е. мы пренебрежем различиями в уровне их законного дохода,
- Конкретный коррупционер работает только с одним СВ-1,
- Тактика СВ-1 по использованию коррупционеров: первоначально сотруднику платится значительная сумма z_{Rj} (подкуп сотрудника), в последующем коррупционер получает фиксированные платежи z_{aj} за пропуск каждого агента (группы агентов),

¹ Под оппортунистическим поведением понимается «преследование собственного интереса, доходящее до вероломства» [2].

- Знание суммы фиксированных выплат z_{Aj} за год коррупционеру недоступно, он полагается на информацию СВ-1,
- Вероятность ρ_{jq} раскрытия коррупционера в j -й зоне (в течение года) зависит от расходов ПС y_{0j} ($j \in J_C$) на собственную безопасность и от количества агентов, воспользовавшихся его услугами.

Пусть q_{kj} есть количество коррупционеров в j -й зоне, оказывающих содействие k -му СВ-1, x_{ij} – доля агентов, выбравших j -ю зону. Тогда среднее количество агентов, пользующихся услугами одного коррупционера в j -й зоне, равно:

$$(22) \quad A_{jq} = \sum_{i \in N \leftrightarrow} \delta_{ij} A_{ij} x_{ij} / \sum_{k \in M} q_{kj}.$$

Положим для определенности, что функция вероятности ρ_{jq} раскрытия коррупционера имеет следующий вид ($j \in J_C$):

$$(23) \quad \rho_{jq} = 1 - \exp(-k_j k_A A_{jq} y_{0j}), \quad k_j > 0, k_A > 0,$$

где: k_j – параметр, характеризующий эффективность расходов на содержание службы собственной безопасности в j -й зоне,

k_A – параметр, характеризующий зависимость вероятности от количества агентов.

В соответствии с моделью М. Сесновца ожидаемый доход коррупционера от незаконных действий в j -й зоне равен:

$$(24) \quad C_{j(k)} = (1 - \rho_{jq}) z_{j(k)} + \rho_{jq} (z_{j(k)} - D_j) = z_{j(k)} - \rho_{jq} D_j, \quad j \in J_C,$$

где: $z_{j(k)} = z_{Rj} + z_{Aj}$ – сумма ожидаемых выплат коррупционеру в j -й зоне со стороны k -го СВ-1 (в течение года),

D_j – денежная величина потерь коррупционера в случае наказания.

Вероятность выбора сотрудником коррупционных действий равна:

$$(25) \quad \zeta_{j(k)} = \exp(\theta_j C_{j(k)}) / (\exp(\theta_j C_{j(k)}) + \exp(\theta_j \hat{C}_j)), \quad \theta_j > 0, \\ j \in J_C,$$

где: $\hat{C}_j$ – законный доход сотрудника в j -й зоне.

Введем параметр мобильности (чувствительности) $\hat{\theta}_j = \theta_j \hat{C}_j$ и перепишем выражение (25):

$$(26) \quad \zeta_{j(k)} = \exp(\hat{\theta}_j C_{j(k)} / \hat{C}_j) / (\exp(\hat{\theta}_j C_{j(k)} / \hat{C}_j) + \exp(\hat{\theta}_j)), \\ j \in J_C.$$

Для задержания агента необходимо, чтобы сотрудник согласился на коррупционные действия и чтобы его действия были вскрыты службой собственной безопасности, т.е. вероятность задержания агента равна:

$$(27) \quad p_{zj} = \rho_{j(k)} \zeta_{j(k)}, \quad j \in J_C.$$

Расходы k -го СВ-1 на подкуп и содержание коррупционеров равны:

$$(28) \quad z_{0k} = \sum_{j \in J_C} q_{kj} (z_{Rj} / T_q + A_{jq} z_{aj}),$$

где T_q – средний срок использования коррупционера, лет.

Предполагается, что на агентов, использующих канал проникновения $j \in J_C$, со стороны ПС оказываются информационные воздействия. Субъекты СВ-1 оказывают информационные воздействия на агентов $i \in N \setminus N_M$.

6. Модель пограничной системы региона

Существующие математические модели для оценки эффективности охраны границы [] имеют сложные аналитические и алгоритмические зависимости, поскольку учитывают данные электронных карт о рельефе местности, реальные конфигурации рубежей и множество различных факторов. При решении многих задач верхнего уровня (обоснование штатов и комплектов технических средств и др.) подробными моделями пользоваться нецелесообразно, желательно иметь простую аналитическую модель.

Примем гипотезу, что зависимость вероятности задержания агентов пограничной службой от затраченных средств подчиняется показательному закону. Статистические данные о затратах на охрану границы Мексика-США, о задержаниях

нарушителей и расчеты вероятности задержания $[, ,]$ не противоречат сформулированной гипотезе.

Тогда вероятность $p_{zijq(1)}$ задержания агента i -й группы в j -й зоне ($j \in J_s, j \in J_l$) на q -м участке границы (пункте пропуска) пограничной службой одного государства рассчитывается по формуле:

$$(29) \quad p_{zijq(1)} = 1 - \exp(-k_{ijq} y_{0jq}), \quad k_{ijq} > 0,$$

где: y_{0jq} – совокупная стоимость владения средствами охраны границы в j -й зоне на q -м участке и расходы на содержание персонала (среднеприведенные к одному году),

k_{ijq} – параметр для агента i -й группы в j -й зоне на q -м участке, определяется в ходе вычислительного эксперимента $[,]$.

Если стоимость некоторого средства равна 100 единицам, срок службы – 10 лет, ежегодные расходы на содержание – 8 единиц, то среднеприведенная к одному году стоимость будет равна $100 / 10 + 8 = 18$ единиц.

Отметим, что в выражении (29) отсутствует зависимость вероятности задержания от интенсивности потока агентов. Оснований для неучета интенсивности потока агентов в модели верхнего уровня два:

- Интенсивность потока агентов обычно ниже интенсивности сигналов ложных тревог, последние учитываются в тактических моделях методами теории массового обслуживания (одноканальная система с ограниченным временем ожидания) $[]$;
- В случае резкого роста интенсивности потока агентов задействуются резервы старшего начальника, что также обычно учитывается в тактических моделях.

Если пограничная политика основана на метафоре «крепости» $[]$, то пограничные службы сопредельных государств действуют независимо друг от друга. Тогда вероятность p_{zijq} задержания агента i -й группы в j -й зоне ($j \in J_s, j \in J_l$) на q -м участке границы (пункте пропуска) пограничными службами сопредельных государств равна:

$$(30) \quad p_{zijq} = 1 - (1 - p_{zijq(1)}) (1 - p_{zijq(2)}),$$

где $p_{zijq(2)}$ – вероятность задержания агента пограничной службой сопредельного государства (в оптимизационных задачах полагается константой).

При руководстве метафорой «взаимосвязанного организма» (действия пограничных служб по задержанию нарушителей координируются, допускается обмен информацией между ними) названную вероятность можно вычислить по формуле:

$$(31) \quad p_{zijq} = 1 - \exp\left(-\left(k_{ijq} y_{0jq} + k_{ijq(2)} y_{0jq(2)}\right)\right), \quad k_{ijq(2)} > 0,$$

где: $y_{0jq(2)}$ – совокупная стоимость владения средствами охраны границы в j -й зоне на q -м участке и расходы на содержание персонала (для пограничной службы сопредельного государства),

$k_{ijq(2)}$ – параметр для агента i -й группы в j -й зоне на q -м участке (для пограничной службы сопредельного государства).

Суммарная стоимость пограничных средств в j -й зоне равна:

$$(32) \quad y_{0j} = \sum_{q(j)} y_{0jq}, \quad j \in J_S.$$

Крупное государство (союз государств) граничит обычно со многими другими странами, отличающимися уровнем жизни, социально-политическими и цивилизационными отличиями, т.е. неоднородными. Поэтому набор групп агентов и СВ-1, их параметры значительно отличаются для разных приграничных регионов¹ государства. В рассматриваемой задаче под регионом будем понимать приграничную территорию, граничащую с одним государством или несколькими однородными государствами.

В связи с вышесказанным задачу поиска оптимальных решений следует рассматривать применительно к приграничным регионам, а не ко всей границе государства.

¹ Регион (от лат. regio – страна, область), крупная индивидуальная территориальная единица (например, природная, экономическая, политическая и др.). БСЭ.

Внутри одного региона могут быть пункты пропуска разных классов и различной степени технической оснащённости. Участки границы также неоднородны с точки зрения рельефа, проходимости местности, степени оборудования границы и т.д.

Предположим, что агенты не способны самостоятельно изучить все участки границы и все пункты пропуска региона. Тогда для самостоятельно действующих агентов i вероятность задержания в j -й зоне на участке региона равна:

$$(33) \quad P_{zij(L)} = \sum_{q(j)} \pi_{ijq} P_{zijq},$$

где: π_{ijq} – вероятность выбора агентом i -й группы в j -й зоне q -го участка (пункта),

P_{zijq} – вероятность задержания агента i -й группы в j -й зоне на q -м участке (пункте).

Вероятности π_{ijq} зависят от протяженности q -го участка и его характеристик, от транспортной инфраструктуры, рельефа и др. факторов [].

СВ-1, потратив некоторые средства, способны изучить систему охраны границы региона и выбрать место с минимальной вероятностью задержания. Тогда вероятность задержания в j -й зоне агентов i , обратившихся за информационной услугой о состоянии охраны границы к k -му СВ-1, равна [, С. 107]:

$$(34) \quad P_{zij(k)} = \alpha_{kj} \min_{q(j)} P_{zijq} + (1 - \alpha_{kj}) \sum_{q(j)} \pi_{ijq} P_{zijq},$$

где α_{kj} – степень знания k -м СВ-1 участков границы (пунктов пропуска) в j -й зоне.

Обследование пунктов пропуска и участков границы региона связано с определенным риском и требует значительных и регулярных затрат. Пусть $z_{0jq(k)}$ есть среднегодовые потребные затраты на обследование одного участка границы (пункта пропуска) внутри j -й зоны ($j = 1, 3$) СВ-1 k -й группы.

Для k -го СВ-1, обследующего границу, степень знания вычисляется по формуле:

$$(35) \quad \alpha_{kj} = \begin{cases} z_{0jk} / \sum_{q \in Q_j} z_{0jq(k)}, & z_{0jk} < \sum_{q \in Q_j} z_{0jq(k)} \\ 1, & z_{0jk} \geq \sum_{q \in Q_j} z_{0jq(k)} \end{cases},$$

где z_{0jk} – ежегодные расходы СВ-1 k -й группы на обследование участков (пунктов) в j -й зоне,

Q_j – множество участков (пунктов) в j -й зоне.

Таким образом, вероятность p_{zij} задержания агента i в j -й зоне вычисляется:

- По формуле (33) для самостоятельно действующих агентов и не несущих расходы на изучение системы охраны границы ($G_{ij} = 0$), $j \in J_s$,
- По формуле (34) для подчиненных агентов ($i \in N_M$) и самостоятельно действующих агентов ($i \in N_E$), несущих расходы на изучение ($G_{ij} > 0$), $j \in J_I$.

Для самостоятельно неэкономических агентов ($i \in N_P$) учтем их возможности по оплате знаний о системе охраны границы:

$$(36) \quad p_{zij} = \delta_{ij} p_{zij(k)} + (1 - \delta_{ij}) p_{zij(L)}, \quad G_{ij} > 0.$$

При охране участков границы помимо задержания нарушителей решаются и другие задачи: обеспечение выполнения требований двусторонних договоров о режиме границы; обеспечение собственной безопасности и т.д.

Требуемую степень решения перечисленных задач можно учесть за счет ограничения:

$$(37) \quad y_{02} \geq y_{min2}, \quad j \in 2_{\leftrightarrow},$$

где y_{min2} – минимально необходимая стоимость владения средствами охраны границы и расходы на содержание персонала.

В пунктах пропуска также решается несколько задач: реализация контактной функции границ (пропуск лиц с минимальной задержкой по времени); обеспечение собственной безопасности и безопасности граждан и т.д. Требуемую степень решения перечисленных задач учтем за счет ограничения:

$$(38) \quad y_{01} \geq y_{min1}, \quad j \in 1_{\leftrightarrow},$$

где y_{min1} – минимально необходимая стоимость владения средствами в пунктах пропуска и расходы на содержание персонала.

Вероятность p_{ij} задержания и наказания агента i -й группы в j -й зоне равна:

$$(39) \quad p_{ij} = p_{zij} p_{sij},$$

где: p_{sij} – вероятность привлечения к ответственности субъекта воздействия (нарушителя) после его задержания в j -й зоне, вычисляется статистическим способом [].

Обычно вероятность привлечения к ответственности агента в случае его незаконных действий в пунктах пропуска выше, чем при пересечении им границы, поскольку во втором случае сложнее доказать умышленный характер правонарушения.

7. Критерий пограничной безопасности

Определить интенсивность потенциальных правонарушений можно двумя способами: на основе идеи разности потенциалов по обе стороны границы или расчетным способом [,].

Пусть u_i есть ожидаемый ущерб от одного агента i -й группы. Тогда математическое ожидание предотвращенного ущерба w_i от действий агентов i -й группы вычисляется по формуле:

$$(40) \quad w_i = u_i A_i \left(x_{i0} + \sum_{j \in J_{\leftrightarrow} \setminus J_0} x_{ij} p_{zij} \right),$$

где A_i – потенциальная интенсивность агентов i -й группы.

Соответственно, математическое ожидание ущерба от действий агентов i -й группы равно:

$$(41) \quad U_i = u_i A_i - w_i.$$

То есть потенциальный ущерб является предотвращенным в следующих случаях: а) агент отказался от попытки нарушения границы; б) агент сделал попытку нарушения и был задержан.

Целевая функция пограничной стороны определяется как предотвращенный ущерб за вычетом расходов на прямые и информационные воздействия 1-3-го видов:

$$(42) \quad W = \sum_{i=1, \dots, n} w_i - y_0 - y_{1+} - y_{2+} - y_{3-},$$

со следующими ограничениями:

$$y_{01} \geq y_{\min 1}, \quad y_{02} \geq y_{\min 2}, \quad y_0 = y_{01} + y_{02} + y_{0c},$$

где y_{0c} есть расходы ПС на подразделения собственной безопасности.

Заключение

Представляется актуальным на основе представленной модели сдерживания разработать игровые модели оптимального распределения ресурсов по задачам и функциям.

Литература

1. *Большой англо-русский и русско-английский словарь*. 2001.
2. ВЫБОРНОВ Р.А. *Модели и методы управления организационными системами с коррупционным поведением участников*. М.: ИПУ РАН, 2006. – 110 с.
3. ГОЛОВИН Н.Н. *Наука о войне. О социологическом изучении войны*. Париж: Издательство газеты «Сигнал», 1938.
4. *География. Современная иллюстрированная энциклопедия*. – М.: Росмэн. Под редакцией проф. А. П. Горкина. 2006.
5. ГУБКО М.В., НОВИКОВ Д.А. *Теория игр в управлении организационными системами*. Издание 2-е, М.: 2005. – 138 с.
6. ИВЛЕВ А.А. *Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации*. Монография. – М.: 2008. – В рукописи, 64 с.
7. ЛАПШИН Г.М. *Методика расследования незаконного пересечения Государственной Границы Российской*

- Федерации: Автореф. дис. канд. юрид. наук.* – СПб., 2002. – 23 с.
8. МАГНУС Я.Р., КАТЫШЕВ П.К., ПЕРЕСЕЦКИЙ А.А. *Эконометрика. Начальный курс: Учеб.* – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Дело, 2004. – 576 с.
 9. *Математическая теория планирования эксперимента* / Под редакцией С.М. Ермакова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 392 с.
 10. НОВИКОВ А.М., НОВИКОВ Д.А. *Методология.* – М.: СИНТЕГ, 2007. – 668 с.
 11. НОВИКОВ Д.А. *Теория управления организационными системами.* М.: МПСИ, 2005. – С. 379 – 418.
 12. НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Активный прогноз.* М.: ИПУ РАН, 2002. – 101 с.
 13. НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Рефлексивные игры.* Серия "Управление организационными системами". – М.: СИНТЕГ, 2003. – 160 с.
 14. ПАВЛОВСКИЙ Ю.Н. *Математический и гуманитарный анализ механизма ядерного сдерживания* / Вестник РАН, 2000, том 70, № 3, с. 195-202.
 15. ЧЕРНЯК Е. Б. *Химеры старого мира.* М.: Молодая гвардия, 1970. – 255 с.
 16. ШУМОВ В.В. *Введение в общую погранометрику.* М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 240 с.
 17. ШУМОВ В.В. *Информационно-математическая модель для обоснования уровней пограничной безопасности* / Управление большими системами. Выпуск 32. М.: ИПУ РАН, 2011, С. 155-171.
 18. ШУМОВ В.В. *Применение математических методов и моделей для обоснования решений на охрану государственной границы: Научно-практическое пособие.* В 2 ч. – М.: Академия ФПС России, 1996. – Ч.1. – 184 с.; Ч.2. – 197 с.
 19. 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.

20. BORDER S.C. Estimates of the Cyclical Inflow of Undocumented Migrants to the United States // University of California - San Diego, 2009, WP181.pdf (дата обращения 10.04.2011)
21. ESPENSHADE T. J. "Does the Threat of Apprehension Deter Undocumented U.S. Immigration?" *Population and Development Review* 20 (1994): 871–92.
22. ESPENSHADE T. J. "Undocumented Migration to the United States: Evidence from a Repeated Trials Model," in Frank D. Bean, Barry Edmonston, and Jeffrey S. Passel, eds., *Undocumented Migration to the United States: IRCA and the Experience of the 1980s* (Washington: Urban Institute, 1990), pp. 159–81.
23. HADDAL C. C. *Analyst in Immigration Policy* / People Crossing Borders: An Analysis of U.S. Border Protection Policies // Congressional Research Service, 2010, www.fas.org/sgp/crs/homesec/R41237.pdf (дата обращения 10.04.2011)
24. HANSON G. H. (2007, April). *The Economic Logic of Illegal Immigration* (Council on Foreign Relations, Ed.) (Council Special Report No. 26) <http://www.cfr.org/content/publications/attachments/ImmigrationCSR26.pdf> (дата обращения 10.04.2011)
25. CAMERON S. *The Economics of Crime Deterrence: A Survey of Theory and Evidence* // KYKLOS. 1988. Vol. 41. Fasc. 2. P. 301 - 323.
26. MORGAN P. *Deterrence Now*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – 331 p.
27. SANDOR Z. *Multinomial discrete choice models* // *Quantile*, 2009, No 7, pp.9-19.
28. SESNOWITZ M. *Returns to Burglary* // *The Economics of Crime*. – Cambridge (Mass.), 1980. – C. 181 – 186.
29. WEIN L., LIU Y., MOTSKIN A. *Analyzing the Homeland Security of the U.S.-Mexico Border*// http://www.stanford.edu/~amotskin/index_files/USMBorder.pdf (дата обращения 07.05.2010)
30. WILLIS H. H., PREDD J. B., DAVIS P. K., BROWN W. P. *Measuring the Effectiveness of Border Security Between*

- Ports-of-Entry* // RAND Corporation, 2010, http://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR837.html (дата обращения 10.04.2011)
31. WILNER A. *Cold War notion of deterrence works against terrorism, researcher contends* // Journal of Strategic Studies <http://www.vancouversun.com/news/Cold+notion+deterrence+works+against+terrorism+researcher+contends/4289343/story.html> (дата обращения 10.04.2011)

A MATHEMATICAL MODEL OF THE BORDER DETERRENCE

Vladislav Shumov, International Informatizational Academy, Moscow, Cand.Sc., senior lecturer (vshum59@yandex.ru).

The article discusses a conceptual model of the border deterrence; we introduce a criterion for the effectiveness of the border deterrence. Using a standard logit-model, the theory of organizational systems, boundary-metric models, the mathematical model of the boundary of containment, which allows to take into account both direct effects and information aimed at ensuring border security.

Keywords: border deterrence, boundary functions, border security, border control, a mathematical model.