

Классификация и обзор погранометрических моделей

В. В. ШУМОВ

Аннотация. В связи с ростом трансграничной преступности (терроризм, наркоторговля, нелегальная миграция и т. д.) человечество столкнулось с новыми угрозами в области национальной и государственной безопасности. Понимание ограниченности ресурсов Земли привело к созданию территорий со смешанным правовым статусом и, как следствие, организации служб береговой охраны. Названные факторы вызвали резкое увеличение научных работ по проблемам обоснования решений в области безопасности границ с использованием математических методов. Статья представляет собой краткий обзор базовых работ по погранометрике.

Ключевые слова: *охрана границы, пограничная безопасность, безопасность границы, погранометрика, теоретико-игровые модели.*

Введение

В XX веке произошли кардинальные изменения, оказавшие существенное влияние на пограничные процессы:

1. В результате научно-технического прогресса человечество примерно в 1950–1970-е гг. в основном решило проблему голода, одновременно вытеснив множество людей из традиционных областей производства. Это привело к росту миграции населения, увеличению трансграничных потоков лиц и товаров, появлению такого феномена как трансграничная преступность.
2. В 1982 г. была принята Конвенция ООН по морскому праву, определившая границы территориального моря прибрежных государств, установившая правовой статус и режим морских пространств, имеющих смешанный правовой режим, в частности, исключительной экономической зоны и континентального шельфа.
3. Появились союзы государств новейшего типа (СССР, ЕС) с практически не охраняемыми внутренними границами, но с надежно охраняемыми внешними. Границы стали динамичными в том смысле, что в определенные периоды времени уровень их охраны кардинально меняется.
4. Новые информационные технологии не изменили сущности процессов охраны границы, но создали предпосылки и основания для массового внедрения систем поддержки принятия решений со встроенными погранометрическими (математическими) моделями.

Введение смешанных пространств (территорий) потребовало от государств пересмотреть роль пограничных служб (служб береговой охраны). Если ранее роль пограничных служб сводилась к реализации барьерной, контактной, фильтрующей и других функций (охрана и защита границы), то с 1982 г. появилась новая функция — охрана морских живых и неживых ресурсов в пространствах со смешанным правовым статусом.

Традиционные угрозы стали переходить в вызовы, подрывающие основы национальной и государственной безопасности: терроризм подрывает суверенитет государств, пытаясь навязать государству и обществу принятие выгодных внешним силам решений; контрабанда подрывает экономический суверенитет, наносит ущерб здоровью и нравственности населения; нелегальная миграция вызывает рост социально-экономической напряженности и является причиной международных конфликтов.

Моделирование процессов охраны границы, обеспечения безопасности границ первоначально выполнялось в рамках исследования операций [3], что в кратчайшие сроки позволило получить определенные результаты. Однако в последующем, в силу размытости объекта исследования, это привело к перекосу в сторону преимущественного использования методов, типичных при анализе боевых действий, но не всегда приспособленных к теории и практике охраны государственных границ.

Разумеется, существуют модели, которые успешно применяются во многих других сферах человеческой деятельности. Но вместе с тем, существование специфической области деятельности предполагает

и создание специализированных моделей, описывающих все существенные параметры и факторы, влияющие на безопасность государственных границ.

Приоритетом в настоящем обзоре является не широта охвата опубликованных работ, а попытка рассмотрения базовых работ, которые могут быть положены в основания погранометрики.

1. Классификация погранометрических моделей

Сложность процессов, протекающих в пограничных пространствах, их слабая формализуемость, предполагает использование комплексного подхода, основанного на использовании математических, информационных моделей, сценариев и эмпирических данных. Имеющаяся эмпирическая информация может быть использована для проверки моделей. В свою очередь, модели могут использоваться для обоснования сценариев.

Погранометрические модели разрабатываются в целях реализации следующих функций моделирования [10]: дескриптивная или познавательная (за счет абстрагирования модель позволяет объяснить сложные процессы реального мира), прогностическая (предсказание будущих свойств и состояний моделируемых систем) и нормативная (позволяет получить ответ на вопрос «как должно быть?», т. е. построить нормативный образ существующей системы).

Классифицировать погранометрические модели можно, в частности, по следующим основаниям [10, 15]:

1. По масштабу реальных систем:
 - Уровня государства (моделирование действий нескольких ведомств),
 - Уровня пограничной службы,
 - Уровня региона,
 - Уровня подразделения,
 - Уровня пограничного наряда (технического средства).
2. По пограничным задачам:
 - Модели защиты и охраны границы,
 - Модели режима границы и пограничного режима,
 - Модели режима в пунктах пропуска,
 - Режима исключительной экономической зоны и континентального шельфа,
 - По видам обеспечения и т. д.
3. По предмету управления:
 - Собственно погранометрические модели (моделирование прямых и информационных воздействий на внешние субъекты),
 - Погранометрические организационные модели.

4. По видам деятельности:

- Операционные модели (оптимизация действий существующих сил и средств),
 - Повседневной и усиленной охраны границы,
 - Пограничного поиска и специальных операций и т. д.
- Проектные модели (оптимизация штатного состава сил и средств).

5. По методам моделирования:

- Теоретико-игровые модели (некооперативные, кооперативные, повторяющиеся, иерархические, рефлексивные игры),
- Оптимизационные модели (теория вероятностей, теория оптимизации, дифференциальные уравнения и оптимальное управление, дискретная математика и др.).

В отдельную группу следует выделить концептуальные модели, где выявляются и на качественном и количественном уровнях анализируются факторы, влияющие на пограничную безопасность; формулируются цели действий пограничных систем и соответствующие им критерии и т. д. Концептуальные модели обычно разрабатываются специалистами различных научных дисциплин: специалистами в области государственной безопасности и охраны границ, юристами, политологами, экономистами и т. д.

2. Концептуальные модели

С. Хаддал [22] предлагает проблему защиты границ рассматривать на трех уровнях:

1. *Охрана границы* (Border Control, низший уровень угроз) — защита от незаконного проникновения в страну людей и товаров.
2. *Пограничная безопасность* (Border Safety, средний уровень угроз) — защита от насилия, преступности, контрабанды и т. д.
3. *Безопасность границы* (Border Security, высший уровень угроз) — включает в себя меры, используемые для противодействия терроризму.

Рассматриваются 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.

В статье формулируются вызовы, с которыми сталкиваются пограничные службы [22]:

- *Коррупция*. В пунктах пропуска и на границе контрабандисты и другие субъекты стремятся подкупить сотрудников для проникновения через контролируемую зону в обход технических и специальных средств;

- Увеличение трансграничных потоков приводит к *пробкам и заторам* в пунктах пропуска. Появляется дополнительное давление на сотрудников пограничных служб с целью ускорения процедур контроля, что может приводить к снижению возможностей по выявлению угроз;
 - *Обход* нарушителями хорошо *оборудованных и охраняемых участков границы*. Как показывает практика, нарушители выбирают место проникновения на значительном удалении от района (региона) проживания для снижения рисков быть задержанными;
 - *Мошенничество*. Несмотря на применение современных технических средств идентификации личности (биометрические паспорта и т. д.) существует множество способов обмана этих средств;
 - *Негодования и протесты* местного населения и законопослушных субъектов, вызванные неэффективными тактическими действиями пограничных служб, что может существенно снизить эффективность мер по защите границы.
- Меры, предпринятые Правительством США (табл. 1), вызвали дискуссии — что считать критерием пограничной деятельности.

Таблица 1

Статистические данные по пограничной безопасности [22]

Год	Финансируемых мест для задержанных	Пограничных агентов	Протяженность заграждений	Задержано, млн чел.
2000	н/д	9 212	66,9	1,815
2001	19 702	9 821	72,7	1,387
2002	21 109	10 045	81,2	1,062
2003	19 444	10 717	81,2	1,046
2004	19 444	10 819	87,2	1,264
2005	18 500	11 264	119,4	1,291
2006	20 800	12 349	139,4	1,206
2007	27 500	14 923	264,2	0,961
2008	32 000	17 499	357,4	0,792
2009	33 400	20 119	636,5	0,556

Рост количества пограничных патрулей и расходов на оборудование границы привел к снижению числа задержанных нарушителей. Следовательно, количество задержанных нарушителей не может служить показателем эффективности пограничной деятельности. Увеличение ресурсов на границе США привело к эффекту сдерживания (рис. 1).

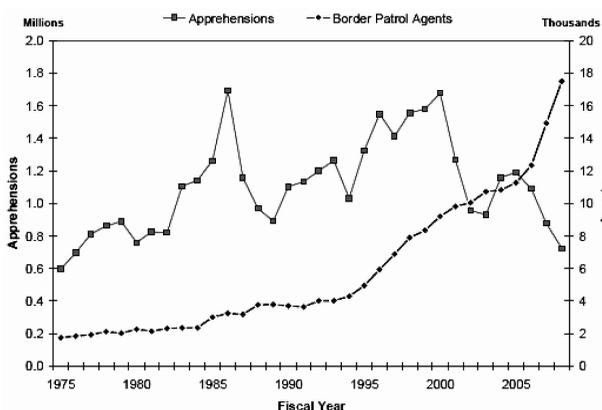


Рис. 1. Количество пограничных агентов (тыс.) и задержаний (млн) [22]

Дополнительный анализ по секторам пограничной «профилактики через устрашение» показал, что

нарушители стали обходить хорошо охраняемые районы, выбирая места нарушения в других секторах.

Несмотря на принятые меры, направленные на реализацию сдерживания, применительно к нелегальным мигрантам отмечается суммарный рост неконтролируемых нарушений.

Генри Уиллис и др. в работе «Оценка эффективности безопасности границы между пунктами пропуска» [29] рассматривают концептуальную модель безопасности границы (рис. 2).

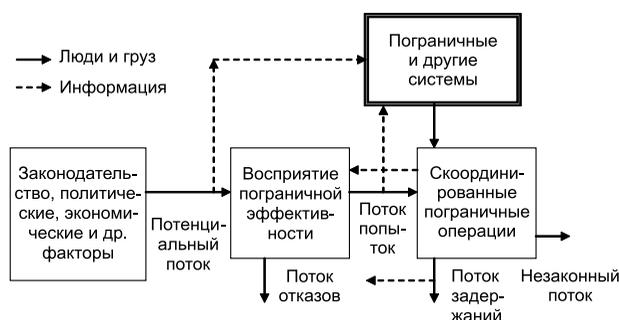


Рис. 2. Концептуальная модель безопасности границы [29]

В качестве недостатка данной модели можно отметить неучет информационных воздействий со

стороны пограничной службы, специально направленных на формирование восприятия пограничной эффективности.

Авторами выделяются три основных миссии:

- Предотвращение преступлений и поддержание безопасности вблизи границы,
- Охрана природных ресурсов,
- Поддержка законного перемещения лиц и грузов.

Исходя из перечисленных миссий, авторами сформулированы 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.
- В табл. 2 перечислены показатели эффективности частных задач, направленных на обеспечение безопасности границы.

Таблица 2

Показатели эффективности [29]

Частные или косвенные показатели	Подходы и методы оценки
Поток задержаний. Показатель — скорость перехвата	
Вероятность задержания	Раскладывается на составляющие: <ul style="list-style-type: none"> • Вероятность обнаружения (detect), • Реагирования (respond), • Распознавания (identify), • Пресечения или перехвата (interdict)
Прикрытие (Coverage)	<ul style="list-style-type: none"> • Субъективная вероятность выбора террористами маршрутов и способов действий, • Сравнение реально контролируемого потока наркотиков с нормативным, • Сравнение реально контролируемого потока нелегальных мигрантов с нормативным, • Для всех ситуаций учесть влияние рельефа, тактики пограничных средств и т. д.
Поток отказов. Показатель — влияющие факторы	
Косвенные меры — использование «лучших практик»	<p>Лучшие практики должны отражать знание следующих факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Вероятность задержания, • Последствия и эффект от задержания, • Сложность тактических приемов, • Стоимость используемых средств, • Неопределенности, • Наличие альтернатив
Бреши в системе интегрирования информации. Показатель — эффективность сбора, использования и обмена разведывательными данными	
Косвенные меры — использование «лучших практик»	<p>Лучшие практики должны включать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сбор информации (биографические, биометрические и др. данные), • Обмен с другими учреждениями, • Сотрудничество с другими учреждениями, • Оперативное использование имеющихся данных

В статье «Информационно-математическая модель для обоснования уровней пограничной безопасности» [16] описана модель для расчета критерия пограничной безопасности — предотвращенного ущерба за вычетом расходов на прямые и информационные воздействия. В зависимости от значения критерия можно выделить три зоны пограничной деятельности (рис. 3):

- Зона А — зона недостаточного финансирования,
- Зона Б — зона оптимального (рационального) финансирования,
- Зона В — зона избыточного финансирования.

В монографии [15] дается определение пограничной системы как системы, предназначенной

для оказания воздействий на субъекты (и объекты) по обеспечению режима государственной границы, пограничного режима, режима в пунктах пропуска, режима в прилегающей зоне, режима исключительной экономической зоны (ИЭЗ) и континентального шельфа (КШ) с целью повышения могущества государства.

Пограничная система оказывает воздействия, которые понимаются двояко:

- воздействие как реализация решений в отношении внешних субъектов и объектов (обеспечение *барьерной, фильтрующей, контактной* и иных функций границы [4]; оборудование пограничной полосы и т. д.);

- воздействие как реализация решений в отношении элементов системы, ее структуры и функций (управление пограничной системой).

Первый класс воздействий (функциональное воздействие или решения) непосредственно отражается на результатах повышения (неснижения) могущества государства в пограничном пространстве.

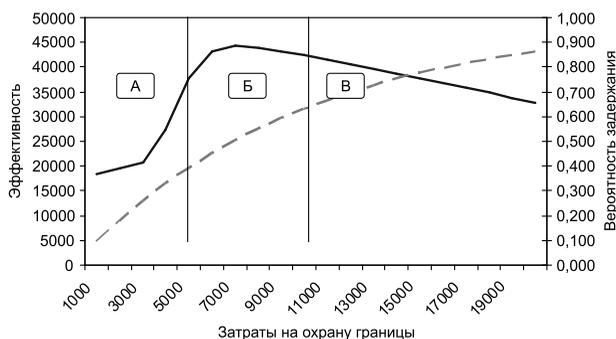


Рис. 3. Зоны финансирования пограничной деятельности [16]

Второй класс воздействий (управление организационной системой) направлен на обеспечение требуемого поведения пограничной системы.

В теории управления [5, 8, 11] рассматривают управленческие циклы: А. В. Суворова (оценка ситуации — выработка сценариев — постановка задач и мотивация — действие — результат — оценка результата), Бойда (наблюдай — ориентируйся — решай — действуй), Д. А. Новикова (проектирование — технологическая реализация — рефлексия) и др.

Учитывая, что и противостоящая сторона (трансграничные преступные организации) действует циклически, концепция циклов позволяет сформулировать критерии деятельности пограничных организационных систем. Для достижения превосходства над противником (субъектом воздействия) следует свои управленческие циклы сделать более короткими или более качественными. Следовательно, при использовании механизмов управления организационными системами [11] следует пользоваться целевыми функциями Центра (органа управления): продолжительность цикла управления (действий), объем перерабатываемой информации и др. Применение названных критериев позволит более обоснованно применять в пограничной деятельности механизмы стимулирования, планирования, организации, контроля и т. д.

3. Модели охраны границы

Л. Вейн и А. Мотскин в статье «Анализ национальной безопасности США — мексиканская граница» [28] описали оптимизационную теоретико-игровую модель, позволяющую минимизировать вероятность

безнаказанного въезда на территорию США террористов.

Модель состоит из нескольких подмоделей, первая из них — *подмодель выбора*, — позволяющая вычислить долю потенциальных нелегальных мигрантов, решивших пересечь границу Мексика-США:

$$P_j = \frac{e^{\theta u_j}}{e^{\theta u_1} + e^{\theta u_2}}, j = 1, 2, \tag{1}$$

где u_j — ожидаемая полезность от выбора $j = 1$ (решение о незаконном въезде в США) или $j = 2$ (решение остаться дома),

θ — параметр масштабирования.

Ожидаемые полезности $u_j, j = 1, 2$ зависят от уровня зарплаты иностранцев в США, расходов на переезд и обследование участков границы, затрат в случае задержания.

Подмодель задержания рассматривается как иерархическая игра, в которой первый шаг делает Правительство США, размещая некоторым образом силы и средства на границе протяженностью 1933 мили.

В качестве начальных условий полагается, что интенсивность прибытия нарушителей ($i = 1$ — мексиканцы, $i = 2$ — не мексиканцы) для каждого участка границы $x(\lambda_{bi}(x))$ и плотность пограничного патрулирования $n_b(x)$ вычисляются по формулам:

$$\lambda_{bi}(x) = \frac{\lambda_{bi}}{L} + \frac{\lambda_{bi}}{L} \alpha_b \sin(2\pi\omega_b x), x \in [0, L], \tag{2}$$

$$n_b(x) = \frac{n_b}{L} + \frac{n_b}{L} \tilde{\alpha}_b \sin(2\pi\omega_b x), x \in [0, L], \tag{3}$$

т. е. фиксируется факт, что некоторые участки границы имеют более высокую плотность охраны. Параметр ω_b подобран так, чтобы отобразить наличие 10-ти пиков на участке $L = 1933$ мили.

Выражение (3) позволяет учесть тактику действий правительства, которая заключается в следующем: правительство будет перераспределять пограничные патрули на те участки, где недавно зафиксированы нарушения; в свою очередь нарушители будут уходить на менее охраняемые участки границы.

Таким образом, вероятность того, что иностранец, подошедший к границе на участке x , после изучения плотности охраны пересечет ее на участке y , равна:

$$P_{ai}(x, y) = \frac{\exp(\theta u_i(x, y))}{\int_0^L \exp(\theta u_i(x, y)) dy}, i = 1, 2, \tag{4}$$

где $u_i(x, y)$ — ожидаемая полезность от выбора нарушителем i -го типа решения о пересечении границы на участке y (при выходе на участок x).

Полезность $u_i(x, y)$ зависит от вероятности задержания на участке y , которую обозначим $P_a(y)$. Для ее расчета используется модель системы массо-

вого обслуживания с отказами. Каналом обслуживания является пограничный патруль, патрулирующий участок границы. Если патруль занят обслуживанием некоторого нарушителя, то следующий нарушитель преодолевает границу беспрепятственно. Если патруль находится в режиме ожидания, то вероятность задержания нарушителя зависит от расстояния между ними и от используемых технологий наблюдения за участком границы.

Интенсивность пересечения границы нарушителями i -го типа на участке y (входной поток системы с отказами) вычисляется по формуле:

$$\lambda_{ci}(y) = \int_0^L \lambda_{bi}(x) P_{ci}(x, y) dx, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

Вероятность задержания нарушителей i -го типа равна:

$$P_{ci} = \frac{\int_0^L \lambda_{ci}(y) P_{\alpha}(y) dy}{\lambda_{bi}}, \quad i = 1, 2. \quad (6)$$

Подмодель выдворения задержанных нарушителей рассматривается как система массового обслуживания. Заявками системы являются задержанные нарушители или лица, получившие судебное предписание о выдворении (среди таковых только 13 % реально выдворяются за пределы США).

Подмодель рынка нелегального труда основана на использовании производственной функции Кобба—Дугласа с двумя факторами (неквалифицированных рабочих и капитала).

Инспекторы (их число m_w) контролируют рабочие места и штрафуют работодателей (их число N_w), использующих труд нелегальных мигрантов. Каждый из инспекторов за год проверяет μ_w фирм, всего имеется N_i нелегалов. Полагается, что число нелегальных работников в одной фирме подчиняется экспоненциальному закону с параметром N_i / N_w (большинство нелегалов работают в «горстке» промышленных предприятий).

Вероятность ежегодного контроля фирмы, нанявшей x нелегальных мигрантов, равна:

$$p_w(x) = \begin{cases} \frac{(1-r_w)m_w\mu_w}{N_w - r_w m_w \mu_w}, & x < \frac{N_i}{N_w} \ln \frac{N_w}{r_w m_w \mu_w} \\ 1, & x \geq \frac{N_i}{N_w} \ln \frac{N_w}{r_w m_w \mu_w} \end{cases}. \quad (7)$$

Работодатели компенсируют денежные штрафы инспекторов снижением зарплаты нелегальным мигрантам. Последним на фирме выплачивается зарплата:

$$w_i(x) = \max(w - p_w(x)f_w, 0), \quad (8)$$

где w — официальная зарплата (формируется из экономических условий равновесия), f_w — недоплата нелегальному работнику за час работы.

В ходе расчетов при существующей технологии охраны границы (15 % границы с Мексикой контролируются техническими средствами наблюдения, в каждый момент времени на границе несут службу 1636 пограничных патрулей) вероятность бесконтрольного преодоления границы потенциальными террористами равна примерно 0,973.

В модели не рассматривается безопасность на границе США с Канадой, а так же не учитываются другие каналы проникновения террористов (воздушным или морским путем).

Анализ расчетов показывает, что увеличение количества пограничных патрулей экономически более выгодно, чем увеличение числа инспекторов, проверяющих предприятия. Причем этот вывод справедлив как при реализации цели борьбы с незаконной миграцией, так и цели, заключающейся в пресечении террористов.

М. Анджелуччи [19] анализирует влияние действенной пограничной службы США на поток нелегальной миграции, используя отчетные данные за период с 1972 г. по 1993 г. В эконометрической модели Анджелуччи рассматриваются два периода. Потенциальный мигрант может выбрать любой из них или оба.

Вводится функция полезности U , характеризующая индивидуальные предпочтения. Функция зависит от потребления ($c > 0$) и от продолжительности пребывания в принимающей стране ($t \in [0, 1]$). Функция полагается дважды дифференцируемой и аддитивной относительно c и t для каждого периода.

Индивидуальный выбор зависит от уровней зарплаты в США w^{US} и Мексике w^{MX} ($w^{US} > w^{MX}$), строго выпуклой тягости от пребывания вдали от дома ($\partial u / \partial t = u_t < 0$ и $u_{tt} < 0$), расходов на потребление ($u_c > 0$ и $u_{cc} < 0$) и фиксированных затрат M_c , связанных с нелегальной миграцией. Также определяется функция пограничного контроля $M_{cbp} > 0$ и функция $M_{ca} < 0$. Параметр способности к пересечению границы $a \in [0, 1]$, r — процентная ставка, β — коэффициент дисконтирования.

Для двух временных периодов рассматривается следующая целевая функция:

$$\max_{t_1 \in [0, 1], t_2 \in [0, 1]} U(c_1, c_2, t_1, t_2, S, a) = u(c_1(t_1, S, a), t_1) + \beta u(c_2(t_2, S, a), t_2), \quad (9)$$

где

$$c_1 = t_1 w_1^{US} + (1 - t_1) w_1^{MX} - M_c(bp_1, a) \mathbf{I}\{t_1 > 0\} - S,$$

$$c_2 = t_2 w_2^{US} + (1 - t_2) w_2^{MX} - M_c(bp_2, a) \mathbf{I}\{t_2 > 0; t_1 < 1\} + (1 + r)S,$$

\mathbf{I} — индикатор, принимающий значение 1 при выполнении условия в скобках.

Необходимое условие для поиска максимума (9):

$$\frac{\partial U}{\partial t_1} = u_{c_1} + u_{c_2} (w_1^{US} - w_1^{MX}) = 0,$$

$$\frac{\partial U}{\partial t_2} = \beta u_{c_2} + \beta u_{c_2} (w_2^{US} - w_2^{MX}) = 0,$$

$$\frac{\partial U}{\partial S} = u_{c_1} + \beta(1+r)u_{c_2} = 0.$$

В модели анализируется сдерживающий эффект пограничной службы. На основе расчетов получены следующие выводы:

- В период с 1972 по 1993 г. ежегодный среднегодовой поток нелегальных мигрантов в США составлял 1 265 000 чел. Среднегодовой отток — 1 202 000 чел.
- Поток и отток чувствительны к изменению уровня пограничного контроля. Причем отток мигрантов с повышением уровня пограничного контроля снижается в большей степени, чем приток.

Заметим, что второй вывод встречается достаточно часто в американских исследованиях, хотя нет упоминаний о возможности «амнистии» — организации свободного выезда из страны нелегальных мигрантов.

В работах [15, 18] описана математическая модель охраны границы на участке пограничного подразделения. В качестве критериев эффективности используются:

- Вероятность недопущения нарушения границы,
- Обеспечение собственной безопасности.

Цель: недопущение нарушений границы, — достигается двумя способами:

- созданием условий, вынуждающих потенциальных нарушителей отказываться от своих замыслов;
- обнаружением и пресечением их действий.

Отказ нарушителей в модели характеризуется вероятностью отказа от движения по избранному маршруту за счет воздействия светотехнических средств [17].

Для учета рельефа и проходимости местности охраняемый участок разбивается на элементарные ячейки, для которых вычисляются вероятности обнаружения нарушителя и скорость движения. Существующая интервально-вероятностная неопределенность (связанная с неоднородностью местности и конкретным распределением сил и средств по местам несения службы) сводится использованием погранометрического критерия:

$$p = \alpha \min_i p_i + (1 - \alpha) \sum_i \pi_i p_i, \quad (10)$$

где α — доля нарушителей, действующих рационально,

p — вероятность обнаружения и задержания нарушителя на охраняемом участке,

π_i — вероятность выбора нарушителем i -го состояния (время суток, полоса местности),

p_i — вероятность обнаружения и задержания нарушителя в i -ом состоянии.

В табл. 3 перечислены учитываемые в модели пограничные средства.

Таблица 3

Методы учета средств охраны границы [15]

Тип средства	Методы учета средства в моделях
Информирующие средства (ИС)	Нормативно задается наличие информирующих средств
Заградительные средства (ЗС)	С помощью ЗС непосредственно реализуются требования о применении информационных и других знаков, обозначающих пределы пограничной полосы. Тем самым снижается интенсивность движения лиц и транспорта. За счет снижения скорости движения СВ создаются предпосылки для их задержания. ЗС влияют на конфигурацию <i>линий своевременного обнаружения нарушителей</i> (ЛСОН). Для расчета ЛСОН используются методы математического анализа и методы теории вероятностей
Средства воздействия на нарушителей (СВН)	Основной тактический показатель — вероятность блокирования действий СВ и время блокирования. Для расчета вероятностей задержания (блокирования) СВ в ходе повседневной службы и поиска используются методы теории вероятностей
Контролирующие средства (КС)	Математически моделируются действия пограничного дозора. Основной тактический показатель — вероятность своевременного обнаружения признаков нарушения границы. Для его расчета используются методы теории вероятностей и методы теории игр
Средства сигнализации (СС)	СС могут иметь две функции: заградительная функция и функция обнаружения. Вероятность обнаружения СВ рассчитывается с помощью методов теории вероятностей, вероятность своевременных и качественных действий по сигналам тревог (учет ложных тревог) — методами теории массового обслуживания
Средства наблюдения (СН)	В зависимости от типа СН они могут быть средством пограничного наряда, средством группы прикрытия или блокирования (поиск, поисковая операция); средством пограничного подразделения или соединения. Тактические показатели: вероятность обнаружения и

	задержания СВ, <i>вероятность своевременного обнаружения</i> ¹ , точность определения координат и параметров движения, надежность сопровождения и наведения на СВ пограничных средств. Показатели рассчитываются с использованием методов математического анализа, теории вероятностей и теории игр
Средства освещения (СО)	СО имеют несколько функций: создание условий для отказа от попытки нарушения (вероятность отказа), обнаружение СВ (вероятность обнаружения), постановка световых завес. Показатели рассчитываются с использованием методов математического анализа, теории вероятностей, математической статистики и теории игр
Средства задержания	Действия СЗ моделируются методами теории вероятностей и теории поиска

Средства обнаружения, где решение об обнаружении цели принимается этим средством, характеризуются двумя важнейшими показателями: вероятность обнаружения цели и интенсивность сигналов ложных тревог. Для нахождения оптимального соотношения между этими техническими показателями рассматривается тактический показатель — вероятность $p_{ск}$ обнаружения нарушителя и своевременного его упреждения (одноканальная система массового обслуживания с отказами):

$$p_{ск} = \begin{cases} 1 - \frac{\lambda}{\mu} \exp(-(\mu - \lambda)\tau); & \mu > \lambda, \\ 0; & \mu \leq \lambda, \end{cases} \quad \mu = \frac{1}{t_{эо}}, \quad (11)$$

где: μ — интенсивность обслуживания заявки, $t_{эо}$ — среднее эффективное время действий по сигналу тревоги, λ — интенсивность выдачи сигналов ложных тревог, τ — время упреждения нарушителей.

4. Модели оптимизации применения подвижных пограничных средств

В связи с большой протяженностью государственных границ не всегда представляется возможным обеспечить их непрерывный контроль. Принятие на вооружение пограничными службами беспилотных летательных аппаратов (БЛА) актуализирует проблему моделирования подвижных пограничных средств.

В работе «Введение в общую погранометрику» [15] рассмотрена антагонистическая игра, в которой пограничная сторона выбирает время суток (состояние погоды) применения подвижного пограничного средства (дозора). В результате решения игры найдена оптимальная смешанная стратегия применения дозора ночью p_1 и днем p_2 :

$$p_1 = \frac{\rho_2 T_1}{\rho_1 T_2 + \rho_2 T_1}, \quad p_2 = 1 - p_1, \quad (12)$$

где: T_1 — продолжительность темного времени суток и ненастной погоды,

T_2 — продолжительность светлого времени суток за вычетом ненастной погоды,

ρ_1 — вероятность обнаружения признаков нарушений дозором ночью и в ненастную погоду,

ρ_2 — вероятность обнаружения признаков нарушений дозором днем при благоприятной погоде.

При этом цена игры (вероятность своевременного обнаружения признаков дозорами) равна:

$$v = \frac{nt_y \rho_1 \rho_2}{\rho_1 T_2 + \rho_2 T_1}, \quad (13)$$

где: n — число дозоров, высылаемых на участок в течение планируемого периода (суток), t_y — среднее время упреждения нарушителей средством задержания.

В. Крейнвич и др. [23] разработали игровую модель оптимизации траектории полета БЛА при патрулировании границы.

Для простоты, полагается, что БЛА может летать разумно быстро вдоль границы, так что для каждой точки, интервал между двумя последовательными перелетами не превышает времени $2T$, необходимого для успешного пересечения нарушителем границы.

Пусть $v(x) \leq V$ есть скорость БЛА в точке x , V — максимально допустимая скорость.

Продолжительность полета вычисляется по формуле:

$$T = \int s(x) dx, \quad s(x) = 1/v(x), \quad s(x) \geq S, \quad S = 1/V. \quad (14)$$

Величину $s(x)$ можно представить как $s(x) = S + \Delta s(x)$, $\Delta s(x) \geq 0$.

Тогда выражение (13) преобразуется к виду:

$$T = SL + \int \Delta s(x) dx, \quad (15)$$

где L есть длина маршрута, или в эквивалентной форме:

$$T_0 = \int \Delta s(x) dx, \quad T_0 = T - SL. \quad (16)$$

Для выбора разумной стратегии патрулирования необходимо вычислить вероятность пересечения нарушителем границы при данной стратегии. Пусть h есть дальность обнаружения нарушителя. Ширина

¹ Под своевременным обнаружением понимается обнаружение нарушителей в таком месте, при котором создаются предпосылки для их задержания пограничными средствами.

контролируемой БЛА зоны при нахождении нарушителя в точке x равна $(x+h)-(x-h) = 2h$.

Время, необходимое БЛА для пересечения зоны шириной $2h$ равно:

$$t_{obs} = 2h/v(x). \quad (17)$$

Пусть Δt есть время, необходимое БЛА для одного обзора (снимка) местности. Тогда за время t_{obs} будет сделано обзоров:

$$n(x) = t_{obs}/\Delta t = 2hs(x)/\Delta t. \quad (18)$$

Обозначим p_1 — вероятность того, что за один обзор нарушитель не будет обнаружен. В предположении независимости обзоров вероятность не обнаружения нарушителя равна:

$$p(x) = \exp(-ks(x)), \quad k = 2h|\ln p_1|/\Delta t. \quad (19)$$

Различные участки границы имеют с точки зрения нарушителей разную полезность. Применительно к контрабандистам эта полезность может быть выражена в денежном выражении. Пусть $w(x)$ есть ценность груза, перевозимого нарушителями через точку x .

Рассмотрим случай, когда полезность $w(x)$ нам известна.

Предположим, что нарушитель наблюдал пролет БЛА и способен вычислить вероятность $p(x)$. Какое решение примет нарушитель, основываясь на этом знании?

Обозначим самую неблагоприятную для него альтернативу A_- и самую благоприятную A_+ . Для вероятности p рассмотрим лотерею $L(p)$, в которой мы имеем A_+ с вероятностью p и A_- с вероятностью $1-p$.

При $p = 1$ лотерея совпадает с A_+ и мы получим альтернативу $A \leq A(1)$, при $p = 0$ соответственно $A(0) \leq A$. Соответственно, чем выше вероятность p , тем более выгодной является лотерея $L(p)$ для нарушителя. Следовательно, если $p < q$, то $L(p) < L(q)$. Обозначим p_0 — точная нижняя граница множества значений p , для которых $A < L(p)$. Тогда:

- Если $p < p_0$, то для $\tilde{p} = (p + p_0)/2$ мы имеем $\tilde{p} < p_0$ и, следовательно, $A \leq L(\tilde{p})$. Поскольку $p < \tilde{p}$, то $L(p) < A$.

- Аналогично, при $p > p_0$ получим $A < L(p)$.

Это пороговое значение p_0 называется полезностью $u(A)$ события A . По определению полезности событие E_1 эквивалентно лотерее $L(u(E_1))$, в которой мы берем A_+ с вероятностью $u(E_1)$. Следовательно, мы получаем составную лотерею, в которой:

- С вероятностью p_1 мы получаем лотерею, которая с вероятностью $u(E_1)$ приводит к A_+ (с $1 - u(E_1)$ к A_-),
- С вероятностью p_2 мы получаем лотерею, которая с вероятностью $u(E_2)$ приводит к A_+ (с $1 - u(E_1)$ к A_-),
- ...

В этой составной лотерее мы получаем либо A_+ , либо A_- . Вероятности получения A_+ равны:

$$u = p_1u(E_1) + p_2u(E_2) + \dots + p_nu(E_n). \quad (20)$$

В соответствии с теорией принятия решений нарушитель выберет место нарушения x , в котором полезность максимальна:

$$u(x) = p(x)w(x) = \exp(-ks(x))w(x) \rightarrow \max. \quad (21)$$

Следовательно, доход нарушителя будет равен:

$$G(s) = \max_x u(x) = \max_x [\exp(-ks(x))w(x)]. \quad (22)$$

Цель пограничной стороны заключается в выборе стратегии $s(x)$, для которой прибыль $G(x)$ нарушителя минимальна. Пусть x_m есть место, в котором полезность $u(x)$ максимальна. Если рядом с точкой x_m имеется точка x_0 , для которой $u(x_0) < u(x_m)$, то в окрестности x_0 следует идти с большей скоростью.

Чтобы свести полезность нарушителей к минимуму, следует взять:

$$u(x) = u_0 = const, \quad (23)$$

следовательно

$$\exp(-ks(x)) = \frac{u_0}{w(x)}, \quad s(x) = \frac{1}{k}(\ln(w(x)) - \ln(u_0)), \quad (24)$$

$$\Delta s(x) = \frac{1}{k} \ln w(x) - \Delta_0, \quad \Delta_0 = -\frac{1}{k} \ln(u_0) - S, \quad (25)$$

$$\Delta s(x) = \max\left(\frac{1}{k} \ln w(x) - \Delta_0, 0\right). \quad (26)$$

Величина Δ_0 вычисляется из условия:

$$\int \Delta s(x) dx = \int \max\left(\frac{1}{k} \ln w(x) - \Delta_0, 0\right) dx = T_0. \quad (27)$$

Случай, когда полезность $w(x)$ неизвестна, рассматривается с использованием теории нечетких множеств.

5. Модели пограничного поиска

Поисковые действия характерны для всех задач охраны границы и исключительной экономической зоны (ИЭЗ). В этой связи в погранометрических исследованиях уделяется пристальное внимание поисковым моделям.

Проблемой поиска объектов (подводных лодок) начали заниматься в годы второй мировой войны. В последующем прикладные поисково-игровые задачи стали предметом изучения в исследовании операций. Эти задачи делились на три группы [6].

Дискретный поиск. Пусть имеется $n \geq 2$ пронумерованных ячеек, в одной из которых прячется искомый объект (ИО). Априорная вероятность того, что ИО находится в i -й ячейке, равна p_i ($\sum_{i=1}^n p_i = 1$). При поиске в i -й ячейке ИО (при условии, что он там находится) может быть обнаружен с вероятностью α_i ($0 \leq \alpha_i < 1, i = 1, \dots, n$). Вероятности p_i и α_i поисковой системе (ПС) известны. Требуется определить оптимальный (минимизация среднего времени, средней стоимости) алгоритм поиска. Эта и подобные задачи (включая случаи перемещения ИО) решены Староверовым, Аркиным, Блечменом, Келиным, Брауном и другими.

Непрерывный поиск. Купман рассмотрел задачу поиска на площади, на которой ИО распределены равномерно и их курсовые углы неизвестны (с равной вероятностью принимают значения из $[0; 2\pi]$). При условии, что ПС движется с постоянной скоростью, он определил среднее число ИО, попадающих за единицу времени в заданный круг. Купман так же решил ряд задач закономерного и случайного поиска; нашел оптимальное распределение заданных поисковых усилий, при котором максимизируется вероятность обнаружения стационарной цели при известном априорном распределении положения и экспоненциальной условной функции обнаружения. Существенный вклад в решение задач непрерывного поиска внесли Беллман, Избелл, МакКуин, Миллер, Аркин, Хеллман и др.

Игровая задача поиска. Одна из первых игровых задач поиска (Морз и Кимбелл) состоит в следующем: ПС (самолет) производит поиск ИО (подводной лодки), который проходит через пролив переменной шириной и достаточно большой длины; ИО не может находиться в погруженном состоянии в течение всего времени перехода. Требуется определить оптимальное распределение поисковых усилий для ПС и плотность распределения места погружения или всплытия для ИО.

Исходя из поисковой ситуации, рассматривают *поиск на площади* (в заданном районе) и *поиск на линии* (на рубеже).

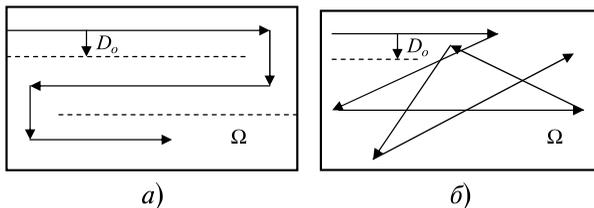


Рис. 4. Закономерный (а) и случайный (б) поиск

По характеру просмотра участков района поиска различают *поиск закономерный* и *поиск случайный* (рис. 4). По периодичности просмотра наблюдателем среды поиска поиск подразделяется на *непрерывный*

поиск или *дискретный поиск*. В зависимости от возможности достижения конечного результата поиска — обнаружения объекта, — поиск бывает *достоверным* и *недостоверным*.

При закономерном поиске предполагается, что ИО неподвижен, его место не меняется за все время поиска. Наилучший способ действия ПС в этом случае — последовательно обследовать весь район. В предположении, что ИО может находиться в любом подрайоне с равной плотностью, вероятность обнаружения цели за время T при этом равна:

$$P_o^z(T) = \begin{cases} \frac{2D_o v_b T}{S_\Omega} \rho, & 2D_o v_b T < S_\Omega; \\ \rho & 2D_o v_b T \geq S_\Omega, \end{cases} \quad (28)$$

где D_o — дальность обнаружения цели наблюдателем, v_b — скорость наблюдателя, S_Ω — площадь района, ρ — контактная вероятность обнаружения (вероятность обнаружения ИО в пределах дальности действия приборов обнаружения).

При случайном поиске предполагается, что траектория ПС длиной $L = v_b T$ настолько беспорядочна, что всю ее можно разделить на M равных участков и считать случайные события, заключающиеся в обнаружении ИО на различных участках, независимыми. Вероятность обнаружения ИО (в предположении, что контактная вероятность $\rho = 1$) на отдельном участке равна:

$$p = \frac{2D_o L / M}{S_\Omega}, \quad (29)$$

а за все время поиска становится равной:

$$P_o^s(T) = \rho(1 - p^M) = \rho \left(1 - \left(1 - \frac{2D_o L / M}{S_\Omega} \right)^M \right). \quad (30)$$

При $M \rightarrow \infty$ получим:

$$P_o^s(T) = \rho \left(1 - \exp \left(- \frac{2D_o v_b}{S_\Omega} T \right) \right) = \rho(1 - e^{-\gamma T}), \quad (31)$$

причем математическое ожидание времени поиска составит:

$$M(T) = \frac{\rho}{\gamma} = \frac{\rho S_\Omega}{2D_o v_b}. \quad (32)$$

Формула (31) получена в предположении, что сколь бы беспорядочно не двигался ИО, случайные события (обнаружение цели на элементарном участке) независимы. Однако, необнаружение ИО на первых элементарных участках означает, что площадь возможного нахождения ИО уменьшилась по сравнению с первоначальной. Если же ИО движется, то неверна формула (29), а, следовательно, и формула (30).

Для того, чтобы выражение (30) было верно, поиск должен быть организован следующим образом: в течение времени T/M ИО остается неподвижной, а ПС движется прямолинейно со скоростью v_b ; в момент окончания указанного временного интервала ИО «перепрыгивает» на любое другое место, координаты которого равномерно распределены в районе независимо от предыдущего места, а ПС продолжает прямолинейное движение либо тем курсом, либо изменив его. Процесс повторяется M раз. Очевидно, что подобная модель нереализуема. Возможен и такой ход рассуждений: по окончании каждого участка мы забываем, какую территорию мы уже обследовали, и чем это закончилось (ИО обнаружен или нет) и на следующем элементарном участке начинаем поиск как бы сначала. Разумеется, что и в такой трактовке идея случайного поиска является надуманной [2].

По Купману закономерный поиск (28) расценивается как лучший по эффективности из всех возможных, а случайный (31) как наихудший. Беляева и Митрофанов предлагают для оценки эффективности поиска использовать следующее выражение:

$$P_o = \beta P_o^Z + (1 - \beta) P_o^S, \quad 0 \leq \beta \leq 1, \quad (33)$$

где параметр β может уточняться в ходе сбора и обработки данных о результатах поиска судов, оборудованных техническими средствами контроля.

Если один и тот же район обследуется несколькими независимыми ПС, то общая вероятность обнаружения ИО вычисляется по формуле:

$$P_{oS} = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - P_{oj}), \quad (34)$$

где P_{oj} — вероятность обнаружения ИО j -й ПС, $j = 1, \dots, N$.

Если в районе находится несколько однородных ИО N_o , то математическое ожидание числа обнаруженных объектов вычисляется по формуле:

$$M_{N_o} = N_o P_{oS}. \quad (35)$$

В работе [1] решены задачи оптимизации траекторий уклонения одиночной (оптимизационная задача, динамическое программирование) и групповой (игровая задача) целей на плоскости и в пространстве от обнаружения преследователем с ограниченной зоной наблюдения (круг или сектор) в условиях применения целями ложных помех.

Шикин и Чхартишвили [13] обратили внимание специалистов на комплексное решение поисковых задач — сочетание математических методов и компьютерных технологий, дав обзор геометрических методов и конструкций, рекомендуемых к использованию в решении задач динамического поиска.

В развитие геометрического подхода [14] Шикин и Березин решили ряд поисковых задач в предположе-

нии, что ПС имеют преимущество в скорости, а ИО — в информированности (искомому объекту всегда известно местоположение всех поисковых систем).

Если ПС покоится, то ее осведомленность об ИО ограничивается кругом, центр которого совпадает с ПС. При движении ПС эта область увеличивается: впереди образуется *упреждающая область*, сзади — *остаточная область*. Объединение этих областей образует *следящую область*, показывающую степень осведомленности ПС об ИО (рис. 5). Предложены алгоритмы расчета поисковой траектории — траектории, приводящей к обнаружению ИО.

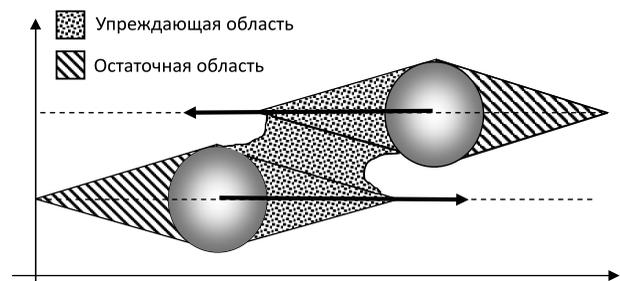


Рис. 5. Взаимодействие упреждающих областей ПС

Уошберн [27] рассматривает барьерные игры, которые могут применяться при моделировании задач охраны морской (речной, однородной сухопутной границы) и ИЭЗ.

Рассмотрим охрану морского (речного) участка границы. Поисковые системы (дозоры) имеют следующие характеристики: V — максимальная скорость, r — дальность обнаружения искомого объекта, и следуют друг за другом на расстоянии S . Искомые объекты пытаются пересечь охраняемый рубеж со скоростью U . По формуле Купмана вероятность обнаружения ИО равна:

$$P = \min \left(1, \frac{2r}{SU} \sqrt{V^2 + U^2} \right). \quad (36)$$

Уошберн отмечает, что ИО может бесконтрольно пересечь охраняемый рубеж при $P = 1$ (рис. 6, 7) в области разрыва упреждающей и остаточной областей.

Уошберн описал траекторию пересечения искомым объектом контролируемого рубежа — любая траектория внутри штрихованного конуса (рис. 8), где точки $-b$ и b — границы отрезка B (рис. 6), g вычисляется по формуле:

$$g = \frac{S}{2} - r \frac{\max(U, V)}{U}. \quad (37)$$

Вероятность успешного пересечения контролируемого рубежа равна g/b . Заметим, что величины g и b связаны выражением:

$$b = g + \frac{2r}{\operatorname{tg}(\phi)} = g + \frac{2r}{U} \sqrt{V^2 - U^2}, \quad (38)$$

а среднее время пересечения рубежа равно:

$$\tau = \left(2 \frac{S}{U} + \frac{4rV}{U\sqrt{V^2 - U^2}} \right) \left(1 + \frac{r\sqrt{V^2 - U^2}}{g} \right). \quad (39)$$

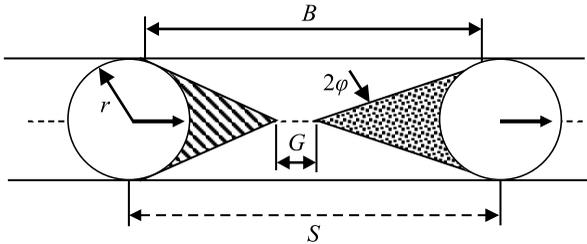


Рис. 6. Контроль рубежа поисковыми системами

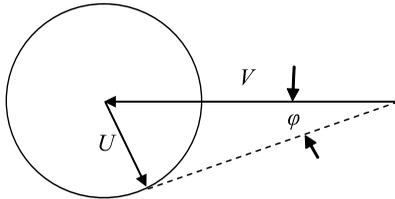


Рис. 7. Конус возможных направлений

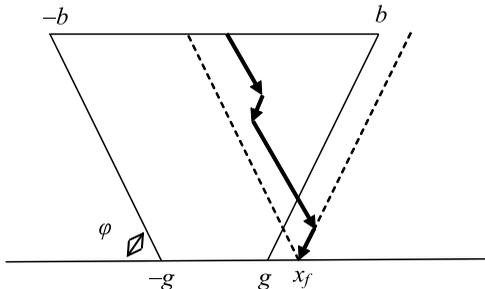


Рис. 8. Маршруты преодоления контролируемого рубежа

Пограничные силы и элементы инфраструктуры функционируют не только вдоль границы, но и в крупных городах (пункты пропуска, таможенные пункты). Защита важных объектов включает такие задачи, как мониторинг всех входящих и исходящих дорог и проверка пассажиров и грузов. Тем не менее, в связи с ограниченностью ресурсов невозможно обеспечить сплошной мониторинг транспорта и грузов. Противник (потенциальные террористы, контрабандисты) способен вести длительное наблюдение за действиями служб безопасности и использовать любую предсказуемость этих действий в своих интересах.

Математическая модель обеспечения безопасности аэропорта [25] основана на иерархических играх (первый ход делает служба безопасности) и использует байесовское равновесие Штакельберга. Имеется множество N игроков и каждый игрок принадлежит к некоторому типу θ_n . Полагается, что множество θ_1 (состоящее из одного элемента) — это центр (служба безопасности) и θ_2 — множество агентов (преступников) различных типов. Считается, что центру достоверно неизвестны типы агентов. Для каждого n -го игрока (центра или агента) имеется множество стратегий σ_n и функция полезности u_n . Решение игры заключается в поиске оптимальной смешанной стратегии центра, с учетом того факта, что агент может знать эту смешанную стратегию лидера.

Основные требования к модели и ее программной реализации:

- Модель должна обеспечить построение случайного графика службы с учетом вероятных последствий действий террористов. Например, если нападение на одну часть объекта приведет к серьезным экономическим потерям, а на другую — к человеческим жертвам, то мы должны назначить больший вес второму варианту;
- Модель должна учитывать имеющуюся информацию о потенциальных действиях противника;
- Программа должна работать в интерактивном режиме, т. е. не выдавать жесткий график, а позволять пользователям вносить нужные корректировки в результате анализа факторов, не учтенных в модели.

Для поиска оптимальной стратегии центра необходимо решить следующую задачу:

$$\max_{x, q, a} \sum_{i \in X} \sum_{l \in L} \sum_{j \in Q} p^l R_{ij}^l x_i q_j^l, \quad (40)$$

с ограничениями:

$$\sum_{i \in X} x_i = 1, \quad \sum_{j \in Q} q_j^l = 1, \quad 0 \leq \left(a^l - \sum_{i \in X} C_{ij}^l x_i \right) \leq (1 - q_j^l) M, \\ 0 \leq x_i \leq 1, \quad q_j^l \in \{0, 1\}, \quad a \in \mathfrak{R},$$

где $q^l = \{q_j^l\}$ — вектор стратегий агента l -го типа,

$R^l = \{R_{ij}^l\}$ — матрица выигрышей центра,

$C^l = \{C_{ij}^l\}$ — матрица выигрышей агента,

M — большое положительное число,

p^l — априорная вероятность распределения агентов по типам,

a^l — верхняя граница выигрышей агента l -го типа.

Задача (40) сводится к задаче целочисленного линейного программирования, последняя легко ре-

шается с использованием пакетов целочисленного программирования.

В пособии [18] рассматривается модель поиска (поисковой операции) на сухопутном участке границы, предназначенная для заблаговременного планирования. В ней на основе возможностей системы обнаружения рассчитывается математическое ожидание времени обнаружения признаков нарушения границы, что является основным параметром для определения пространственного размаха операции. В модели учитываются поисковые действия на рубежах и в районе.

В поисковых моделях обычно предполагается, что если ОИ находится на удалении, меньшем математического ожидания $M(d)$ (рис. 9) дальности обнаружения, то он считается достоверно обнаруженным.

В большинстве пограничных систем решение об обнаружении субъекта воздействия и о последующей реакции на это обнаружение принимается человеком. В этой связи вероятность обнаружения $P_0 < 1$ и возникает необходимость при расчете этой вероятности учитывать положения теории управления организационными системами [11], т. е. оценивать эффективность институционального, мотивационного и других видов управления.

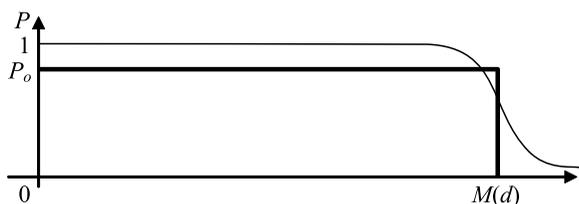


Рис. 9. Дальность и вероятность обнаружения объекта поисковой системой

Заключение

Проблемы обеспечения безопасности государств в пограничных пространствах носят комплексный характер и зависят от множества факторов (международное и национальное законодательство, социально-экономические и политические факторы, возможности и тактика действий пограничных сил и субъектов воздействия и т. д.). Для получения адекватных погранометрических моделей важнейшим необходимым условием является построение концептуальных моделей с привлечением специалистов различных научных дисциплин.

К настоящему времени разработано множество математических моделей универсального характера (модели поиска, преследования и наведения, игровые модели и т. д.), позволяющие оптимизировать применение отдельных пограничных сил и средств. Следует отметить ограниченное количество комплексных моделей оценки эффективности и оптими-

зации действий пограничных сил и средств на различных уровнях управления.

С научной и практической точки зрения представляется актуальным решение следующих задач:

- Разработка (совершенствование) погранометрических моделей уровней подразделения — регион — служба — государство, их интеграция с информационными системами и системами поддержки принятия решений (ситуационными центрами),
- Разработка погранометрических организационных моделей и создание на их основе механизмов управления.

Литература

1. Абрамянц Т. Г., Маслов Е. П., Яхно В. П. Уклонение подвижных объектов от обнаружения на плоскости и в пространстве // Проблемы управления. № 3. 2008. С. 2–13.
2. Беляева М. Б., Митрофанов М. Ю. Новые результаты в теории поиска // Дискретный анализ и исследование операций, январь–июнь 2004. Сер. 2. Том 11. № 1. С. 26–50.
3. Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1971. С. 24–25, 263–264, 271–274.
4. Дмитриева С. И. Лимология: учебное пособие. Воронеж: Изд.-полигр. центр ВГУ, 2008. 112 с.
5. Ивлева А. Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации. Монография. М., 2008. В рукописи 64 с.
6. Ким Д. П. Методы поиска и преследования подвижных объектов. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 336 с.
7. Кучкова Ф., Лукашев Н. Ф., Попов Г. П., Шумов В. В. Математическое моделирование служебно-боевых действий пограничных войск: Учебник. В 3-х томах. М.: Академия ФПС России, 1997.
8. Летуновский В. В. Управленческая система Александра Васильевича Суворова // «Инициативы XXI века». № 4, 2009. С. 27–32.
9. Наставление по охране государственной границы Республики Казахстан (пограничный наряд). Приказ Государственного комитета Республики Казахстан по охране государственной границы от 25 января 1996 г. № 21.
10. Новиков А. М., Новиков Д. А. Методология. М.: СИНТЕГ, 2007. 668 с.
11. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. 583 с.
12. Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Рефлексивные игры. Серия «Управление организационными системами». М.: СИНТЕГ, 2003. 160 с.
13. Чхартишвили А. Г., Шикин Е. В. Динамический поиск объектов. Геометрический взгляд на проблему // Фундаментальная и прикладная математика. 1995, 1. № 4. С. 827–862.
14. Шикин Е. В., Березин С. Б. Поиск объектов. Динамика. Геометрия. Графика // Фундаментальная и прикладная математика. 2005. Т. 11. № 1. С. 3–34.

15. Шумов В. В. Введение в общую погранометрику. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. 240 с.
16. Шумов В. В. Информационно-математическая модель для обоснования уровней пограничной безопасности / Управление большими системами. Выпуск 32. М.: ИПУ РАН, 2011. С. 155–171.
17. Шумов В. В. Об оценке эффективности применения светотехнических средств в охране государственной границы / Математическое моделирование. Том 23. № 3. М.: ИММ РАН, 2011. С. 38–48.
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. Angelucci M. U. S. Border Enforcement and the Net Flow of Mexican Illegal Migration // University of Arizona, 2005, http://econ.arizona.edu/docs/Working_Papers/Econ-WP-05-12.pdf (дата обращения 10.04.2011).
20. 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.
21. Davis P. K., Cragin K. Social Science for Counterterrorism. Putting the Pieces Together // RAND Corporation, 2009 http://www.rand.org/pubs/monographs/2009/RAND_MG849.pdf (дата обращения 10.04.2011).
22. 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/sfp/crs/homesecc/R41237.pdf (дата обращения 10.04.2011)
23. Kiekintveld C., Kreinovich V., Lerma O. Optimizing Trajectories for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Patrolling the Border / Proceedings of the World Conference on Soft Computing, San Francisco, CA, May 23–26, 2011.
24. Malczynski L., Cockerill K., Forster C., Passell H. Borders as Membranes: Metaphors and Models for Improved Policy in Border Regions // Sandia National Laboratories, 2005.
25. Pita J., Jain M., Marecki J., Ordóñez F., Portway C., Tambe M., Western C., Paruchuri P., Kraus S. Deployed ARMOR Protection: The Application of a Game Theoretic Model for Security at the Los Angeles International Airport // Proc. of 7th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2008) — Industry and Applications Track, Berger, Burg, Nishiyama(eds.), May, 12–16., 2008, Estoril, Portugal, pp. 125–132.
26. Sesnowitz M. Returns to Burglary // The Economics of Crime. Cambridge (Mass.), 1980. С. 181–186.
27. Washburn A. R. Barrier Games // Military Operations Research, 15(3), 2010, pp. 31–41
28. W 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 10.04.2011).
29. 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).

Шумов Владислав Вячеславович. К.т.н., доцент, действительный член Отделения погранологии Международной академии информатизации. Окончил Военную артиллерийскую ордена Ленина Краснознаменную академию им. М. И. Калинина в 1990 г., МГУ им. М. В. Ломоносова в 1994 г. Количество печатных работ: 50. Область научных интересов: погранология и погранометрика. E-mail: vshum59@yandex.ru