

УДК 519.876.2
ББК 32.81

ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ПОГРАНИЧНЫХ СИЛ И СРЕДСТВ

Шумов В.В.¹

(Пограничная академия ФСБ России, Москва)

В связи с переходом к преимущественно оперативным способам охраны границы представляется актуальной проблема повышения эффективности охраны границы в условиях ограниченных сил и средств. В статье рассматриваются вопросы поиска оптимальных способов применения пограничных сил и средств с использованием методов теории игр на примере моделирования действий пограничного наряда «дозор».

Ключевые слова: оперативные способы охраны границы, пограничный наряд, способы применения пограничных сил и средств.

Введение

Границы бывшего СССР охранялись с высокой эффективностью в условиях высокой насыщенности границы личным составом и техникой.

Рубеж ответственности пограничной заставы в среднем составлял около 15 км.

Насыщенность рубежа охраны границы личным составом (исключая районы Севера) в 70-е гг. составляла в среднем 2,5... 3 чел./км, что соответствовало штату 50 человек (из них 3 офицера и 2 прапорщика) на рубеж охраны 20 км, или 35 человек на рубеж 10...12 км [1]. На особо ответственных направлениях численность личного состава доходила до 15...17

¹ Шумов Владислав Вячеславович, кандидат технических наук, доцент (yshum59@yandex.ru)

чел./км, в местах повышенной опасности (Иран, Турция) 4...6 чел./км.

Типовой участок границы был оборудован сигнализационным комплексом, контрольно-следовой полосой (КСП). По сигналу тревоги на "сработавший" участок выезжала тревожная группа, со стороны границы рубеж перекрывался группой прикрытия. Перед наступлением темноты и с рассветом КСП проверялось пограничными нарядами (погн) дозор. Дополнительно на участке днем и ночью несли службу другие пограничные наряды (посты наблюдения, посты технического наблюдения и другие).

В настоящее время выполняется переход от войскового способа охраны границы к преимущественно оперативному способу, что предполагает сокращение численности личного состава и, как следствие, снижение плотностей сил и средств на каждый километр границы.

Вместе с тем Пограничной службе ставится задача принятия "эффективных мер по борьбе с терроризмом, наркотрафиком, незаконной миграцией..." [2].

Представляется достаточно актуальной проблема поиска оптимальных способов использования пограничных сил и средств в новых условиях для борьбы с хорошо подготовленными нарушителями.

В настоящей статье рассматриваются некоторые способы применения пограничных сил и средств, предназначенных для своевременного обнаружения признаков нарушений границы, и даются рекомендации по повышению эффективности их использования.

1. Действия нарушителей и пограничного наряда

Первое основание классификации нарушителей границы: степень опасности. По степени опасности нарушители обычно подразделяются на контрабандистов оружия и наркотических средств, экономических контрабандистов, нелегальных мигрантов, нарушителей режима с целью ведения незаконной хозяйственной деятельности и т.д. Второе основание для

классификации – степень изучения нарушителями системы охраны границы. Как правило, наиболее опасные для нас нарушители являются и более подготовленными (тщательно изучающими систему охраны границы).

По оценкам российских и иностранных экспертов [5] маршруты нелегальной миграции, как правило, совпадают с маршрутами контрабанды наркотиков, а сами каналы нелегальной миграции нередко используются для переправки террористов, оружия, средств террора и диверсий. То есть в настоящее время каналы трансграничной преступной деятельности организуются не по конкретным видам незаконной деятельности.

Для нахождения оптимальных способов применения пограничных сил и средств следует в первую очередь разделить нарушителей по второму основанию, поскольку тактика действий подготовленных нарушителей существенно отличается от тактики действий неподготовленных.

Рассмотрим пограничное средство типа «дозор» (это может быть пограничный наряд "Дозор" [6] или беспилотный летательный аппарат – БЛА), выполняющее несколько задач (рис. 1):

- Проверка состояния контролирующих и сигнализационных средств,
- Осмотр прилегающей местности,
- Обнаружение признаков нарушения границы.

В случае обнаружения признаков нарушения границы на КСП (линейной части сигнализационного средства) начинает действовать заслон (пограничный наряд "Заслон", подразделения МО и МВД, представители сопредельной стороны, с которыми налажено сотрудничество, и т.д.), перекрывающий рубеж на пути вероятного движения нарушителя.

Среднее время упреждения t_y в перекрытии рубежа определяется как разность времени движения до рубежа нарушителя t_{ng} и заслона t_{zn} .

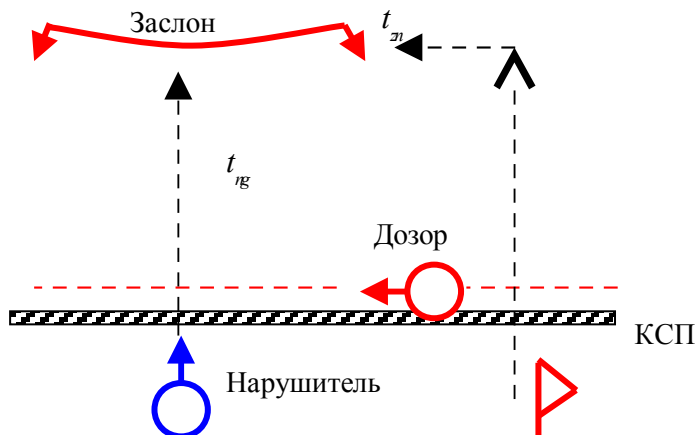


Рис. 1. Условная схема действий нарушителя и пограничного наряда

Под своевременным обнаружением признаков нарушения границы будем понимать обнаружение признаков не позднее времени t_y с момента пересечения нарушителем контролируемой полосы.

Примем следующие предположения и допущения:

1. Нарушители не кооперируются, не имеют пособников, действуют поодиночке или единой небольшой группой.
2. Подготовленными нарушителями будем считать нарушителей, изучающих систему охраны границы и выбирающих место и время нарушения на участке заставы (линейного отделения), исходя из оценки действий пограничных сил.
3. Полагаем, что дозор способен обнаружить нарушителей на дальности, не меньшей, чем дальность обнаружения нарушителей дозором. Также предположим, что длительное нахождение нарушителя вблизи КСП в ожидании прохождения дозора нецелесообразно в связи с высоким риском быть обнаруженным этим дозором, другими средствами или местным населением. Тактика подготовленного нарушителя может быть следующей: на

значительном расстоянии в течение нескольких дней (недель) вести наблюдение с целью прогнозирования времени появления дозора на участке.

4. Цель пограничной стороны (игрока A) – своевременно обнаружить признаки нарушения границы, создав тем самым условия для их задержания, цель подготовленных (игрока B) нарушителей – преодолеть контролируемый пограничными силами и средствами рубеж.

2. Теоретико-игровая модель

Среднее время t_y упреждения нарушителей заслоном в зависимости от особенностей участка может составлять от долей часа до нескольких часов.

Укажем некоторый период времени T , характеризующий минимальную периодичность планирования охраны границы и периодичность смены времени суток (состояний погоды). Обычно этот интервал равен суткам ($T = 24$ часа).

Период T разобьем на k интервалов:

$$k = \left\lceil \frac{T}{t_y} \right\rceil,$$

где $\lceil \dots \rceil$ есть знак округления в большую сторону.

Предполагается, что на отдельном временном интервале конкретный участок границы проверяется не более, чем одним дозором. Вектор числа дозоров:

$$x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_k) \in X = R^k,$$

где: $x_i = \{0, 1\}$ – число дозоров в i -м интервале времени;

R^k – k -мерное евклидово пространство.

На вектор x наложено ограничение:

$$(1) \quad \sum_{i=1}^k x_i = n,$$

где: $n < k$ – число дозоров, высылаемых на участок в течение периода T .

Предположим, что в течение периода T возможно нарушение границы подготовленными нарушителями (группой нарушителей). Если число нарушителей m неизвестно, то можно

положить $m = 1$ (мы ожидаем действий нарушителей и принимаем соответствующие меры).

Вектор числа подготовленных нарушителей границы:

$$y = (y_1, \dots, y_i, \dots, y_k) \in Y = R^k,$$

где: $y_i = \{0,1\}$ – число подготовленных нарушителей в i -м интервале времени.

На вектор y наложено ограничение:

$$(2) \quad \sum_{i=1}^k y_i = m.$$

Своевременное обнаружение признаков нарушения возможно:

- При действиях нарушителя и дозора на одном временном интервале в половине случаев дозор пройдет по участку позже нарушителя и своевременно обнаружит его признаки с вероятностью ρ_i ;
- При действиях нарушителя на предыдущем временном интервале ($i-1$) в половине случаев дозор пройдет по участку не позже времени t_y и своевременно обнаружит его признаки с вероятностью ρ_i .

Выигрыш стороны A – математическое ожидание числа нарушителей, признаки которых будут своевременно обнаружены первым проходящим дозором:

$$(3) \quad H(x, y) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \rho_i x_i y_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \rho_i x_i y_{i-1} \approx \sum_{i=1}^k \rho_i x_i y_i,$$

где ρ_i есть вероятность обнаружения признаков на КСП дозором на i -м интервале времени. Предполагается, что на отдельном небольшом интервале времени плотности движения нарушителей и нарядов подчиняются закону равной вероятности.

Итак, получили биматричную игру вида $C_k^n \times k$ (у стороны A число стратегий равно числу сочетаний из k элементов по n , у нарушителей – k стратегий), которая сводится к антагонистической (см. Приложение).

Совместим начало отсчета времени с началом темного времени суток. Возможности дозора по обнаружению признаков

нарушений границы на КСП обычно полагаются одинаковыми для всех интервалов времени дня и для всех интервалов времени ночи:

$$\begin{aligned}\rho_1 &= \rho_i, i = 1, \dots, l, \\ \rho_2 &= \rho_i, i = l + 1, \dots, k, \\ l &= \left\lceil \frac{kT_1}{T} \right\rceil,\end{aligned}$$

где l – число интервалов времени ночи и дневного времени с ненастной погодой, при которой затруднено обнаружение признаков нарушений,

T_1 – продолжительность темного времени суток и ненастной погоды,

$T_2 = (T - T_1)$ – 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.

Среди k стратегий стороны B есть две различные (выбор ночного интервала и выбор дневного), остальные $(k-2)$ стратегий дублируют названные. То есть имеется l ночных стратегий и $(k-l)$ дневных.

Если

$$(4) \quad n \leq \min(l, k-l),$$

то у стороны A имеется $(n+1)$ различных стратегий со следующими выигрышами:

1) все дозоры идут ночью (число таких стратегий равно $C_l^n C_{k-l}^0$)

$$H_1 = \frac{n}{l} \rho_1 + 0,$$

2) $(n-1)$ дозор ночью, 1 дозор днем (с числом стратегий $C_l^{n-1} C_{k-l}^1$)

$$H_2 = \frac{n-1}{l} \rho_1 + \frac{1}{k-l} \rho_2,$$

...

i) $(n-i+1)$ дозор ночью, $i-1$ дозор днем (с числом стратегий $C_l^{n-i+1} C_{k-l}^{i-1}$)

$$(5) \quad H_i = \frac{n-i+1}{l} \rho_1 + \frac{i-1}{k-l} \rho_2,$$

...

$n+1$) все дозоры днем (с числом стратегий $C_l^0 C_{k-l}^n$)

$$H_{n+1} = 0 + \frac{n}{k-l} \rho_2.$$

Получаем следующую $(n+1) \times 2$ матрицу игры:

$$(6) \quad A = \begin{bmatrix} \frac{n}{l} \rho_1 & 0 \\ \frac{n-i+1}{l} \rho_1 & \frac{i-1}{k-l} \rho_2 \\ \dots & \dots \\ 0 & \frac{n}{k-l} \rho_2 \end{bmatrix}.$$

Уравнение прямой (рис. 2), проходящей через две точки $(0, y_1)$ и $(1, y_2)$ имеет вид

$$Ax + By + C = 0 \text{ или } (y_1 - y_2)x + y - y_1 = 0.$$

Для любых $i \neq j$ точка пересечения двух прямых, образованных i -й и j -й строками матрицы (6), имеет координаты:

$$(7) \quad x = -\frac{C_i B_j - C_j B_i}{A_i B_j - A_j B_i} = \frac{(k-l) \rho_1}{(k-l) \rho_1 + l \rho_2},$$

$$(8) \quad y = -\frac{A_i C_j - A_j C_i}{A_i B_j - A_j B_i} = \frac{\rho_1 \rho_2 n}{(k-l) \rho_1 + l \rho_2}.$$

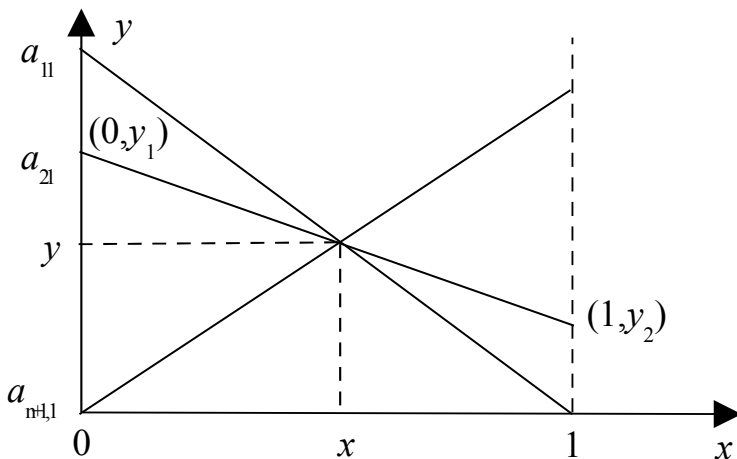


Рис. 2. Геометрическая интерпретация задачи (6)

Прямая, соответствующая i -ой строке, возрастает при $i > D$ (убывает при $i < D$),

$$(9) \quad D = \frac{(k-l)\rho_1(n+1) + l\rho_2}{(k-l)\rho_1 + l\rho_2}.$$

Из выражений (7-8) следует, что оптимальная смешанная стратегия сторон A и B равна [7]:

$$(10) \quad p_1 = q_1 = 1 - x \approx \frac{\rho_2 T_1}{\rho_1 T_2 + \rho_2 T_1}, \quad p_2 = q_2 = 1 - p_1,$$

цена игры:

$$(11) \quad v = y \approx \frac{nt_y \rho_1 \rho_2}{\rho_1 T_2 + \rho_2 T_1}.$$

Оптимальное распределение дозоров по времени суток (выражение 10) не зависит от времени упреждения, т.е. от конфигурации рубежей и направления движения нарушителей (к нам или от нас), а зависит только от продолжительности темного (светлого) времени суток и возможностей дозоров по обнаружению признаков днем и ночью.

3. Практическая реализация оптимальной стратегии

Рассмотрим реализацию оптимальной смешанной стратегии при следующих исходных данных:

- Число дозоров в сутки $n = 2$,
- Продолжительность ночи $T_1 = 14$ ч., начало ночного времени – 20:00,
- Время упреждения $t_y = 2$ ч.,
- Вероятность обнаружения признаков ночью $\rho_1 = 0,6$,
- Вероятность обнаружения признаков днем $\rho_2 = 0,9$.

Предположим, что нарушитель не может вести непрерывное наблюдение за временем выхода дозоров более 10 суток (в связи с высоким риском быть обнаруженным).

По формулам (10-11) вычисляем:

$$p_1 = \frac{0,9 \cdot 14}{0,6 \cdot 10 + 0,9 \cdot 14} \approx 0,68, \quad p_2 \approx 0,32, \quad v \approx 0,12.$$

В таблице 1 показан вариант распределения дозоров по времени суток, полученный в Excel с использованием датчика случайных чисел.

Табл. 1

Вариант распределения дозоров

Дата	Всего дозоров	Ночью			Днем		
		Дозор ов	1-й дозор	2-й дозор	Дозор ов	1-й дозор	2-й дозор
01.фев	3	2	2:00	8:00	1	16:00	нет
02.фев	1	1	10:00	нет	0	нет	нет
03.фев	1	1	2:00	нет	0	нет	нет
04.фев	2	1	20:00	нет	1	12:00	нет
05.фев	2	1	10:00	нет	1	18:00	нет
06.фев	3	2	22:00	8:00	1	14:00	нет
07.фев	2	1	0:00	нет	1	14:00	нет
08.фев	3	2	22:00	4:00	1	12:00	нет
09.фев	2	1	6:00	нет	1	18:00	нет
10.фев	1	1	2:00	нет	0	нет	нет

Итого	20	13			7		
-------	----	----	--	--	---	--	--

Высылать ежедневно строго два дозора нецелесообразно, поскольку появляется "уязвимое окно" с момента прохода 2-го дозора и до окончания дневного времени суток. Поэтому в ежедневное число высланных дозоров внесен элемент случайности. Число ночных дозоров берется как 0,68 доля от их суточного числа с округлением до целого.

Заключение

Существующими нормативными документами пограничным нарядам типа «дозор» ставятся «технические задачи»: проверка состояния контролирующих и сигнализационных средств, осмотр местности и т.д.

Предложенный способ использования названных нарядов позволяет решать важную тактическую задачу – своевременное обнаружение признаков нарушения границы подготовленными нарушителями, т.е. добиться повышения эффективности охраны границы без привлечения дополнительных сил и средств.

Представляется целесообразным на основе математической модели внести изменения в нормативные документы (пограничные уставы, наставления) с описанием новой тактической задачи и способов ее реализации.

Приложение

Утверждение.

Если в биматричной игре элементы матриц **A** и **B** связаны равенством

$$a_{ij} = 1 - b_{ij},$$

то биматричная игра сводится к матричной.

Доказательство.

Рассмотрим матрицу **C** с элементами $c_{ij} = a_{ij} - 1$. Элементы матриц **A** и **C** связаны равенствами:

$$a_{ij} = \lambda c_{ij} + \mu = c_{ij} + 1; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n.$$

Тогда в соответствии с аффинным правилом, оптимальные стратегии у соответствующих матричных игр **A** и **C** имеют

одинаковые равновесные ситуации (либо в чистых, либо в смешанных стратегиях), а их цены игры удовлетворяют следующему условию:

$$v_A = v_C + 1 \text{ или } v_C = v_A - 1.$$

Элементы матриц **В** и **С** будут связаны равенством:

$$b_{ij} = 1 - a_{ij} = 1 - (c_{ij} + 1) = -c_{ij}$$

и по определению игра с матрицами **В** и **С** антагонистична

$$v_B = -v_C.$$

Из антагонистичности игры с матрицами **В** и **С**, аффинного правила и с учетом равенства $v_C = v_A - 1$, получим:

$$v_B = -v_C = 1 - v_A.$$

Литература

1. ЗВЕЖИНСКИЙ С.С., ИВАНОВ В.А., СИЗОВ С.М., ТРУШИН А.А. *Охрана сухопутных границ СССР во второй половине XX века. Аналитический обзор по материалам открытой печати* http://st.ess.ru/publications/1_2007/sizov/index.htm (дата обращения 10.04.2010)
2. РЫБАЛКИН Н. *Новая система охраны границы адекватна угрозам безопасности России. Концепция защиты интересов России на государственной границе.* http://www.geraldika.org/04_2006_22.htm (дата обращения 10.04.2010)
3. GROSS, O. "*n Targets of Differing Vulnerability with Attack Stronger Than Defense.*" U.S. Air Force Project RAND Research Memorandum RM-359. The RAND Corporation, 1950.
4. ГЕРМЕЙЕР Ю.Б. *Введение в теорию исследования операций*, М.: Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва "Наука", 1971. – С. 24-25, 263-264, 271-274.
5. *Страны Евросоюза встревожены ростом нелегальной миграции* <http://www.km.ru/magazin/view.asp?id=E085448DE7384C088A2B0A1A85B16807> (дата обращения 20.04.2010)

6. *Наставление по охране государственной границы Республики Казахстан (пограничный наряд)*. Приказ Государственного комитета Республики Казахстан по охране государственной границы от 25 января 1996 г. N 21.
7. ОУЭН Г. *Теория игр*. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – С. 52.

GAME-THEORETICAL MODEL OF THE OPTIMIZATION OF THE BORDER SERVICES AND RESOURCES APPLICATION

Vladislav Shumov, Border Academy of FSB of Russia, Moscow, Cand.Sc., senior lecturer (vshum59@yandex.ru).

In a light of the conversion to the predominantly operational ways of safeguarding of the state border, a question of increasing of effectiveness under the conditions of the limited resources has become urgent. The purpose of this paper is to consider a problem of finding the optimal ways of the application of the border services and resources using of techniques of the game theory and illustrate it on an example of behavior of the border detachment.

Keywords: operational ways of safeguarding of the state border, border detachment, ways of application of border services and resources.