

# МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ ПЛОТНОСТЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НАДЕЖНУЮ ОХРАНУ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ

Шумов В. В.<sup>1</sup>

(Международный научно-исследовательский институт проблем управления, Москва)

*На основе методов теории управления и учения о пограничной безопасности сформулирован подход к обоснованию плотностей охраны, обеспечивающих надежную охрану государственных границ. С учетом положений военной науки и данных пограничной статистики назначены требуемые вероятности задержания нарушителей для трех уровней охраны (высокий, средний, минимальный). Для нарушителей границы с экономическими мотивами обоснование требуемой плотности охраны выполнено с использованием моделей пограничного сдерживания и агрегированной функции задержания. На примере рассмотрена методика обоснования средних плотностей охраны. Для нарушителей границы с неэкономическими мотивами (диверсионные и террористические группы) их сдерживание обеспечивается достижением требуемой вероятности их задержания (нейтрализации). В этом случае требуемые плотности охраны рассчитываются с использованием функций пограничных сил и средств, аналитических и имитационных моделей. Представлена упрощенная методика расчета вероятностей задержания нарушителей. Численные значения параметров моделей оценены на достаточном объеме данных пограничной статистики. Перспективным направлением исследований является формирование перспективного облика пограничных подразделений.*

Ключевые слова: пограничная безопасность, охрана государственной границы, уровни охраны, агрегированная функция задержания, пограничное сдерживание, плотность охраны, модель.

## 1. Введение

Одним из семи существующих чудес света является Великая Китайская стена, построенная в III веке до н.э. (династия Цинь) на месте отдельных пограничных сооружений китайских царств и впоследствии, в течение более тысячелетия, неоднократно достраивалась и реконструировалась. Стена использовалась не только в целях обороны, но и для других целей – пограничного

---

<sup>1</sup> Владислав Вячеславович Шумов, д.т.н., профессор (v.v.shumov@yandex.ru).

контроля и регулирования торговли с иноземцами. Протяженность Китайской стены составляет около 9 000 км, а со всеми ответвлениями – более 21 000 км. Китайское «го» в слове «государство» изображается иероглифом: ограда и человек с копьем.

На границах Римской империи в I–II веках н.э. возводились лимесы<sup>1</sup> (валы): Германский лимес, Дунайский лимес, вал Адриана, Африканский лимес и другие. Они служили как оборонительными сооружениями, так и средствами пограничного и таможенного контроля. В Римской империи численность пограничных легионов составляла до 2/3 от общей численности вооруженных сил. При этом в III веке (212 и 284 гг.) плотность защиты и охраны границы (количество пограничников на километр границы) составляла от 2 чел./км (Африка, Мавритания) до 15–20 чел./км (Сирия, Германия и др.) [1]. В более поздний период Римской империи происходит дальнейшее увеличение плотности защиты и охраны границы. Примерно десятая часть границы была защищена пограничными сооружениями со стенами или валами и около двух десятых – системой опорных пунктов с крепостями, наблюдательными постами и другими элементами предохранения. Предпринятые меры по оборудованию границы и ее охране позволили отразить множество вторжений иноземных племен на территорию Римской (Византийской) империи.

Во времена правления Ивана IV и позже на территории современных Тульской, Рязанской и Калужской областей России существовала Большая засечная черта протяженностью около 400 километров. Историки сравнивают ее с Адриановым валом в Англии, Римским Лимесом и другими пограничными заграждениями<sup>2</sup>.

В наше время хорошо укрепленные и охраняемые разделительные стены функционируют в Азии (Пакистан, Индия, Израиль и другие страны), в Америке (США), в Африке и Европе.

---

<sup>1</sup> Лимес (от лат. Limes – дорога, границная тропа, граница) – укрепленный рубеж со сторожевыми башнями.

<sup>2</sup> Ученые нашли фрагмент Большой русской засечной стены. РИА Новости, 20.10.2023. – URL: <https://ria.ru/20231020/arkheologiya-1903929435.html> (дата обращения: 20.10.2023).

Например, на границе США с Мексикой плотность охраны границы составляет 6,3 чел./км. По периметру границы расположены бетонные заборы, инфракрасные камеры, датчики, постоянно используются беспилотные летательные аппараты, свыше 20 тыс. американских пограничников обеспечивают безопасность границы [12].

Существует множество причин военно-политического, этнического, экономического и иного характера, побуждающих государства пересматривать соотношение между барьерной и контактной функцией границ, наращивать усилия по укреплению их охраны или, наоборот, превращать их в почти прозрачные для пересечения лиц и грузов.

Проблемы обеспечения безопасности в пограничном пространстве исследуются рядом дисциплин, включая погранологию, лимологию и исследования границ. В таблице 1 показано число употреблений терминов, связанных с исследованиями границ, пограничной политикой и охраной пограничных пространств (по состоянию на 23.01.2023).

*Таблица 1. Количество статей и поисковых результатов*

| Термин                   | Количество статей, зарегистрированных в Google Scholar | Количество результатов в поисковой системе Яндекс |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Погранология             | 108                                                    | 2.000                                             |
| Лимология                | 507                                                    | 2.000                                             |
| Пограничная безопасность | 20.000                                                 | 7.000                                             |
| Пограничная политика     | 25.500                                                 | 386.000                                           |
| Border security          | 3.910.000                                              | 213.000                                           |
| Border policy            | 4.970.000                                              | 76.000                                            |
| Border studies           | 5.530.000                                              | 10.000                                            |
| Border research          | 6.500.000                                              | 58.000                                            |

В докладе [3] отмечается, что процессы глобализации сопровождаются увеличением числа признанных и непризнанных гос-

ударств, ростом сепаратизма в ряде стран, т.е. фрагментацией мирового политического пространства. Выявление причин этих сдвигов – фундаментальная научная проблема.

Не менее значимой научной и практической проблемой является обоснование требуемых плотностей охраны границы исходя из уровней существующих или ожидаемых угроз безопасности. С обзором моделей охраны границы можно познакомиться в статьях [8, 10]. Вместе с тем, следует отметить, что вопросы обоснования требуемых плотностей охраны границы мало исследованы. Из зарубежных работ в этой области можно назвать статью «Analyzing the Homeland Security of the U. S.-Mexican Border» [14].

Целью настоящей статьи является разработка моделей и методик обоснования плотностей, обеспечивающих надежную охрану государственной границы. Структурно работа организована так.

Во втором разделе для трех категорий нарушителей границы и трех уровней охраны (высокой, средней и минимальной) определены требуемые вероятности задержания нарушителей.

В третьем разделе с использованием агрегированной функции задержания для нарушителей с мотивами экономического характера разработаны модель и методика обоснования средних плотностей охраны.

В четвертом разделе обоснованы требования к построению охраны границы и разработана методика расчета вероятности задержания нарушителей границы.

## **2. Требуемые уровни охраны границы**

Анализ отечественного и зарубежного опыта развития пограничных сил и средств позволяет сформулировать принципы назначения требуемых уровней охраны границы и обоснования перспективного облика пограничных подразделений:

1) Системный и комплексный подходы, прогнозирование национальной и пограничной безопасности, выявление уязвимостей в охране границы.

2) На основе анализа угроз формирование перечня ожидаемых категорий нарушителей границы, оценка рисков и возможностей нарушителей по прорыву границы и нанесению ущерба.

3) Недопущение нарушений границы реализуется двумя основными способами, допускающими количественную оценку: во-первых, созданием условий и рисков, вынуждающих потенциальных нарушителей отказываться от своих намерений (результат пограничного сдерживания), во-вторых, их задержанием (нейтрализацией) в случае попытки нарушения границы.

4) Разработка вариантов системы пограничных мер с учетом существующих и перспективных образцов вооружения, военной и специальной техники, сетецентрических технологий и автоматизированных систем.

5) Сочетание мобильных и стационарных сил и средств охраны, наличие резерва сил и средств.

6) Применение комплекса моделей (аналитических, имитационных) для оценки эффективности системы пограничных мер, оценка параметров моделей по результатам служебной и служебно-боевой деятельности, подготовка и проведение полигонных и войсковых испытаний.

Положения военной науки, пограничной статистики и опыт служебно-боевых действий дают основания для назначения требуемых уровней охраны границы (табл. 2).

*Таблица 2. Требуемые уровни охраны границы*

| Уровень охраны | Категория нарушителей, требуемая вероятность задержания (нейтрализации) |                                    |                                           |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
|                | 1. Невооруженные нарушители (без пособников)                            | 2. Контрабанда оружия (наркотиков) | 3. Диверсионные (террористические) группы |
| Высокий        | 0,5-0,7                                                                 | 0,6-0,8                            | 0,8-0,9                                   |
| Средний        | 0,3-0,5                                                                 | 0,4-0,6                            | 0,6-0,8                                   |
| Минимальный    | Меньше 0,3                                                              | Меньше 0,4                         | Меньше 0,6                                |

Значения требуемой вероятности задержания (нейтрализации) нарушителей определяются двумя факторами:

- степенью опасности нарушителей для государства и общества (ожидаемым ущербом и его последствиями);
- возможностями пограничного сдерживания нарушителей с экономическими мотивами.

Из трех представленных в таблице категорий нарушителей первые две, как правило, имеют мотивы экономического характера (поиск лучших условий жизни, нарушения с хозяйственно-бытовыми целями, контрабанда и т.д.). Обоснование требуемых вероятностей их задержания выполняется с использованием моделей пограничного сдерживания [9].

Третья группа нарушителей является наиболее опасной по двум причинам: во-первых, эта группа несет угрозу жизни гражданам, представителям власти, общественным деятелям и малыми силами может нанести непоправимый ущерб; во-вторых, террористы и диверсанты являются хорошо подготовленными и мотивированными и их (или их организаторов) может остановить только угроза быть уничтоженными при попытке нарушения границы или на пути следования к объектам атак.

Поэтому для 3-й группы высокий уровень охраны означает высокую гарантию их уничтожения (нейтрализации) при попытке пересечения границы. А наличие дополнительных сил и средств других ведомств и организаций приведет почти гарантированно к срыву поставленной задачи.

На протяженных участках границы высокий уровень ее охраны потребует привлечения значительных сил и средств, что может оказаться неэффективным с точки зрения государства. Тогда может оказаться разумным назначить средний уровень охраны границы, при котором окажутся высокими возможности по своевременному обнаружению нарушителей и их последующему задержанию во взаимодействии с другими ведомствами.

Далее рассмотрим задачу обоснования требуемых вероятностей задержания нарушителей с экономическими мотивами.

### **3. Моделирование пограничного сдерживания**

В ряде государств пограничное сдерживание («оптимальное сдерживание», см. [13]) является основным критерием охраны границы и важнейшим принципом пограничной деятельности в

силу следующих обстоятельств: во-первых, имеется хорошо разработанный научный аппарат по прямой и косвенной оценке сдерживания нарушителей (пограничная статистика, экономическая теория преступности, теория дискретного выбора и т.д.), во-вторых, эффективность пограничного сдерживания оценена по результатам служебной деятельности (границы СССР, граница США с Мексикой).

### 3.1. АГРЕГИРОВАННАЯ ФУНКЦИЯ ЗАДЕРЖАНИЯ НАРУШИТЕЛЕЙ

На основе анализа результатов охраны границы СССР в 1960-1980 гг. и охраны американо-мексиканской границы в 1980-2011 гг. (см. [2, 12]) получена статистически значимая агрегированная функция задержания. В соответствии с ней вероятность задержания нарушителей границы равна:

$$(1) \quad p_z = 1 - \exp(-\lambda x),$$

где:  $\lambda$  – параметр;  $x$  – плотность охраны границы (количество личного состава подразделений охраны, включая резервы и обеспечивающие подразделения на 1 км границы).

Содержательно параметр  $\lambda$  отражает: 1) искусство руководителей применять пограничные силы и средства; 2) возможности типовых нарушителей границы; 3) физико-географические и иные условия. Значения параметра  $\lambda$  оценены методом наименьших квадратов (табл. 3).

Таблица 3. Значения параметра

| Категория нарушителей        | Неподготовленные нарушители | Подготовленные нелегальные мигранты | Подготовленные контрабандисты |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Значение параметра $\lambda$ | 0,3–0,4                     | 0,22–0,25                           | 0,18–0,22                     |

На рис. 1 для трех категорий нарушителей показаны вероятности их задержания в зависимости от плотности охраны границы.

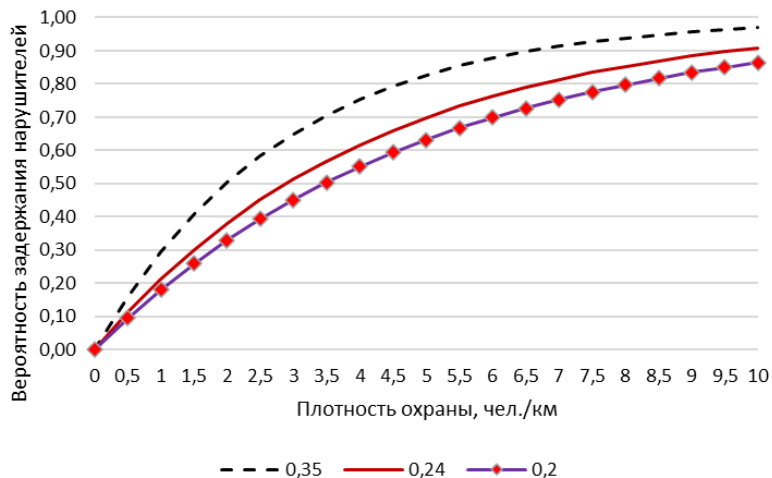


Рис. 1. Зависимость вероятностей задержания нарушителей от плотности охраны границы

Из выражения (1) находим формулу для вычисления требуемой плотности  $X_r$  охраны границы:

$$(2) \quad X_r = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - P_r),$$

где  $P_r$  – требуемая вероятность задержания нарушителей границы.

Рассмотрим обоснование требуемых вероятностей задержания нарушителей с экономическими мотивами (нелегальные мигранты, контрабандисты и т.д.). Полезность  $u_1$  незаконной деятельности<sup>1</sup> таких нарушителей равна [11]:

$$(3) \quad u_1 = B(p_z)(D - S) + (1 - B(p_z))D,$$

где:  $p_z$  – вероятность задержания нарушителей;  $B(\cdot)$  – функция представления нарушителей о вероятности их задержания (зависит от информации, получаемой нарушителями от пособников,

<sup>1</sup> Известно множество моделей ожидаемой полезности (см., например, [7]).

из СМИ и социальных сетей);  $D$  – ожидаемая прибыль от незаконной деятельности;  $S$  – денежный эквивалент наказания (включая конфискацию имущества, судебные и другие издержки).

Содержательно модель (3) можно трактовать так: прибыль  $D$  от преступления – это сила, которая побуждает человека совершить правонарушение. Тяжесть  $S$  и неотвратимость  $p_z$  наказания – сила, удерживающая его от этого. Если полезность  $u_1$  незаконной деятельности положительна, правонарушение следует ожидать, иначе – нет.

В простейшем случае функция представления  $B(\cdot)$  имеет вид [5]:

$$(4) \quad B(y, x, p) = \alpha B_+(y, p) + (1 - \alpha) B_-(x, p),$$

$$B_+(y, p) = \frac{p \exp(y)}{1 - p + p \exp(y)},$$

$$B_-(x, p) = \frac{p \exp(-x)}{1 - p + p \exp(-x)},$$

где:  $0 < \alpha < 1$  – параметр оптимизма в оценке вероятности  $p$ ;  $y$  – количество (доля) сообщений, направленных на увеличение представления о вероятности  $p$ ;  $x$  – количество (доля) сообщений, направленных на понижение представления о вероятности  $p$ . При  $\alpha > 0,5$  индивид склонен к лучшему восприятию (доверию) сообщений (информации) об увеличении вероятности  $p$ , при  $\alpha < 0,5$  он больше доверяет сообщениям о низких значениях этой вероятности.

При  $y = x = 0,5$  и при трех значениях параметра оптимизма (0,25, 0,5 и 0,75) на рис. 2 показан график зависимости представления от вероятности.

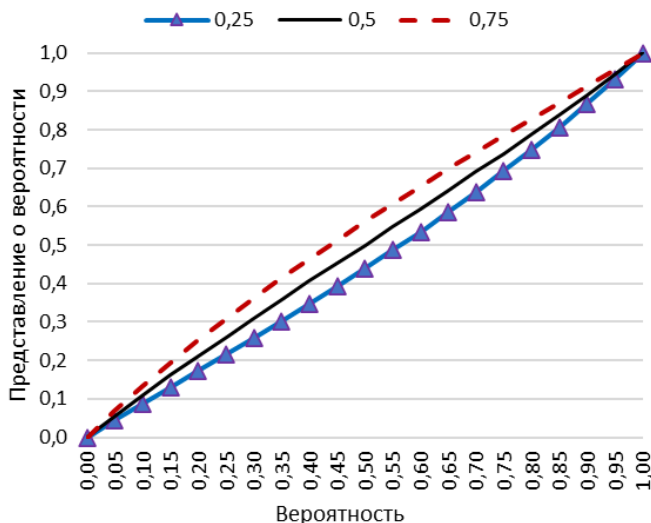


Рис. 2. Зависимость вероятностей задержания нарушителей от плотности охраны границы

Пессимисты (индивиды, стремящиеся к риску,  $\alpha = 0,25$ ) преуменьшают значение вероятности (синяя линия с маркерами), тогда как оптимисты (индивиды, стремящиеся избежать риска,  $\alpha = 0,75$ ) преувеличивают вероятность (красная пунктирная линия). Рисконейтралы ( $\alpha = 0,5$ , сплошная черная линия) почти точно оценивают вероятность.

Зная по каждой категории нарушителей с экономическими мотивами ожидаемые значения их прибыли  $D$  и наказания  $S$ , из выражения (3) и условия  $u_1 < 0$  можно найти требуемое значение представления о вероятности для сдерживания нарушителей:

$$(5) \quad B(p_z) > \frac{D}{S}.$$

**Пример 1.** Нарушитель планирует незаконно пересечь государственную границу с целью получения прибыли в размере  $D = 200.000$  руб. и через полгода незаконно пересечь границу в обратном направлении. Рассчитать требуемую вероятность его задержания, при которой ему окажется невыгодной незаконная деятельность. Полагается, что он осведомлен о действиях по

охране границы (через пособников или лиц, уже незаконно пересекавших границу).

*Решение.* В условиях осведомленности нарушителей о системе охраны границы и при отсутствии целенаправленных информационных воздействий полагаем, что представление о вероятности задержания совпадает с этой вероятностью, т.е.  $B(p_z) = p_z$ .

В соответствии со статьей 322 УК РФ и сложившейся практикой наказания примем  $S = 250.000$  руб.

Нарушитель будет дважды нарушать границу ( $n = 2$ ). Для привлечения его к ответственности достаточно одного задержания, т.е. модель (3) будет иметь вид (условие пограничного сдерживания):

$$(6) \quad u_1 = (1 - (1 - p_z)^n)(D - S) + (1 - p_z)^n D < 0,$$

откуда находим:

$$(D - S) + (1 - p_z)^n S < 0, \quad p_z > 1 - \sqrt[n]{\frac{S - D}{S}} \approx 0,55.$$

Таким образом, в условиях примера для частичной реализации пограничного сдерживания конкретной категории нарушителей (их отказа от попыток нарушения границы) достаточно обеспечить вероятность задержания нарушителей не ниже 0,55. Отметим, что если нарушители достигают своей цели при однократном нарушении границы ( $n = 1$ ), то потребуется обеспечить вероятность задержания не ниже 0,8:

$$p_z > 1 - \frac{S - D}{S} = 0,8.$$

Важно подчеркнуть, что при  $S < D$  (денежный эквивалент наказания меньше ожидаемой прибыли) пограничное сдерживание невозможно обеспечить при любых сколь угодно высоких затратах на охрану границы. Поэтому наряду с реализацией мер по охране границы необходимо вести мониторинг по ожидаемым доходам нарушителей и предпринимать меры по снижению их дохода и/или увеличению меры наказания.

Нарушители оценивают систему охраны границы с ошибками, поэтому для оценки вероятности отказа нарушителей от незаконной деятельности можно воспользоваться моделью бинарного выбора:

$$(7) \quad s_0 = \frac{\exp(\theta)}{\exp(\theta) + \exp(\theta u_1 / u_0)},$$

где:  $\theta \approx 2-4$  – степень знания нарушителями системы охраны границы;  $u_0$  – полезность законной деятельности.

**Пример 2.** Полезность законной деятельности потенциальных нарушителей равна  $u_0 = 100$ , степень знания системы охраны границы  $\theta = 3$ . Построить график зависимости вероятности отказа нарушителей от незаконной деятельности при изменении ожидаемой ее полезности в интервале  $u_1 = (0; 300)$ .

Результаты расчета показаны на рис. 3. Из рисунка видно, что при малых значениях ожидаемой полезности незаконной деятельности вероятность отказа  $s_0$  близка к единице, при  $U_1 = U_0$  эта вероятность равна 0,5 и с ростом полезности  $U_1$  вероятность стремится к нулю.

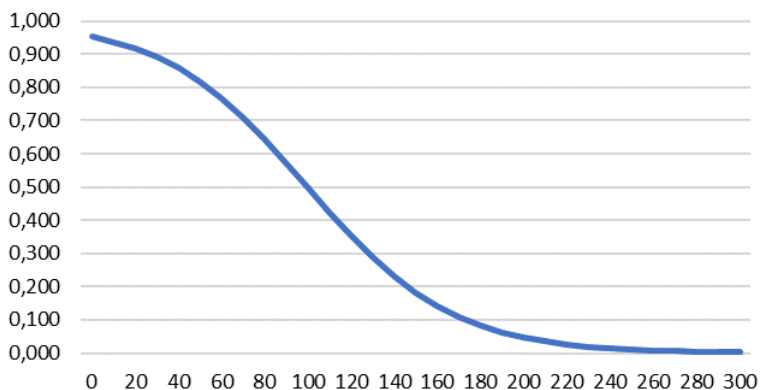


Рис. 3. График зависимости вероятности отказа  $s_0$  от ожидаемой полезности  $u_1$  незаконной деятельности

Представленные математические модели позволяют сформулировать методику обоснования средних плотностей охраны границы, при которых реализуется сдерживание нарушителей с экономическими мотивами.

### 3.2. МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ СРЕДНИХ ПЛОТНОСТЕЙ ОХРАНЫ

Реализацию методики рассмотрим на **примере 3**.

**Шаг 1.** Уточнение (прогноз) сведений о массовых потенциальных нарушителях границы с экономическими мотивами. По каждой категории нарушителей оцениваются данные:

– степень знания нарушителями системы охраны границы  $\theta$  (при  $\theta \approx 3$  нарушители пользуются услугами проводников, при  $\theta \approx 2$  нарушители самостоятельно изучают систему охраны границы, при  $\theta \approx 4$  имеется организованная преступная группировка);

– ожидаемая прибыль  $D$  от незаконной деятельности (доход минус издержки);

– денежный эквивалент наказания  $S$ ;

– средний доход (зарплата) в регионе  $u_0$ ;

– количество  $n$  нарушений границы для реализации прибыли.

**Шаг 2.** Назначается вероятность  $s_0$ , при которой реализуется пограничное сдерживание (массовый отказ от попыток нарушений границы данной категорией лиц). Обычно полагается  $s_0 = 0,7-0,8$ .

Из выражения (7) находим

$$(8) \quad u_1 = u_0 + \frac{u_0}{\theta} \ln \frac{1-s_0}{s_0}.$$

При  $\theta = 3$ ,  $s_0 = 0,75$ ,  $u_0 = 30\,000$  руб. получим:  $u_1 \approx 19\,014$  руб.

**Шаг 3.** Из выражения (при  $n = 1$  или  $n = 2$ )

$$u_1 = (1 - (1 - p_z)^n)(D - S) + (1 - p_z)^n D$$

находим требуемую вероятность задержания нарушителей.

Пусть  $n = 1$ ,  $D = 200\,000$  руб.,  $S = 250\,000$  руб. Тогда

$$p_z = \frac{D - u_1}{S} \approx \frac{200.000 - 19.014}{250.000} \approx 0,72.$$

**Шаг 4.** Зная категорию нарушителей, находим значение параметра  $\lambda$  и по формуле (2) вычисляем требуемую плотность охраны границы:

$$X_r = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - P_r) = -\frac{1}{0,24} \ln(1 - 0,72) \approx 5,4 \text{ чел./км.}$$

**Шаг 5.** Повторяем вычисления для других значимых категорий нарушителей (текущих и прогнозных) и принимаем в качестве требуемой плотности охраны границы максимальную величину.

Отметим, что нами рассчитана средняя плотность охраны границы в регионе. Для оптимального назначения плотностей охраны границы на конкретных участках ответственности необходимо использовать аналитические модели.

#### 4. Обоснование требований к построению охраны границы

Концептуальная схема аналитического обоснования требований к построению охраны границы основана на функциях пограничных сил и средств [2], математических моделях и показана на рис. 4.

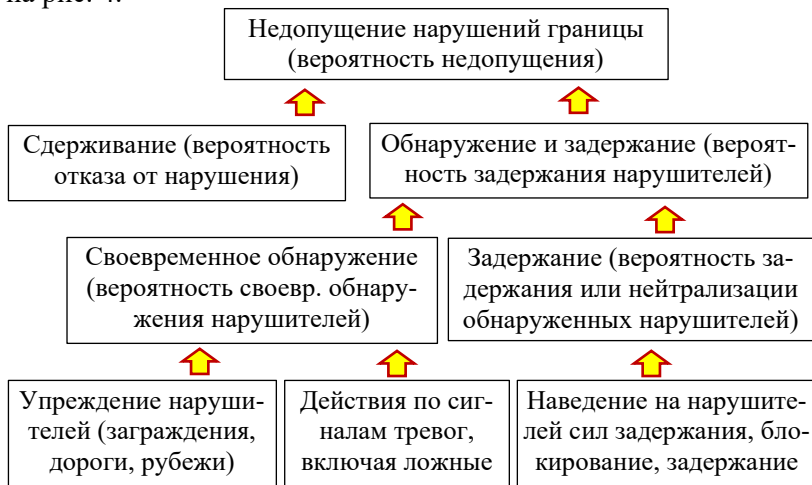


Рис. 4. Концептуальная схема обоснования требований к построению охраны границы

Модели пограничного сдерживания разработаны в основном для нарушителей с экономическими мотивами. Сдерживание диверсионно-разведывательных и террористических групп обеспечивается за счет создания высоких плотностей охраны границы,

а, следовательно, и рисков быть задержанными или уничтоженными при попытке пересечения границы.

Вероятность задержания нарушителей вычисляется по формуле:

$$(9) \quad p_z = p_{so} p_{mz},$$

где:  $p_{so}$  – вероятность своевременного обнаружения нарушителей и качественных действий по сигналам тревог;  $p_{mz}$  – вероятность задержания (нейтрализации) нарушителей при условии их обнаружения.

При наличии аналитических дифференцируемых функций  $p_{so}(x)$  и  $p_{mz}(y)$ , где  $x$  и  $y$  – количество сил и средств, выделяемых для решения задач своевременного обнаружения нарушителей и их задержания, то условие оптимального распределения между названными задачами имеет вид:

$$\frac{p'_{so}(x)}{p_{so}(x)} = \frac{p'_{mz}(y)}{p_{mz}(y)}.$$

Если вероятность  $p_z$  задана нормативно, и в частном случае, когда издержки на реализацию функций своевременного обнаружения нарушителей и их задержания примерно равны, то необходимо обеспечить следующие значения вероятностей  $p_{so}$  и  $p_{mz}$ :

$$(10) \quad p_{so} \approx p_{mz} \approx \sqrt{p_z}.$$

В таблице 4 показаны необходимые уровни вероятностей обнаружения и задержания обнаруженных нарушителей для обеспечения требуемой вероятности задержания.

Таблица 4. Необходимые уровни вероятностей

|                                                     |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Требуемая вероятность задержания                    | 0,9  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,3  |
| Необходимые уровни вероятностей $p_{so}$ и $p_{mz}$ | 0,95 | 0,89 | 0,84 | 0,77 | 0,71 | 0,63 | 0,55 |

Для получения точных результатов расчетов необходимо использовать данные о местности на участках ответственности и положении пограничных сил и средств, включая резервы.

Кратко опишем методику расчета вероятности задержания нарушителей.

#### 4.1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ЗАДЕРЖАНИЯ НАРУШИТЕЛЕЙ

**Шаг 1.** Расчет зон упреждения нарушителей резервами (заслонами) и пограничными нарядами (рис. 5).

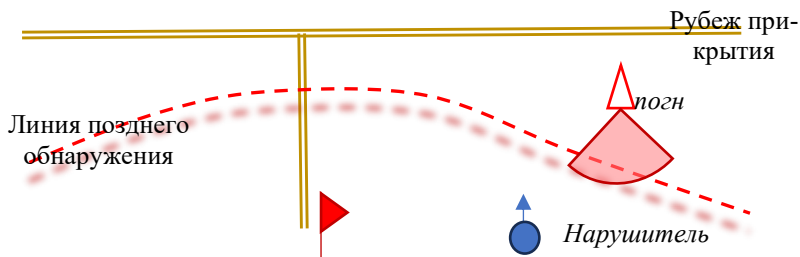


Рис. 5. Зоны упреждения нарушителей

Время  $t_y$  упреждения нарушителей рассчитывается по формуле:

$$(11) \quad t_y = t_{ng} - t_{zn},$$

где:  $t_{ng}$  – время движения нарушителя с момента его обнаружения до выхода на рубеж (к границе, в тыл);  $t_{zn}$  – время движения заслона (резерва, погн) с учетом времени сбора).

Полагается, что нарушитель движется по кратчайшему проходимому маршруту в сторону границы или в наш тыл (к объекту интереса).

На рис. 5 показана линия позднего обнаружения (пунктирная линия) заслоном и зона упреждения нарядом (сектор). Если нарушитель будет обнаружен выше линии позднего обнаружения и вне зоны упреждения, то он не будет задержан. Т.е. вероятность его своевременного обнаружения равна нулю. Иначе, вероятность своевременного обнаружения полагается равной вероятности  $p_o$  его обнаружения:

$$(12) \quad p_{so} = \begin{cases} p_o, & t_y \geq 0, \\ 0, & t_y < 0. \end{cases}$$

Расчеты показывают, что для обеспечения упреждения нарушителей необходимо выполнить минимально необходимые требования (табл. 5).

Таблица 5. Требования по обеспечению упреждения нарушителей

| Требование                                                                             | Уровень охраны границы |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|
|                                                                                        | Средний                | Высокий       |
| Количество подготовленных рубежей                                                      | Не менее двух          | Не менее трех |
| Наличие заграждений, воспрепятствующих использованию нарушителями транспортных средств | Желательно             | Обязательно   |
| Режим пограничной полосы                                                               | Желательно             | Обязательно   |

**Шаг 2.** Расчет вероятности приборного обнаружения. Вероятность обнаружения нарушителей рассчитывается как доля участка и времени суток, при которых возможно обнаружение нарушителей (пространственно-временная схема прикрытия средствами обнаружения [6], рис. 6).

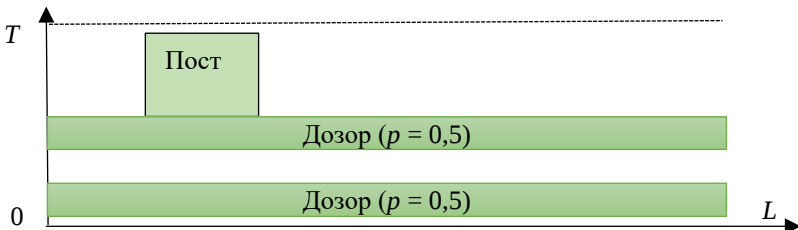


Рис. 6. Зона обнаружения нарушителей

**Шаг 3** (учет сигналов ложных тревог). Под вероятностью обнаружения нарушителей понимается приборная вероятность обнаружения с учетом своевременных действий по сигналам тревог (одноканальная система массового обслуживания с ограниченным временем ожидания):

$$(13) \quad P_o = P_{пр} P_{смо},$$

$$(14) \quad p_{смо} = \begin{cases} 1 - \frac{\lambda_t}{\mu} e^{-(\mu - \lambda_t)t_y}; & \mu > \lambda_t, \\ 0; & \mu \leq \lambda_t, \end{cases}$$

где:  $p_{пр}$  – приборная вероятность обнаружения (плотность прикрытия участка средствами обнаружения);  $p_{смо}$  – вероятность своевременных и качественных действий по сигналам тревог;  $\lambda_t$  – интенсивность сигналов тревог (включая ложные);  $\mu$  – интенсивность обслуживания сигналов тревог.

Интенсивность обслуживания  $\mu$  вычисляется по формуле:

$$(15) \quad \mu = \begin{cases} \frac{1}{t_d}; & \text{1-й способ,} \\ \frac{1}{t_d + \Delta t}; & \text{2-й способ,} \end{cases}$$

где:  $t_d$  – среднее время сбора, выезда на участок, обнаружения признаков нарушения границы, непосредственно действий по задержанию нарушителей и возвращения;  $\Delta t \approx 12-15$  час. – время, ежедневно необходимое личному составу на сон, прием пищи, занятия, обслуживание техники и т.д.

При первом способе действий в подразделении назначается резерв личного состава, предназначенный для действий по сигналам тревог, причем час времени нахождения в резерве засчитывается как полчаса несения службы. При втором способе действий в резерв назначается весь свободный от службы личный состав.

**Шаг 4** (расчет условной вероятности задержания). Условная вероятность  $p_{mz}$  вычисляется по формуле<sup>1</sup> [4]:

$$(16) \quad p_{mz} = \frac{(\beta x)^\alpha}{(\beta x)^\alpha + y^\alpha}, \quad \beta = \sqrt[4]{\beta_s \beta_r \beta_w \beta_m},$$

где:  $x$  – численность пограничников, участвующих в задержании (нейтрализации) нарушителей;  $y$  – численность нарушителей;  $\beta$  – параметр боевого превосходства пограничников над нарушите-

---

<sup>1</sup> Допустимым средним в шкале отношений является среднее геометрическое).

лями;  $\alpha$  – параметр масштаба;  $\beta_s$  ( $\beta_r$ ,  $\beta_w$ ,  $\beta_m$ ) – параметр превосходства над противником в согласованности действий (обнаружении, поражении и маневренности).

Параметр масштаба равен:

$\alpha = 0,5$  при отсутствии средств непрерывного сопровождения нарушителей и наведения на них нарядов и групп;

$\alpha = 1$  в противном случае.

## 5. Заключение

Таким образом, нами рассмотрены модели и методики обоснования плотностей, обеспечивающих надежную охрану государственной границы.

Перспективными направлениями исследований являются: во-первых, разработка моделей и методик формирования перспективного облика пограничных подразделений, во-вторых, разработка аналитических и имитационных моделей для детального учета тактико-технических характеристик вооружения и специальной техники, особенностей местности.

Автор выражает признательность Д.А. Новикову и А.Г. Чхартишвили за идеи, консультирование и руководство работ в области моделирования пограничной безопасности, а участникам научного семинара по теории управления организационными системами – за советы, критику и рекомендации.

## Литература

1. ГИРНИК Е.С. *Реконструкция пограничной статистики Римской империи* // Вопросы безопасности. – 2017. – № 5. – С. 33-54.
2. ГИРНИК Е. С., МАНИЛОВ А. Л., ШУМОВ В. В. *Пограничная статистика и ее применение для оценки уровня пограничной безопасности на внешних границах государств – участников СНГ* : монография / / под общ. ред. В. В. Шумова. – М.: КЖИ «Граница», 2022. – 232 с.
3. КОЛОСОВ В.А., СЕБЕНЦОВ А.Б. *Глобализация, суверенитет и фрагментация мирового политического про-*

- странства // Социально-экономическая география: теория, методология и практика преподавания. Материалы Всероссийской научно- практической конференции «Пятые Максаковские чтения», Москва, 24-25.09.2020. – С. 221–235.
4. КОРЕПАНОВ В.О., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г., ШУМОВ В.В. *Базовые модели боевых действий* // Управление большими системами. – 2023. – Вып. 103. – С. 40-77.
  5. МАКАРЕНКО А.В., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г., ШУМОВ В.В. *Системный анализ и прогнозирование безопасности*: монография / под общ. ред. В.В. Шумова. – М.: ЛЕНАНД, 2022. – 216 с.
  6. МАНИЛОВ А.Л. *Моделирование деятельности пограничных ведомств государств – участников Содружества Независимых Государств*: учебное пособие / А.Л. Манилов, В.Н. Савенко, В.В. Шумов / под ред. В.А. Дмитриева. – М.: Граница, 2014. – 608 с.
  7. ШУМЕЙКЕР П. *Модель ожидаемой полезности: разновидности, подходы, результаты и пределы возможностей* // THESIS. – 1994. – №5. – С. 29-80.
  8. ШУМОВ В.В. *Классификация и обзор погранометрических моделей* / Труды ИСА РАН. – 2012. – Т. 62.1. – С. 26-39.
  9. ШУМОВ В.В. *Модели пограничного сдерживания*: монография. – М.: ЛЕНАНД, 2012. – 200 с.
  10. ШУМОВ В. В. *Иерархические и матричные модели пограничной безопасности* / Математическое моделирование. – 2014. – Т. 26. – № 3. – С. 137–148.
  11. ШУМОВ В. В. *Модель социального влияния и ее применение при анализе пограничной безопасности государства* / Управление большими системами. – 2014. – Вып. 47. – С. 125-166.
  12. ШУМОВ В.В. *Модель обоснования направлений сосредоточения усилий пограничной охраны на уровне государства* // Компьютерные исследования и моделирование. – 2019. – Т. 11. – № 1. – С. 187 – 196.

13. HADDAL C.C. *Border Security: The Role of the U.S. Border Patrol*. – Washington D.C.: Library of Congress. Congressional Research Service, 2010. – 40 p.
14. WEIN L. M., LIU Y., MOTSKIN A. *Analyzing the Homeland Security of the U. S.-Mexican Border* // Risk Analysis. – 2009. – Vol. 29. – No 5. – P. 699–713.

## MODELS AND METHODS OF JUSTIFICATION DENSITIES PROVIDING RELIABLE PROTECTION OF THE STATE BORDER

**Vladislav Shumov**, International Research Institute for Advanced Systems, Moscow, Doctor of Sciences, Professor (v.v.shumov@yandex.ru).

*Abstract: Based on the methods of management theory and the doctrine of border security, an approach to justifying security densities that ensure reliable protection of state borders is formulated. Taking into account the provisions of military science and border statistics data, the required probabilities of detaining violators were assigned for three levels of security (high, medium, minimum). For economically motivated border violators, the justification for the required security density is made using models of border deterrence and the aggregated detention function. Using an example, the methodology for substantiating average security densities is considered. For border violators with non-economic motives (sabotage and terrorist groups), their deterrence is ensured by achieving the required probability of their detention (neutralization). In this case, the required security densities are calculated using the functions of border forces and means, analytical and simulation models. A simplified method for calculating the probabilities of apprehending violators is presented. The numerical values of the model parameters are estimated using a sufficient amount of border statistics data. A promising area of research is the formation of a promising image of border units.*

**Keywords:** border security, state border protection, security levels, aggregate detention function, border deterrence, security density, model.

УДК 519.8  
ББК 22.18

Статья представлена к публикации  
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...

Поступила в редакцию ...заполняется редактором...

Опубликована ...заполняется редактором...