

УДК: 519.876.2

## Модель обоснования направлений сосредоточения усилий пограничной охраны на уровне государства

В. В. Шумов

Отделение погранологии Международной академии информатизации,  
Россия, 125040, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 3/5

E-mail: vshum59@yandex.ru

*Получено 24.08.2018, после доработки — 23.09.2018.*

*Принято к публикации 30.09.2018.*

Важнейшим принципом военной науки и пограничной безопасности является принцип сосредоточения основных усилий на главных направлениях и задачах. На тактическом уровне имеется множество математических моделей для вычисления оптимального распределения ресурса по направлениям и объектам, тогда как на уровне государства соответствующие модели отсутствуют. Используя статистические данные о результатах охраны границы США, вычислен параметр пограничной производственной функции экспоненциального типа, отражающий организационно-технологические возможности пограничной охраны. Производственная функция определяет зависимость вероятности задержания нарушителей от плотности пограничников на километр границы. Финансовые показатели в производственной функции не учитываются, поскольку бюджет на содержание пограничников и оборудование границы коррелирует с количеством пограничных агентов. Определена целевая функция пограничной охраны — суммарный предотвращенный ущерб от задержанных нарушителей с учетом их ожидаемой опасности для государства и общества, подлежащий максимизации. Используя условие Слейтера, найдено решение задачи — вычислены оптимальные плотности пограничной охраны по регионам государства. Имея модель распределения ресурсов, на примере трех пограничных регионов США решена и обратная задача — оценены угрозы в регионах по известному распределению ресурсов. Ожидаемая опасность от отдельного нарушителя на американо-канадской границе в 2–5 раз выше, чем от нарушителя на американо-мексиканской границе. Результаты расчетов соответствуют взглядам специалистов по безопасности США — на американо-мексиканской границе в основном задерживаются нелегальные мигранты, тогда как потенциальные террористы предпочитают использовать другие каналы проникновения в США (включая американо-канадскую границу), где риски быть задержанными минимальны. Также результаты расчетов соответствуют сложившейся практике охраны границы: в 2013 г. численность пограничников вне пунктов пропуска на американо-мексиканской границе увеличилась в 2 раза по сравнению с 2001 г., тогда как на американо-канадской границе — в 4 раза. Практика охраны границы и взгляды специалистов дают основания для утверждения о верификации модели.

Ключевые слова: пограничная безопасность, математическая модель, направление сосредоточения усилий, пограничная производственная функция, нарушители государственной границы, ожидаемая опасность, оптимальная плотность охраны, пограничная статистика

UDC: 519.876.2

## The model of the rationale for the focus of border security efforts at the state level

V. V. Shumov

Department borderlogy of International Informatizational Academy,  
3/5 Leningradskiy pr., Moscow, Russia, 125040

E-mail: vshum59@yandex.ru

*Received 24.08.2018, after completion — 23.09.2018.*

*Accepted for publication 30.09.2018.*

The most important principle of military science and border security is the principle of concentrating the main efforts on the main directions and tasks. At the tactical level, there are many mathematical models for computing the optimal resource allocation by directions and objects, whereas at the state level there are no corresponding models. Using the statistical data on the results of the protection of the US border, an exponential type border production function parameter is calculated that reflects the organizational and technological capabilities of the border guard. The production function determines the dependence of the probability of detaining offenders from the density of border guards per kilometer of the border. Financial indicators in the production function are not taken into account, as the border maintenance budget and border equipment correlate with the number of border agents. The objective function of the border guards is defined — the total prevented damage from detained violators taking into account their expected danger for the state and society, which is to be maximized. Using Slater's condition, the solution of the problem was found — optimal density of border guard was calculated for the regions of the state. Having a model of resource allocation, the example of the three border regions of the United States has also solved the reverse problem — threats in the regions have been assessed based on the known allocation of resources. The expected danger from an individual offender on the US-Canada border is 2–5 times higher than from an offender on the US-Mexican border. The results of the calculations are consistent with the views of US security experts: illegal migrants are mostly detained on the US-Mexican border, while potential terrorists prefer to use other channels of penetration into the US (including the US-Canadian border), where the risks of being detained are minimal. Also, the results of the calculations are consistent with the established practice of border protection: in 2013 the number of border guards outside the checkpoints on the US-Mexican border increased by 2 times compared with 2001, while on the American-Canadian border — 4 times. The practice of border protection and the views of specialists give grounds for approval of the verification of the model.

Keywords: border security, mathematical model, focus of efforts, border production function, violators of the state border, expected danger, optimal density of protection, border statistics

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2019, vol. 11, no. 1, pp. 187–196 (Russian).

© 2019 Vladislav V. Shumov

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Unported License.

To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/>  
or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

## 1. Введение

Важнейшим принципом тактики и оперативного искусства является принцип сосредоточения усилий на главном направлении и в решающий момент [Воробьев, Киселев, 2008]. Теория пограничной безопасности опирается на принципы охраны государственной границы: активности, скрытности и внезапности действий, непрерывности охраны границы, комплексного применения сил и средств, сосредоточения основных усилий на главных направлениях и задачах [Шумов, 2013].

Для анализа и оценки эффективности охраны государственной границы математическое моделирование стало применяться примерно с 1960–1970 гг. [Schilling, 1970]. Можно выделить следующие группы математических моделей пограничной безопасности:

- 1) модели пограничной безопасности как составной части государственной (национальной) безопасности; комплексные модели пограничной безопасности [Alesina, Spolaore, 2005; Spolaore, 2009; Wein et al., 2009];
- 2) модели управления пограничными охранно-контрольными мерами:
  - 2.1) по направлению пограничной охраны [Rosenblum, 2013; Schilling, 1970];
  - 2.2) по направлению береговой охраны [Shieh et al., 2012];
  - 2.3) в пунктах пропуска [Pita et al., 2008, 2011];
- 3) модели управления пограничными оперативно-силовыми мерами [Васин, Морозов, 2005; Вентцель, 1972; Гермейер, 1971; Осипов, 1915; Павловский, 1993];
- 4) модели применения пограничных средств [Brown et al., 2006, 2011; Marino, 2009; Washburn, 2010].

На тактическом уровне для поиска оптимальных стратегий обычно вычисляется равновесие Нэша или Штакельберга [Korzhyk et al., 2011]. На уровне региона учитываются плотность приграничного населения и рельеф местности [Wein et al., 2009]. На уровне государства с использованием пограничной статистики оцениваются степень пограничного сдерживания [Willis, 2010] и вероятность задержания нарушителей в отдельных приграничных регионах [Roberts et al., 2013]. Отсутствие математических моделей оптимального распределения пограничных ресурсов на уровне государства (между приграничными регионами) обусловило актуальность настоящего исследования.

## 2. Пограничная производственная функция

Для поддержания требуемого уровня безопасности государство тратит определенные ресурсы (прежде всего людские и организационные) и требует от пограничного ведомства определенного результата. В таблице 1 представлены основные результаты оперативно-служебной деятельности Пограничной и таможенной службы США вне пунктов пропуска [Roberts, 2015]. Для оценки незадокументированных нарушений границы используются две методологии (MMFRP и MMP), основанные на статистических наблюдениях и опросах среди мексиканских домохозяйств и мигрантов [Border, 2009; Roberts, 2015].

По данным таблицы оценен параметр пограничной производственной функции, устанавливающей зависимость вероятности  $p_z$  задержания нарушителей от плотности  $x$  пограничников на километр границы (вне пунктов пропуска) [Шумов, 2011]:

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

где  $\lambda$  — параметр, отражающий технологические и организационные возможности пограничной службы.

Для участка американо-мексиканской границы получено следующее значение параметра:  $\lambda = 0.2$  км/чел. Финансовые показатели в производственной функции не учитываются, поскольку бюджет на содержание пограничников и оборудование границы коррелирует с количеством пограничных агентов. С изменением и развитием технологического уклада в стране параметр  $\lambda$

необходимо заново оценивать, чтобы учитывать возможности перспективных средств, способных внести существенный вклад в повышение результативности охраны границы (роботизированные системы, интеграция межведомственной информации в режиме времени, близком к реальному, и т. д.).

### 3. Модель оптимального распределения ресурсов охраны границы по пограничным регионам

Приграничным регионом будем называть участок сухопутной (речной) границы с конкретным государством. Например, в США имеется три пограничных региона: 1) граница США с Мексикой, 2) граница США с Канадой и 3) граница Аляски с Канадой. Причем в последнем регионе практически отсутствует охрана границы вне пунктов пропуска.

Таблица 1. Возможности и результаты деятельности Пограничной и таможенной службы США

Год	Число пограничников на границе с Мексикой	Число пограничников на границе с Канадой	Вероятность задержания, ММР*	Вероятность задержания, ММFRP**
1980	2500	200	0.35	0.25
1981	2500	200	0.34	0.22
1982	2600	208	0.32	0.27
1983	2600	208	0.32	0.28
1984	2600	208	0.31	0.27
1985	3000	210	0.3	0.31
1986	3100	217	0.3	0.34
1987	3100	217	0.28	0.31
1988	3900	273	0.25	0.33
1989	3900	273	0.24	0.33
1990	3800	266	0.24	0.32
1991	3900	273	0.24	0.32
1992	4100	246	0.24	0.37
1993	4100	246	0.25	0.4
1994	4500	270	0.27	0.43
1995	4800	288	0.28	0.45
1996	5500	330	0.29	0.52
1997	6500	390	0.3	0.5
1998	7500	450	0.32	0.5
1999	8000	480	0.31	0.5
2000	8500	510	0.3	0.49
2001	9000	540	0.31	0.45
2002	9239	492	0.32	0.43
2003	9500	665	0.32	0.44
2004	9400	752	0.33	0.43
2005	10000	900	0.4	0.43
2006	11000	1100	0.44	0.47
2007	13000	1430	0.45	0.54
2008	15500	1705	0.46	0.55
2009	17000	1870	0.5	0.55
2010	17000	1870	0.52	0.56
2011	18400	2024	0.54	0.58
2012	18400	2024		
2013	18462	2212		

\* ММР — Mexican Migration Project.

\* ММFRP — Mexican Migration Field Research Program.

Пусть имеется множество  $N = \{1, \dots, n\}$  приграничных регионов государства. Для  $i$ -го региона ( $i = 1, \dots, n$ ) оцениваются (известны) следующие показатели:

- $v_i > 0$  — ожидаемое количество нарушителей на границе в  $i$ -м регионе;
- $s_i > 0$  — ожидаемая опасность от отдельного нарушителя;
- $d_i > 0$  — протяженность границы в  $i$ -м регионе;
- $\lambda_i > 0$  — параметр пограничной производственной функции в  $i$ -м регионе.

Управляемой переменной является  $y_i \geq 0$  — плотность пограничников в  $i$ -м регионе. Нарушители из сопредельного государства могут нарушить границу на любом участке своего региона. Нарушители из внешних стран (которых меньшинство) могут выбрать любой регион. Определим целевую функцию пограничной охраны государства — предотвращенный ущерб от задержанных нарушителей:

$$F_y(y) = \sum_{i \in N} s_i v_i p_i \rightarrow \max, \quad p_i = 1 - \exp(-\lambda_i y_i), \quad (2)$$

где  $p_i$  — вероятность задержания нарушителей в  $i$ -м регионе;  $y = (y_1, \dots, y_n)$  — вектор управляемых переменных.

На ресурсы пограничников наложено ограничение:

$$\sum_{i \in N} y_i d_i \leq R_y. \quad (3)$$

Рассмотрим эквивалентную задачу выпуклой оптимизации известного вида:

$$f_y(y) = \sum_{i \in N} s_i v_i \exp(-\lambda_i y_i) \rightarrow \min, \quad \sum_{i \in N} y_i d_i - R_y \leq 0, \quad -y_i \leq 0, \quad (4)$$

с функцией Лагранжа (задача удовлетворяет условию Слейтера):

$$L(y, \mu) = \sum_{i \in N} s_i v_i \exp(-\lambda_i y_i) + \mu_0 \left( \sum_{i \in N} y_i d_i - R_y \right) - \sum_{i \in N} \mu_i y_i. \quad (5)$$

Для нахождения решения записывается система

$$-s_i v_i \lambda_i \exp(-\lambda_i y_i) + \mu_0 d_i - \mu_i = 0, \quad i \in N, \quad (6)$$

$$\mu_0 \left( \sum_{i \in N} y_i d_i - R_y \right) = 0, \quad \mu_i y_i = 0, \quad i \in N, \quad (7)$$

$$\mu_0 \geq 0, \quad \mu_i \geq 0, \quad \sum_{i \in N} y_i d_i - R_y \leq 0, \quad -y_i \leq 0, \quad i \in N. \quad (8)$$

Учитывая свойство показательной функции (ее значения всюду положительны), из (6) следует, что  $\mu_0 > 0$ . Следовательно, условие (3) выполняется как равенство

$$\sum_{i \in N} y_i d_i = R_y. \quad (9)$$

Из (6) и с учетом неотрицательности управляемой переменной находим

$$y_i = \max \left[ 0, \frac{1}{\lambda_i} \ln \left( \frac{s_i v_i \lambda_i}{\mu_0 d_i - \mu_i} \right) \right], \quad \mu_0 d_i - \mu_i > 0, \quad i \in N. \quad (10)$$

Далее рассмотрим два случая. **Первый случай:** для некоторых  $i \in I_0 \subset N$  выполняются условия

$$\frac{s_i v_i \lambda_i}{\mu_0 d_i - \mu_i} \leq 1, \quad y_i = 0, \quad i \in I_0. \quad (11)$$

**Второй случай** (с учетом равенства  $\mu_i y_i = 0$  или  $\mu_i = 0$ ):

$$\frac{s_i v_i \lambda_i}{\mu_0 d_i} > 1, \quad y_i > 0, \quad i \notin I_0. \quad (12)$$

Поскольку второй случай всегда имеет место (множество  $I_0 \setminus N$  не пусто), то из условия (9) находим:

$$\sum_{i \in I_0} \frac{d_i}{\lambda_i} \ln \left( \frac{a_i}{\mu_0} \right) = R_y, \quad a_i = \frac{s_i v_i \lambda_i}{d_i}, \quad (13)$$

или

$$\ln \frac{1}{\mu_0} = \frac{R_y - \sum_{i \in I_0} \frac{d_i \ln a_i}{\lambda_i}}{\sum_{i \in I_0} \frac{d_i}{\lambda_i}}. \quad (14)$$

Подставив последнее выражение в (10), получим

$$y_i^* = \frac{1}{\lambda_i} \left( \frac{R_y - \sum_{i \in I_0} \frac{d_i \ln a_i}{\lambda_i}}{\sum_{i \in I_0} \frac{d_i}{\lambda_i}} + \ln a_i \right), \quad a_i = \frac{s_i v_i \lambda_i}{d_i}, \quad i \notin I_0. \quad (15)$$

Если значение параметра производственной функции — константа ( $\lambda_i = \lambda, i \in N$ ), то последнее выражение упрощается:

$$y_i^* = \frac{\lambda R_y - \sum_{i \in I_0} d_i (\ln s_i v_i \lambda - \ln d_i)}{\lambda \sum_{i \in I_0} d_i} + \frac{1}{\lambda} (\ln s_i v_i \lambda - \ln d_i), \quad i \notin I_0. \quad (16)$$

Алгоритм поиска оптимального решения может быть следующим. Перенумеруем регионы в порядке убывания значений параметра  $a_i$  и положим  $i = 0, R_i = 0$ .

Шаг 1. Увеличиваем значение  $i$  на единицу.

Шаг 2. Вычисляем по формуле (15) значение плотности охраны в  $i$ -м регионе.

Шаг 3. Если значение  $y_i^*$  отрицательно, то для текущего  $i$  и всех последующих полагаем  $y_i^* = 0$  и вычисления заканчиваем. Иначе переходим к шагу 4.

Шаг 4. Выполняем присваивание:  $R_i = R_i + y_i^*$  и возвращаемся к шагу 1.

При следующих исходных данных:  $d_1 = d_2 = 6\,000$  км,  $R_y = 20\,000$  чел.,  $\lambda = 0.2$ ,  $v_1 = 1\,000\,000$ ,  $v_2 = 100\,000$ ,  $s_2 = 30$  построен график зависимости вероятностей задержания нарушителей в регионах  $p_1$  и  $p_2$ , потребного количества пограничников в 1-м регионе от ожидаемой опасности нарушителей в 1-м регионе (рис. 1).

Из рисунка видно, что при увеличении опасности от нарушителя 1-го региона с 1 до 10 существенно меняется построение системы охраны границы государства (количество пограничников в 1-м регионе увеличивается с 1760 чел. до 19 030 чел.).

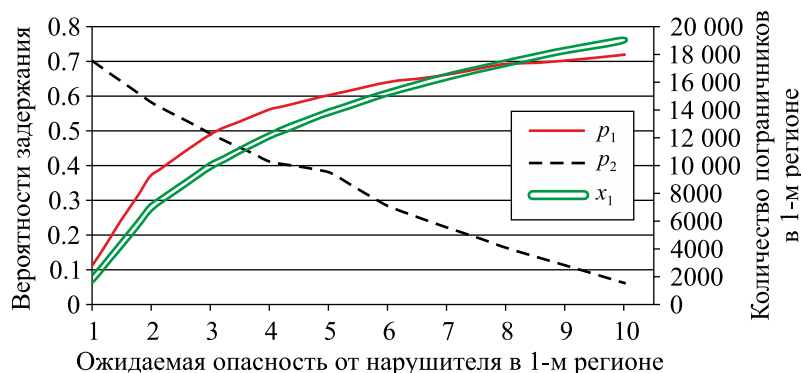


Рис. 1. Распределение усилий между регионами в зависимости от опасности нарушителей

**Методы и методики оценки ожидаемой опасности.** Отметим, что решение задачи (4) не изменится, если изменить масштаб ожидаемой опасности  $s_i$  от отдельного нарушителя, т. е. умножить все ожидаемые опасности на некоторое неотрицательное число. Следовательно, опасности  $s_i$  достаточно вычислять не в абсолютной шкале, а в шкале отношений, т. е. наряду с количественными оценками допустимы и качественные оценки.

Применительно к государственной границе США исследователями и практиками выделяются три основные группы нарушителей границы: 1) террористы; 2) криминальные группировки, занимающиеся контрабандой наркотиков и других опасных грузов; 3) нелегальные мигранты [Willis et al., 2010; Rosenblum et al., 2013].

В 2012 г. около 19 % средств государственной программы обеспечения национальной безопасности США выделены как минимально гарантированные штатам и территориям суммы, остальные средства распределялись на основе риск-менеджмента и оценки ожидаемой эффективности. С 2011 г. Служба пограничного и таможенного контроля использует программу DHS Risk Lexicon для управления рисками. Для оценки последствий угроз используются следующие категории: гибель людей, травмы и болезни, прямые экономические издержки, социальные издержки, психические расстройства и воздействия на окружающую среду [Rosenblum et al., 2013].

В таблице 2 показаны основные элементы оценки рисков и угроз в пограничной сфере [Rosenblum et al., 2013].

Таблица 2. Основные элементы оценки рисков и угроз

№	Элемент оценки	Частота (вероятность)	Возможные последствия
1	Террористы, связанные с ввозом контрабанды и использованием оружия массового поражения (ОМП)	Маловероятно, есть множество преград	Возможны десятки тысяч смертей, экономический ущерб — до 1 трлн \$
2	Террористы, въезжающие в страну без оружия	Маловероятно	Возможно множество смертей, ожидаемый ущерб — 40–120 млрд \$
3	Преступная сеть контрабанды наркотиков	За год совершается около 20 000 изъятий наркотиков	Экономический ущерб от употребления наркотиков оценивается примерно в 190 млрд \$
4	Преступная сеть контрабанды контрафактных товаров	За год совершается около 25 000 изъятий контрафактных товаров	Стоимость нарушений прав интеллектуальной собственности от изъятых контрафактных товаров, захваченных СВР, оценивается в 178 млн \$. Некоторые товары могут представлять угрозу для жизни и здоровья граждан
5	Нелегальная миграция	В 2011 г. было задержано около 340 тыс. нелегальных мигрантов	Собственно экономический ущерб близок к нулю. Социальные издержки от изменения этнической и языковой структуры населения не всеми исследователями учитываются

Исследователями отмечается, что ввиду сложности процессов обеспечения национальной и пограничной безопасности, несмотря на наличие методик, не существует объективной оценки относительной важности различных угроз на границе. Тем не менее сложность и субъективность оценок угроз и их последствий не уменьшают значимости реальных угроз и не отменяют необходимости своевременной реакции на них, например, за счет использования качественных оценок (оценок в порядковой шкале).

Поскольку результаты оценки угроз и ожидаемых опасностей от нарушителей границы не всегда имеются в публичном доступе, представляется актуальной и важной *обратная задача*: оценка угроз в регионах по известному распределению пограничных ресурсов.

**Пример 1.** Имеется три региона сухопутной границы США: граница с Мексикой ( $i = 1$ ), граница с Канадой ( $i = 2$ ) и граница Аляски с Канадой ( $i = 3$ ), которая практически не охраняется. Протяженности участков сухопутной границы:  $d_1 = 3200$  км и  $d_2 = 6400$  км. Для охраны границы вне пунктов пропуска имеется  $R_y$  пограничников (таблица 1).

Таблица 3. Количество задержанных нарушителей границы

Год	Количество задержанных нарушителей на американо-мексиканской границе, тыс. чел.	Количество задержанных нарушителей на американо-канадской границе, тыс. чел.	Вероятность $p_1$	Вероятность $p_2$	Отношение ожидаемых опасностей $s_1/s_2$
2000	1630	11.3	0.41	0.02	0.30
2001	1300	11.7	0.43	0.02	0.38
2002	950	9.6	0.44	0.02	0.48
2003	910	10.1	0.45	0.02	0.40
2004	1150	10	0.44	0.02	0.27
2005	1180	7.5	0.46	0.03	0.17
2006	1050	6.8	0.50	0.03	0.15
2007	900	6.4	0.56	0.04	0.14
2008	800	8.0	0.62	0.05	0.18
2009	600	6.8	0.65	0.06	0.19

В таблице 3 показано количество задержанных нарушителей на американо-мексиканской и американо-канадской границе [Border, 2009].

Полагая, что в период с 2005–2009 гг. параметр производственной функции одинаков для всех регионов и равен  $\lambda = 0.2$ , найдем ожидаемое количество нарушителей в  $i$ -м регионе для конкретного года:

$$v_i = \frac{z_i}{p_i} = \frac{z_i}{1 - \exp(-\lambda y_i)}, \quad (17)$$

где  $z_i$  — количество задержанных нарушителей  $i$ -м регионе по расчетному году (таблица 2),  $y_i$  — плотность пограничников  $i$ -м регионе по расчетному году (по данным таблицы 1).

Из выражения (15) находим ( $I_0 = \{3\}$ ):

$$\ln \left( \frac{(s_1 v_1 \lambda)^{d_1} (s_2 v_2 \lambda)^{d_2}}{(s_i v_i \lambda)^D} \right) = A_i, \quad i = 1, 2, \quad (18)$$

$$A_i = d_1 \ln d_1 + d_2 \ln d_2 + \lambda R_y - D \ln d_i - y_i^* \lambda D, \quad D = \sum_{i \in I_0} d_i = d_1 + d_2, \quad i = 1, 2.$$

При  $i = 2$  получим

$$\frac{s_1}{s_2} = \exp \left( \frac{A_2 - d_1 \ln(v_1 / v_2)}{d_1} \right), \quad A_2 = d_1 \ln d_1 + d_2 \ln d_2 + \lambda R_y - D \ln d_2 - y_2^* \lambda D. \quad (19)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 2. Ожидаемая опасность от отдельного нарушителя выше на американо-канадской границе, поскольку там доля нелегальных мигрантов невелика, но вместе с тем возможны действия террористов [Haddal, 2010]. В 2013 г. численность пограничников вне пунктов пропуска на американо-мексиканской границе увеличилась в 2 раза по сравнению с 2001 г., тогда как на американо-канадской границе — в 4 раза.

Таким образом, результаты моделирования отражают сложившиеся среди специалистов по пограничной безопасности взгляды и соответствуют практике охраны границы вне пунктов пропуска.

## 4. Заключение

Важнейшей научной и практической задачей является задача оптимального распределения ограниченных ресурсов охраны границы по пограничным регионам.



На примере пограничной охраны США оценен параметр пограничной производственной функции, отражающий организационно-технологические возможности пограничников по задержанию нарушителей границы.

Определена целевая функция пограничной охраны — суммарный предотвращенный ущерб от задержанных нарушителей с учетом их ожидаемой опасности для государства и общества, подлежащий максимизации. Используя условие Слейтера, найдено решение задачи — оптимальные плотности пограничной охраны по регионам государства.

Имея модель распределения ресурсов, на примере трех пограничных регионов США решена и обратная задача — оценены угрозы в регионах по известному распределению ресурсов.

В 2000–2009 гг. на американо-мексиканской границе ежегодно задерживалось 600–1600 тыс. нарушителей границы, на американо-канадской — 6–12 тыс. нарушителей. В 2009 г. плотность пограничников на американо-мексиканской границе была равной 5.3 чел./км, на американо-канадской — 0.29 чел./км. Ожидаемая опасность от отдельного нарушителя на американо-канадской границе в 2–5 раз выше, чем от нарушителя на американо-мексиканской границе. Результаты расчетов соответствуют взглядам специалистов по безопасности США — на американо-мексиканской границе в основном задерживаются нелегальные мигранты, тогда как потенциальные террористы предпочитают использовать другие каналы проникновения в США (включая американо-канадскую границу), где риски быть задержанными минимальны. Также результаты расчетов соответствуют сложившейся практике охраны границы: в 2013 г. численность пограничников вне пунктов пропуска на американо-мексиканской границе увеличилась в 2 раза по сравнению с 2001 г., тогда как на американо-канадской границе — в 4 раза. Практика охраны границы и взгляды специалистов дают основания для утверждения о верификации модели.

Автор признателен за конструктивные и ценные замечания рецензентов, позволившие существенно улучшить содержание и качество изложения материала.

## Список литературы (References)

- Васин А. А., Морозов В. В.* Теория игр и модели математической экономики: учебное пособие. — М.: Макс-Пресс, 2005. — 278 с.  
*Vasin A. A., Morozov V. V.* Teoriya igr i modeli matematicheskoy ehkonomiki: uchebnoe posobie. — Moscow: Maks-Press, 2005. — 278 p.
- Вентцель Е. С.* Исследование операций. — М.: Советское радио, 1972. — 552 с.  
*Ventcel' E. S.* Issledovanie operacij. — Moscow: Sovetskoe radio, 1972. — 552 p.
- Воробьев И. Н., Киселев В. Л.* Эволюция принципов военного искусства // Военная мысль. — 2008. — № 8. — С. 2–8.  
*Vorob'ev I. N., Kiselev V. L.* Evolyuciya principov voennogo iskusstva // Voennaya mysl'. — 2008. — No. 8. — P. 2–8.
- Гермейер Ю. Б.* Введение в теорию исследования операций. — М.: Наука, 1971. — 384 с.  
*Germejer Yu. B.* Vvedenie v teoriyu issledovaniya operacij. — Moscow: Nauka, 1971. — 384 p.
- Осипов М. П.* Влияние численности сражающихся сторон на их потери // Военный сборник. — 1915. — № 6. — С. 59–74; № 7. — С. 25–36; № 8. — С. 31–40; № 9. — С. 25–37.  
*Osipov M. P.* Vliyanie chislennosti srazhayushchihsya storon na ih poteri // Voennyj sbor-nik. — 1915. — No. 6. — P. 59–74; No. 7. — P. 25–36; No. 8. — P. 31–40; No. 9. — P. 25–37.
- Павловский Ю. Н.* О факторе Л. Н. Толстого в вооруженной борьбе // Математическое моделирование. — 1993. — Т. 5, № 1. — С. 3–15.  
*Pavlovskij Yu. N.* O faktore L. N. Tolstogo v vooruzhennoj bor'be // Matematicheskoe modelirovanie. — 1993. — Vol. 5, No. 1. — P. 3–15.
- Шумов В. В.* Производственные функции в погранометрике // Теория активных систем: тр. междунар. конф. Т. 1. — М.: ИПУ РАН, 2011. — С. 219–225.  
*Shumov V. V.* Proizvodstvennyye funkicii v pogramometrike // Teoriya aktivnyh system: tr. mezhdunar. konf. Vol. 1. — Moscow: IPU RAN, 2011. — P. 219–225.

- Шумов В. В.* Введение в методологию погранологии и погранометрики / под ред. и с предисл. В. А. Дмитриева. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. — 200 с.  
*Shumov V. V.* Vvedenie v metodologiyu pogramologii i pogramometriki / Pod red. i s predisl. V. A. Dmitrieva. — Moscow: Knizhnyj dom “LIBROKOM”, 2013. — 200 p.
- Шумов В. В.* Иерархические и матричные модели пограничной безопасности // Математическое моделирование. — 2014. — Т. 26, № 3. — С. 137–148.  
*Shumov V. V.* Ierarhicheskie i matrichnye modeli pogramichnoj bezopasnosti // Matematicheskoe modelirovanie. — 2014. — Vol. 26, No. 3. — P. 137–148.
- Alesina A., Spolaore E.* War, Peace and the Size of Countries // Journal of Public Economics. — 2005. — No. 89 (7). — P. 1333–1354.
- Border S.* Estimates of the Cyclical Inflow of Undocumented Migrants to the United States // The Center for Comparative Immigration Studies University of California, San Diego. Working Paper. — 2009. — 49 p.
- Brown G., Carlyle M., Salmeron J., Wood K.* Defending Critical Infrastructure // Interfaces. — 2006. — Vol. 36, No. 6. — P. 530–544.
- Brown G., Carlyle M., Abdul-Ghaffar A., Kline J. A* Defender-Attacker Optimization of Port Radar Surveillance // Naval Research Logistics. — 2011. — Vol. 58. — P. 223–235.
- 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.
- Korzhyk D., Yin Z., Kiekintveld C., Conitzer V., Tambe M.* Stackelberg vs. Nash in Security Games: An Extended Investigation of Interchangeability, Equivalence, and Uniqueness // Journal of Artificial Intelligence Research. — 2011. — No. 41. — P. 297–327.
- Marino A., Parker L. E., Antonelli G., Caccavale F., Chiaverini S.* A fault-tolerant modular control approach to multi-robot perimeter patrol // IEEE International Conference. — 2009. — P. 735–740.
- Pita J., Jain M., Western C., Portway C., Tambe M., Ordonez F., Kraus S., Paruchuri P.* Deployed ARMOR protection: The application of a game theoretic model for security at the Los Angeles International Airport // Proc. of AAMAS. — 2008. — P. 125–132.
- Pita J., Tambe M., Kiekintveld C., Cullen S., Steigerwald E.* GUARDS - Game Theoretic Security Allocation on a National Scale // Proc. of AAMAS. — 2011. — P. 37–44.
- Roberts B.* Measuring the Metrics: Grading the Government on Immigration Enforcement. — Washington: Bipartisan Policy Center, 2015. — 72 p.
- Roberts B., Alden E., Whitley J.* Managing Illegal Immigration to the United States. How Effective Is Enforcement? — CFR, 2013. — 76 p.
- Rosenblum M. R.* Border Security: Immigration Enforcement Between Ports of Entry // Congressional Research Service. — 2013. — 43 p.
- Rosenblum M. R., Bjelopera J. P., Finklea K. M.* Border Security: Understanding Threats at U.S. Borders. — Washington D.C.: Library of Congress. Congressional Research Service, 2013. — 30 p.
- Schilling G. F.* Analytic Model of Border Control // Rand Corporation, Santa Monica, California, RM-6250-ARPA. — 1970. — 60 p.
- Shieh E., An B., Yang R., Tambe M., Baldwin C., DiRenzo J., Maule B., Meyer G.* PROTECT: A deployed game theoretic system to protect the ports of the United States // The 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS). — 2012. — URL: [http://www.ifaamas.org/Proceedings/aamas2012/papers/1A\\_1.pdf](http://www.ifaamas.org/Proceedings/aamas2012/papers/1A_1.pdf) (дата обращения: 01.04.2018).
- Spolaore E.* National Borders, Conflict and Peace. — CESifo Working Paper No 2860, 2009. — 53 p.
- Washburn A. R.* Barrier Games // Military Operations Research. — 2010. — No. 15 (3). — P. 31–41.
- 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.
- Willis H. H., Predd J. B., Davis P. K., Brown W. P.* Measuring the Effectiveness of Border Security Between Ports-of-Entry. — Santa Monica: RAND Corporation, Homeland Security and Defense Center, 2010. — 48 p.