

УДК 519.876.2

ББК 32.81

ИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ УРОВНЕЙ ПОГРАНИЧНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Шумов В.В.¹

(Пограничная академия ФСБ России, Москва)

В статье рассматривается информационно-математическая модель, позволяющая вычислять критерий эффективности охраны границы – математическое ожидание предотвращенного ущерба. Также эта модель может быть использована для прогнозирования интенсивности нарушений границы.

Ключевые слова: эффективность охраны границы, пограничные средства, информационно-математическая модель, информационное управление.

Введение

Важнейшими проблемами строительства пограничной службы, придания ей нового облика, ее адаптации к современным реалиям, адекватного реагирования на угрозы и вызовы являются проблемы поиска оптимальных уровней пограничной безопасности.

Пограничная служба должна обеспечивать эффективное выполнение заключенных между сопредельными государствами двусторонних договоров о режиме границы и выполнять барьерную и фильтрующую функции. Минимальные плотности сил и средств охраны границы должны быть таковы, чтобы выполнялись требования договоров о режиме границы и не был утрачен контроль за пересечениями границы (вероятность обнаружения или задержания нарушителей не ниже 0,2-0,3).

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

Учитывая большую протяженность сухопутных, речных и морских границ, для эффективного обеспечения барьерной и фильтрующей функций требуются значительные финансовые и людские ресурсы.

В этой связи представляется актуальной проблема обоснования необходимых уровней (критериев) обеспечения безопасности государства в пограничном пространстве.

В настоящей статье количественно оцениваются некоторые факторы, влияющие на интенсивность потока нарушений границы. На основании полученной модели даются рекомендации, направленные на повышение эффективности действий пограничной службы.

1. Классификация и характеристика субъектов воздействия пограничной службы

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

Второе основание для классификации СВ – степень знания ими системы охраны границы (общее знание). По данному основанию можно выделить следующие классы СВ:

- СВ с публичным общим знанием: изучение законодательства (Закон об охране границы, Уголовный кодекс и т.д.), комментариев государственных органов власти и публикаций СМИ о состоянии, способах и результатах охраны границы и т.п.;
- СВ, лично изучающие систему охраны границы;
- СВ, находящие и использующие для изучения системы охраны границы пособников (проводников);
- СВ, получающие знания и инструкции от организаторов и/или выгодоприобретателей.

Третье основание для классификации СВ – вид правонарушения. По данному основанию выделим следующие классы СВ:

- СВ, нарушающие правила режима границы;

- СВ, нарушающие правила пограничного режима;
 - СВ, нарушающие правила режима в пунктах пропуска и т.д.
- Четвертое основание* для классификации СВ – вид юридической ответственности за совершенное правонарушение. По видам юридической ответственности выделим следующие классы СВ:

- СВ, деяния которых влекут дисциплинарную ответственность;
- СВ, деяния которых влекут административную ответственность;
- СВ, деяния которых влекут уголовную ответственность и т.д.

Пятое основание для классификации – степень государственной (общественной) опасности. По данному основанию обычно выделяются следующие классы СВ:

- Террористы;
- СВ, занимающиеся контрабандой оружия;
- СВ, занимающиеся контрабандой наркотических средств;
- СВ, занимающиеся экономической контрабандой;
- Незаконные мигранты;
- СВ, ведущие незаконную деятельность вблизи границы и т.д.

Шестое основание для классификации – ожидаемый доход. По данному основанию СВ различаются:

- СВ, действующие не из материальной выгоды (под влиянием внушения со стороны других лиц, из моральных соображений и т.д.);
- СВ, действующие исходя из материальной выгоды.

Седьмое основание для классификации – направление действий. По данному основанию выделим:

- СВ, пересекающие границу с нашей стороны;
- СВ, пересекающие границу со стороны сопредельного государства в наш тыл;
- СВ, действующие вблизи границы на небольшую глубину (сельскохозяйственные работы и т.д.).

Восьмое основание классификации – способы воздействия со стороны пограничной службы. По данному основанию выделим:

- СВ, на которых оказывается непосредственное (физическое, юридическое и т.д.) воздействие;
- СВ, на которых оказывается информационное воздействие (информационное управление);
- СВ, на которых оказывается рефлексивное воздействие (рефлексивное управление).

С учетом перечисленных классификаций разделим субъекты воздействия на n групп, по ходу текста определяя необходимые атрибуты i -й группы ($i = 1, \dots, n$). Очевидно, что чем большее число групп мы введем в рассмотрение, тем точнее будут полученные результаты. С другой стороны, число групп ограничено сверху доступными для анализа статистическими данными (часть отсутствующих данных можно получить в результате экспертных опросов).

Рассматриваются и другие основания для классификации СВ: степень их опасности при задержании, способы преодоления контролируемого рубежа, способы взаимодействия с силами и средствами охраны границы и т.д., учитываемые в математических моделях оценки эффективности охраны границы.

2. Описание информационно-математической модели

Существующие математические модели для оценки эффективности охраны границы пограничными заставами [1] имеют сложные аналитические и алгоритмические зависимости, поскольку учитывают данные электронных карт о рельефе местности, реальные конфигурации рубежей и множество различных факторов. При решении многих задач верхнего уровня (обоснование штатов и комплектов технических средств и др.) подробными моделями пользоваться нецелесообразно, желательно иметь простую аналитическую модель вида:

$$(1) \quad p_{zi} = 1 - e^{-k_{0i} y_0},$$

где: p_{zi} – вероятность задержания нарушителя границы i -й группы,

y_0 – совокупная стоимость владения средствами охраны границы и расходы на содержание персонала ($y_0 > 0$),

k_{0i} – параметр распределения для СВ i -й группы, $k_{0i} > 0$.

Оценку параметра распределения k_{0i} можно получить в результате отсеивающих экспериментов и факторного планирования [2].

Американский экономист М. Сесновиц [3] в 1972 г. предложил формулу для расчета чистого дохода RS_i преступника i -й группы:

$$(2.1) \quad RS_i = (1 - p_i) S_i + p_i (S_i - D_i) = S_i - p_i D_i,$$

где: $p_i = p_{si} p_{zi}$ – вероятность задержания и наказания преступника i -й группы,

p_{si} – вероятность наказания преступника i -й группы в случае его задержания,

S_i – доход преступника i -й группы (за год или иной срок, рассчитывается по стране и месту его постоянного проживания),

D_i – денежная величина потерь в случае наказания.

Г. Беккер [3] предложил использовать ожидаемую полезность от совершения правонарушения i -й группы:

$$(2.2) \quad R_i = (1 - p_i) \varphi(S_i) + p_i \varphi(S_i - D_i) = \varphi(S_i - p_i D_i),$$

где: $\varphi(.)$ – функция полезности преступника.

Примем гипотезу о линейности функции полезности преступника (субъекта воздействия). Тогда выражение (2.2) можно переписать в виде:

$$(2.3) \quad R_i = \max(r_i (S_i - p_i D_i) + d_i, 0),$$

где r_i и d_i – параметры линейной функции полезности преступника i -й группы.

Содержательно увеличение значения параметра d_i ($d_i > 0$) отражает стремление СВ к риску, уменьшение его значения ($d_i < 0$) – занижение доходности. При $r_i > 1$ завышается ожидаемый доход, при $r_i < 1$ – занижается.

Очевидно, что если ожидаемая полезность преступления ниже ожидаемой полезности законной деятельности $\bar{R}_i \geq 0$, то СВ будут стремиться выбрать законную деятельность.

Сформулируем *гипотезу о решающем правиле*. Будем полагать, что доля q_i потенциальных преступников, отказывающихся от преступной деятельности, равна:

$$(3) \quad q_i = \frac{\bar{R}_i}{R_i + \bar{R}_i}.$$

Например, если ожидаемый доход от легальной деятельности равен 60 единиц, доход от преступной деятельности – 100, то СВ с вероятностью $60/(100+60) = 0,375$ выберет легальную деятельность и с вероятностью 0,625 – преступную.

Для СВ, действующих не из материальной выгоды, под ожидаемой полезностью преступления будем понимать ее моральную полезность, под величиной $\bar{R}_i$ – полезность невыбранной преступной деятельности.

Интенсивность потенциальных правонарушений A можно считать величиной постоянной (в течение некоторого периода времени – нескольких лет или десятилетий):

$$A = \sum_{i=1}^n A_i$$

где: A_i – потенциальная интенсивность нарушений i -й группы.

Получить оценку интенсивности правонарушений (в целом и по группам) можно статистическим путем. В условиях существующих расходов на охрану границы следует вычислить оценку вероятности задержания нарушителей границы p_{z0} с использованием имеющихся математических моделей [1]. Тогда оценка интенсивности правонарушений будет равна

$$A_0 = \frac{z_0}{p_{z0}},$$

где: z_0 – количество задержанных нарушителей за некоторый период времени (например, за год).

Предположим, что субъекты воздействия не переходят из одной группы в другую, то есть матрица вероятностей переходов является единичной матрицей:

$$\mathbf{B} = \|b_{ij}\| = \mathbf{E}; \quad b_{ij} = 0, \quad i \neq j; \quad b_{ij} = 1, \quad i = j;$$

где: b_{ij} – вероятность перехода СВ из i -й группы в j -ю.

Субъекты воздействия в каждой i -й группе могут выбирать свою стратегию исходя только из личной оценки ситуации (они не подвержены внешним информационным воздействиям) или ее оценки своим организатором. Таких СВ отнесем к 1-му типу. СВ 2-го типа будем считать субъектов, выбирающих свою стратегию под воздействием внешней информации о состоянии эффективности охраны границы. Для каждой i -й группы обозначим $0 \leq \alpha_i \leq 1$ – долю субъектов 1-го типа.

Информационное управление субъектами 2-го типа может быть направленным на формирование у них представлений, что:

- Вероятность наказания преступника i -й группы в случае его задержания равна $p_{si1} > p_{si}$ (т.е. выше реальной вероятности) – управление 1-го вида;
- Вероятность задержания нарушителей i -й группы равна $p_{zi2} > p_{zi}$ (выше реальной вероятности задержания) – управление 2-го вида.

В общем случае расходы на информационное управление 1-го y_1 и 2-го видов y_2 могут состоять из двух составляющих:

- постоянная составляющая расходов Δy_1 и Δy_2 , направленная на управление субъектами всех групп и
- переменная (адресная) составляющая расходов Δy_{1i} и Δy_{2i} , направленная на управление субъектами i -й группы,

причем

$$(4) \quad y_1 = \Delta y_1 + \sum_{i=1}^n \Delta y_{1i}, \quad y_2 = \Delta y_2 + \sum_{i=1}^n \Delta y_{2i}.$$

Полагая, что расходы на информационное управление возрастают с увеличением разницы между представляемой эффективностью охраны границы и реальной, примем следующую гипотезу зависимости затраченных средств от представляемой эффективности (рис. 1):

$$(5) \quad \Delta y_{1i} + \Delta y_1 = k_{1i} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi(p_{si1} - p_{si})}{2(1 - p_{si})} \right),$$

где: $\Delta y_{1i} + \Delta y_1$ – расходы на информационное управление 1-го вида, направленные на СВ i -й группы,

$k_{1i} > 0$ – переводной коэффициент (стоимость условной единицы управления),

$$p_{si} < p_{si1} < 1.$$

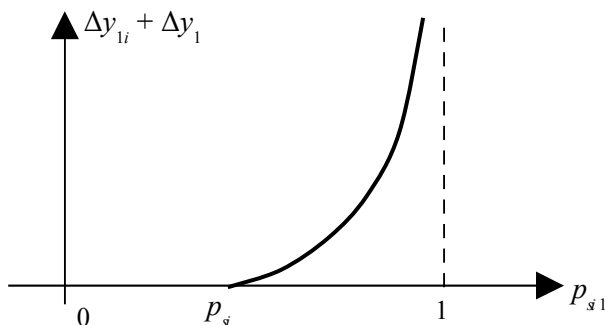


Рис. 1. Зависимость расходов на информационное управление от значения информационной вероятности

Тогда эффективность управления 1-го вида равна:

$$(6) \quad p_{si1} = \frac{2}{\pi} (1 - p_{si}) \arctg \frac{\Delta y_{1i} + \Delta y_1}{k_1} + p_{si}$$

Для эффективности управления 2-го вида получим аналогичное выражение:

$$(7) \quad p_{zi2} = \frac{2}{\pi} (1 - p_{zi}) \arctg \frac{\Delta y_{2i} + \Delta y_2}{k_2} + p_{zi},$$

где: $\Delta y_{2i} + \Delta y_2$ – расходы на информационное управление 2-го вида, направленные на СВ i -й группы,

$k_2 > 0$ – переводной коэффициент (стоимость условной единицы управления),

$$p_{zi} < p_{zi2} < 1.$$

Предположим, что ущерб государству и обществу от действий правонарушителей пропорционален их доходу. Тогда ущерб от СВ i -й группы:

$$(8) \quad u_i = k_{gi} S_i x_i,$$

где: $k_{gi} > 0$ – коэффициент ущерба от одной единицы дохода СВ i -й группы,

x_i – интенсивность нарушений СВ i -й группы.

Предотвращенный ущерб U_i от действий СВ i -й группы вычисляется по формуле:

$$(9) \quad U_i = k_{gi} S_i (A_i - x_i) = k_{gi} S_i A_i q_i = \\ = k_{gi} S_i A_i (\alpha_i q_i^{(1)} + (1 - \alpha_i) q_i^{(2)}),$$

где: $q_i^{(1)}$, $q_i^{(2)}$ – доля СВ, соответственно, 1-го и 2-го типа i -й группы, отказывающихся от преступной деятельности.

СВ 1-го типа неподвержены информационному управлению, следовательно, с учетом выражения (3), соответствующая доля равна:

$$(10) \quad q_i^{(1)} = \frac{\bar{R}_i}{\bar{R}_i + R_i^{(1)}}, \quad R_i^{(1)} = \max(r_i(S_i - p_i D_i) + d_i, 0).$$

Для СВ 2-го типа соответствующая доля равна:

$$(11) \quad q_i^{(2)} = \frac{\bar{R}_i}{\bar{R}_i + R_i^{(2)}}, \quad R_i^{(2)} = \max(r_i(S_i - p_{si1} p_{zi2} D_i) + d_i, 0).$$

Для оценки эффективности охраны границы и информационного управления субъектами воздействия можно использовать критерий максимизации предотвращенного ущерба (за вычетом расходов):

$$(12) \quad W = \sum_{i=1}^n U_i - y_0 - \left(\Delta y_1 + \sum_{i=1}^n \Delta y_{1i} \right) - \left(\Delta y_2 + \sum_{i=1}^n \Delta y_{2i} \right).$$

В приложении № 1 описана упрощенная методика оценки влияния погрешностей исходных данных на результаты расчетов.

3. Анализ модели на примере

В приложении № 2 представлены условные исходные данные примера для двух групп нарушителей – контрабандистов и нелегальных мигрантов.

На рис. 2 показана зависимость эффективности охраны границы (сплошная линия) и вероятности задержания (пунктирная линия) нарушителей в зависимости от расходов на охрану границы в условиях отсутствия информационного управления (при $y_1 = y_2 = 0$).

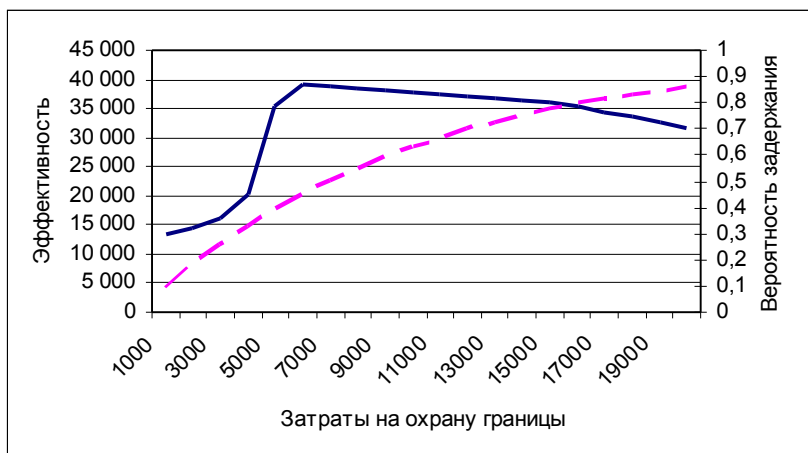


Рис. 2. Эффективность охраны границы и вероятность задержания нарушителей

Из рисунка видно, что при вероятности задержания нарушителей границы выше 0,45 эффективность охраны (предотвращенный ущерб за вычетом расходов на охрану границы) начинает уменьшаться.

На рис. 3 показан график зависимости интенсивности нарушений границы (НГ-1 – контрабандисты, НГ-2 – нелегальные мигранты) от вероятности задержания нарушителей.

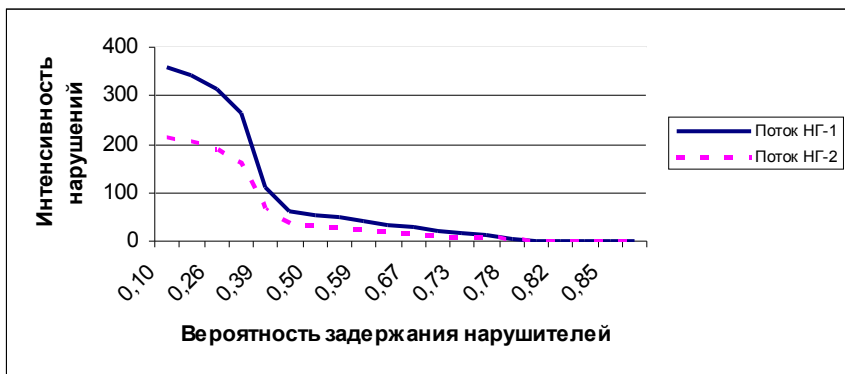


Рис. 3. Зависимость потока нарушений границы от вероятности задержания нарушителей

Резкий спад потока нарушений происходит на интервале вероятности задержания от 0,3 до 0,5.

В условиях информационного управления СВ ($y_1 = y_2 = 500$) график зависимости интенсивности нарушений границы от вероятности задержания примет вид, показанный на рис. 4.



Рис. 3. Зависимость потока нарушений границы от вероятности задержания нарушителей в условиях информационного управления

То есть в условиях примера информационное управление привело к тому, что потенциальные нелегальные мигранты практически полностью отказались от незаконной деятельности.

4. Перспективные исследования

В настоящей статье не рассмотрено рефлексивное управление [5] субъектами воздействия, имеющее важное теоретическое и практическое значение для пограничной службы.

Актуальной задачей является разработка оптимизационной модели распределения имеющихся ресурсов по задачам управления субъектами воздействия (непосредственное и информационное управления).

Заключение

Практическое использование полученной модели позволит создать предпосылки для повышения эффективности охраны границы за счет оптимального распределения имеющихся (ограниченных) ресурсов по задачам управления. Применение модели в практике органов пограничного управления (центр и регионы) будет способствовать определению требуемых уровней обеспечения пограничной безопасности, прогнозированию потока нарушений границы.

Приложение № 1

Влияние погрешностей исходных данных на результаты расчетов можно оценить аналитическим способом или в ходе вычислительного эксперимента.

При выборе второго способа необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Выбрать k факторов X_j ($j = 1, \dots, k$), влияющих на результат вычислений (например, параметр экспоненциального распределения k_{0i} , доход преступника S_i , потенциальная интенсивность нарушений A_i и т.д.). При необходимости

перечисленные факторы следует различать отдельно для каждой группы нарушителей.

2. Для каждого фактора задать нижнюю $X_j^{(1)}$ и верхнюю $X_j^{(2)}$ границы возможных значений и ввести кодированные безразмерные переменные

$$x_j = \frac{(X_j - X_{js})}{S_j}, \quad X_{js} = \frac{X_j^{(1)} + X_j^{(2)}}{2}, \quad S_j = \frac{X_j^{(2)} - X_j^{(1)}}{2}.$$

3. Задать линейную

$$\eta = \alpha_0 x_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_k x_k$$

или нелинейную

$$\eta = \alpha_0 x_0 + \sum_{1 \leq j \leq k} \alpha_j x_j + \sum_{1 \leq j < i \leq k} \alpha_{ji} x_j x_i + \dots + \alpha_{1,2,\dots,k} x_1 x_2 \dots x_k$$

модель наблюдений, где $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{12}, \dots$ - относительные веса факторных переменных $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{12}, \dots$ (доля влияния на изменение результата), $x_0 = 1$ - фиктивная переменная.

4. Провести полный или дробный факторный эксперимент для вычисления параметров $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{12}, \dots$.
5. Факторы (или их парные и более высокого порядка взаимодействия), параметры которых имеют максимальные значения, вносят наибольшие погрешности в расчеты. Для повышения точности расчетов желательно минимизировать погрешности факторов с максимальными параметрами. Если значения некоторых параметров малы, то соответствующие им факторы не вносят существенных искажений в результаты.
6. Поскольку реальная модель нами заменена линейной (нелинейной) моделью, то полученные результаты справедливы только при заданных в пункте 2 границах изменения факторов. При изменении названных границ следует повторить вычислительный эксперимент.

Приложение № 2

Рассмотрим две группы нарушителей (контрабандисты $i = 1$ и нелегальные мигранты $i = 2$) при следующих исходных данных:

Параметр	Значение параметра	
	$i = 1$	$i = 2$
Параметр, характеризующий задержание нарушителей k_{0i}	0,0005	0,0005
Стоимости условных единиц управления k_{1i} и k_{2i}	1000	1000
Вероятность наказания преступника в случае его задержания p_{si}	0,25	0,25
Доход СВ S_i	100	10
Потери в случае наказания D_i	1000	50
Параметры функции полезности r_i	1	1
Параметры функции полезности d_i	0	0
Полезность законной деятельности $\bar{R}_i$	10	10
Доля СВ, не подверженных информационному управлению α_i	0,6	0,6
Интенсивность (количество) нарушений A_i	500	300
Коэффициент ущерба от одной единицы дохода k_{gi}	1	0,5
Характер расходов на информационное управление	безадресный	безадресный

При принятых исходных данных получим следующие выражения:

$$R_1^{(1)} = \max \left(100 - 1000 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - e^{-0,0005 y_0} \right), 0 \right) = \\ = \max \left(-150 + 250 \cdot e^{-0,0005 y_0}, 0 \right),$$

$$R_2^{(1)} = \max \left(-2,5 + 12,5 \cdot e^{-0,0005 y_0}, 0 \right),$$

$$R_1^{(2)} = \max \left(100 - 1000 \left(\frac{2}{\pi} \cdot 0,75 \cdot \arctg \frac{y_1}{1000} + 0,25 \right), 0 \right) \times$$

$$\begin{aligned}
& \times \left(\frac{2}{\pi} e^{-0,0005 y_0} \operatorname{arctg} \frac{y_2}{1000} + 1 - e^{-0,0005 y_0} \right) 0 \Bigg), \\
R_2^{(2)} &= \max \left(10 - 50 \left(\frac{2}{\pi} \cdot 0,75 \cdot \operatorname{arctg} \frac{y_1}{1000} + 0,25 \right) \times \right. \\
& \times \left. \left(\frac{2}{\pi} e^{-0,0005 y_0} \operatorname{arctg} \frac{y_2}{1000} + 1 - e^{-0,0005 y_0} \right) 0 \right), \\
U_1 &= 50000 \cdot \left(0,6 \cdot \frac{10}{10 + R_1^{(1)}} + 0,4 \cdot \frac{10}{10 + R_1^{(2)}} \right), \\
U_2 &= 1500 \cdot \left(0,6 \cdot \frac{10}{10 + R_2^{(1)}} + 0,4 \cdot \frac{10}{10 + R_2^{(2)}} \right), \\
W &= U_1 + U_2 - y_0 - y_1 - y_2.
\end{aligned}$$

Литература

1. 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.
2. *Математическая теория планирования эксперимента* / Под редакцией С.М. Ермакова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 392 с.
3. SESNOWITZ M. *Returns to Burglary* // *The Economics of Crime*. – Cambridge (Mass.), 1980. – С. 181 – 186.
4. 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.
5. НОВИКОВ Д.А. *Теория управления организационными системами*. М.: МПСИ, 2005. – С. 379 – 418.

INFORMATION AND A MATHEMATICAL MODEL TO JUSTIFY THE LEVEL BORDER SECURITY

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

The purpose of this paper is to consider information and a mathematical model to calculate the criterion of effectiveness of border security – the expectation of damage avoided. Also, this model can be used to predict the intensity of border violations.

Keywords: operational ways of safeguarding of the state border, border detachment, information and a mathematical model, information management.