

УДК 004.942:55-77, 621.384

Математическая модель противоборства конфликтующих сторон

Б.Н. Епифанцев, профессор, д-р. техн. наук

А.А. Пятков, аспирант

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

e-mail: artoymur@gmail.com

Ключевые слова:

преступность,
популяционная динамика,
математическая модель,
стратегия защиты

Предложена математическая модель противоборства террористов и защитников объекта техносферы, позволяющая прогнозировать динамику террористической деятельности на основе подходов популяционной динамики и численного моделирования. Предложен подход к определению оптимальной стратегии защиты объекта на основе экономического критерия. Модель применима к широкому классу объектов техносферы.

1. Введение

Конфликтные ситуации в техносфере влияют на динамику ее развития [1]. В силу известных ограничений на постановку натуральных экспериментов по изучению экономических систем, социума, техносферы ключевую роль здесь играет вычислительный эксперимент. Однако арсенал необходимых моделей в России и мире недостаточен, и требуется его расширение [2].

В последние годы получили развитие методология и теория системной безопасности социотехнических систем [3–5]. В отличие от классических моделей конфликтов Ричардсона, Ланчестера, Саати, Интрилигейтора и др. в них нужно учитывать информационную составляющую [6–9]. Одна из особенностей таких моделей заключается в неопределенности оценок входящих в них коэффициентов. Поэтому в ближайшие годы следует ожидать усиление интереса к методам снижения этой неопределенности. Предлагаемая ниже модель учитывает это обстоятельство.

Наибольшее количество конфликтных ситуаций в техносфере связано с хищением материальных ценностей и информации, разрушением элементов системы. В средствах массовой информации появился термин «врезной терроризм» [10], а действия, связанные с хищением информации, отождествляют с информационным терроризмом [11]. На всех уровнях признано, что при проведении терактов широко используются достижения научно-технического прогресса — от средств массового уничтожения, транспорта и связи

до новейших медийных и психологических технологий, регулярно опережая в этом государственные службы противодействия терроризму.

2. Теоретический анализ

Из теории систем следует, что чем меньше расходов закладывается на безопасность создаваемой системы, тем больших потерь следует ожидать при ее эксплуатации. Этот принцип проиллюстрирован на рис. 1.

По оси ординат отложены расходы, которые несет хозяйствующий субъект по защите объекта (кривая 1)

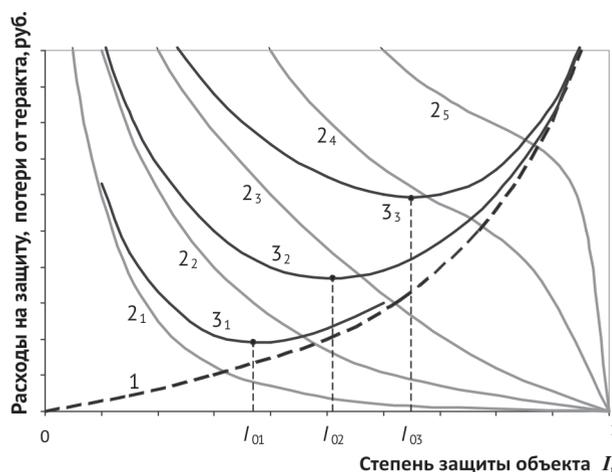


Рис. 1. Рациональный принцип защиты объекта по экономическому критерию: 1 — расходы, направляемые на защиту объекта; 2_i — потери от атак на объект; 3_i — суммарные потери обладателя объекта на уровне защиты I_{0i}

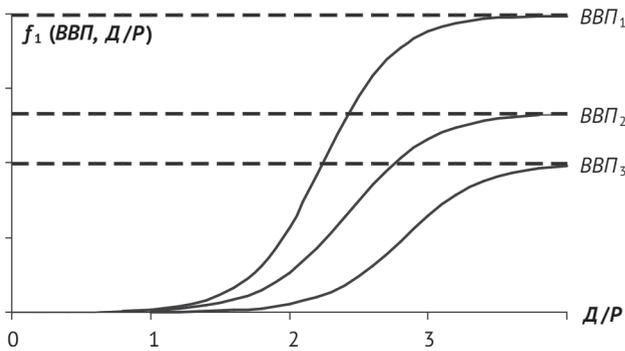


Рис. 2. Варианты поведения функции $f_1(BVP, D/P) = a_1 / (1 + b_1 \exp(-c_1 D/P))$

и ликвидации последствий атак на него (варианты кривых 2_i). Суммарные потери субъекта характеризуются кривыми 3_i. Ось абсцисс отражает степень защиты объекта, измеряемая в диапазоне 0–100% или 0–1.

Точка минимума кривых 3_i определяет рациональный уровень защиты объекта от внешних и внутренних атак при использовании экономического критерия. Степень защиты $I_t = I_t(N_2, \alpha_2, \beta_2)$ есть функция числа защитников N_2 , их квалификации α_2 , уровня используемых технических средств защиты β_2 . В упрощенном (иллюстрационном) варианте значение I_t можно определить следующим образом.

Примем отношение «потери от атак/расходы на защиту» равным нулю. Тогда $I_t = 0$. Собственник объекта определяет, при каком превышении потерь над затратами Q защита не признается удовлетворительной. При линейной зависимости $I_t(Q)$ при $Q = 10$ оптимальное значение $I_{t\text{ опт}} = 0,9$, а отношение затрат на защиту объекта к потерям от атак ЗТ/П равно 1. Текущие расходы и потери в организации должны быть известны. Все эти данные позволяют оценить существующую степень защиты объекта I_t , необходимые ресурсы для перехода в режим $I_{t\text{ опт}}$, уровень квалификации защитников α_2 и их число N_2 , вид используемых для противоборства технических средств [12].

Учет влияния внешней среды на защищенность объекта в режиме «ручного управления защитой» приводит к модели вида:

$$\frac{dN_1}{dt} = \left[f_1\left(\frac{BVP}{P}, \frac{D}{P}\right) - f_2\left(\frac{H3_{90}}{H3_t}\right) \right] N_1(t)(1 - I_t), \quad (1)$$

где N_1 — число злоумышленников, совершающих атаки на объект защиты, BVP — валовой внутренний продукт на душу населения в прошедшем году, D/P — отношение среднего дохода злоумышленника от проведенной операции к расходу на ее проведение, $H3_{90}/H3_t$ — отношение нравственного здоровья населения страны (региона) в 1990-м и текущем годах.

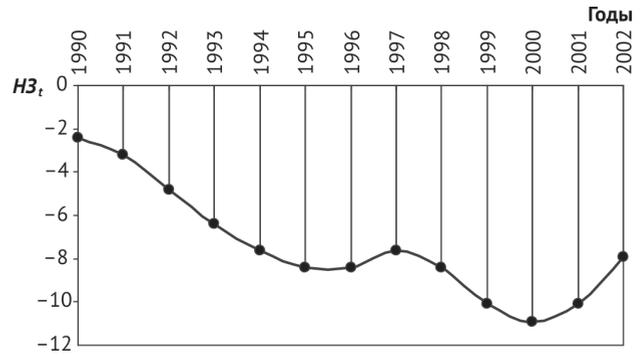


Рис. 3. Оценка нравственного здоровья населения России

BVP характеризует богатство общества, функция $f_1(BVP = \text{const}, D/P)$ — долю населения, готового пойти на правонарушения в зависимости от ожидаемого дохода и имеющего достаточный уровень знаний для совершения преступления в рассматриваемой среде деятельности. Очевидно, при $D/P \leq 1$ значение функции $f_1(BVP = \text{const}, D/P) = 0$ (нет смысла участвовать в операции, не получив какую-либо прибыль; фактор «мести» во внимание не принимаем). Кривая $f_1(BVP = \text{const}, D/P)$ имеет область насыщения, когда исчерпывается потенциальный ресурс членов общества, способных совершить правонарушение рассматриваемого вида (нет достаточных знаний, собственники объектов нападения и др.). Для сообществ с разным сочетанием ограничивающих факторов форма кривой сохраняется, меняются коэффициенты при ее аппроксимации:

$$f_1(BVP, D/P) = a_1 / (1 + b_1 \exp(-c_1 D/P)),$$

где a_1 — коэффициент, определяющий часть членов общества, потенциально готовых перейти в стан правонарушителей из корыстных интересов. Коэффициенты a_1, b_1, c_1 определяются экспертными технологиями с учетом полученного в предшествующем году BVP . Варианты поведения функции $f_1(BVP = \text{const}, D/P)$ приведены на рис. 2. Конкретный характер функции может быть определен при опросе проживающих в зоне охраняемого объекта.

Функция $f_2(H3_{90}/H3_t)$ характеризует законопослушность населения, его культурный уровень и законодательную базу по борьбе с соответствующим видом преступлений, $H3_t$ — интегральный показатель, оцениваемый по данным госстатистики. Вид кривой $H3_t$ на ограниченном отрезке времени приведен на рис. 3.

Варианты кривых $f_2(H3_{90}/H3_t)$ приведены на рис. 4. Они построены в предположении, что в опорном (1990-м) году нравственное здоровье общества находилось на уровне, исключающем прирост право-

нарушений на объекте защиты, $dN_1/dt = 0$. Данное условие выполняется при $HЗ_{90} = HЗ_t$ и $f_1(BBП, Д/П) = f_2(HЗ_{90}/HЗ_t)$ (см. (1)). При $HЗ_{90}/HЗ_t < 1$ поведение кривых в зависимости от сложившегося общественного строя в опорном году может изменяться по одной из приведенных на рис. 4 траекторий.

В идеализированном варианте (рис. 4, кривая 3) справедливо:

$$f_2(HЗ_{90}/HЗ_t) = (HЗ_{90}/HЗ_t) f_1(Д/П)$$

и соотношение (1) преобразуется к виду:

$$\frac{dN_1}{dt} = f_1(BBП, Д/П) \left(1 - (HЗ_{90}/HЗ_t)\right) N_1(t) (1 - I_t).$$

По регистрируемому $dN_1(t)/dt$, текущим расходам и потерям (рис. 1), определяемому по опросу населения прилегающих к объекту территорий, значению $Д/П$ и отслеживаемому отношению $HЗ_{90}/HЗ_t$ дается оценка состояния защиты I_t . Определяется оптимальное значение $I_{t\text{opt}}$, а затем требования к вероятности обнаружения атак и ложной тревоги разрабатываемой охранной аппаратуры.

Дальнейшее развитие модели (1) приводит к системе уравнений, известной под названием модели взаимодействия «хищник–жертва»:

$$\frac{dN_1}{dt} = \left[f_1\left(BBП, \frac{Д}{П}\right) - f_2\left(\frac{HЗ_{90}}{HЗ_t}\right) - \frac{\alpha_1 \beta_1}{\alpha_2 \beta_2} \gamma N_2 \right] N_1(t), \quad (2)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \left[f_3\left(\frac{ЗТ}{П}\right) - f_4\left(\frac{ЗП}{Д}\right) + \frac{\alpha_2 \beta_2}{\alpha_1 \beta_1} \gamma N_1 \right] N_2(t). \quad (3)$$

Здесь α_1, β_1 — соответственно уровень квалификации и технической оснащенности нападающих, $ЗП$ — зарплата защитника. Очевидно, $\alpha_1, \beta_1 \in (0; 1)$; $\alpha_2, \beta_2 \in (0; 1)$; $ЗТ/П \in (0, \infty)$; $ЗП/Д \in (0, \infty)$, γ — коэффициент

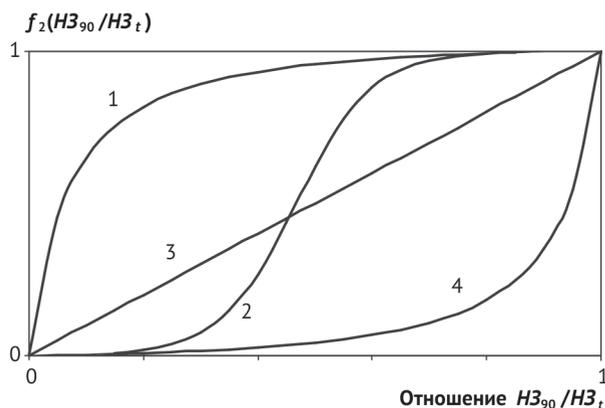


Рис. 4. Отношение $HЗ_{90}/HЗ_t$. Варианты поведения функции $f_2(HЗ_{90}/HЗ_t)$: 1 — демократическое общество; 2 — типичный вариант; 3 — идеализированный вариант; 4 — тоталитарное общество

взаимодействия защитников и нападающих, обратно пропорциональный размеру/протяженности/площади защищаемого объекта.

Можно ожидать, что функции f_3, f_4 будут частными случаями логистических кривых.

При постоянных $f_i, i = 1..4$ имеется аналитическое решение:

$$N_1^{-\left(f_3\left(\frac{ЗТ}{П}\right) - f_4\left(\frac{ЗП}{Д}\right)\right)} \exp\left(\frac{\alpha_1 \beta_1}{\alpha_2 \beta_2} \gamma N_1\right) = C_0 N_2^{f_1\left(BBП, \frac{Д}{П}\right) - f_2\left(\frac{HЗ_{90}}{HЗ_t}\right)} \exp\left(-\frac{\alpha_2 \beta_2}{\alpha_1 \beta_1} \gamma N_2\right),$$

где C_0 — постоянная интегрирования.

При переменных f_i нельзя найти аналитическое решение, и задача смещается в область имитационного моделирования.

3. Результаты вычислительного эксперимента

Очевидно, что затраты на защиту $ЗТ$ тем больше, чем больше N_2 , аналогично, суммарные потери от атак $П$ увеличиваются с ростом числа атак, т.е. с ростом N_1 . Один из возможных вариантов функции $f_3(ЗТ, П, N_1, N_2)$, учитывающий ее логистический характер:

$$f_3 = a_3 \exp\left(\frac{П N_1}{ЗТ N_2} b_3 - c_3\right) / \left(1 + \exp\left(\frac{П N_1}{ЗТ N_2} b_3 - c_3\right)\right), \quad (4)$$

где a_3, b_3, c_3 — коэффициенты формы кривой f_3 .

Результаты решения системы (2)–(3) для различных значений аргументов функций f_i и α_i, β_i приведены на рис. 5.

4. Заключение

Анализ поведения системы уравнений (2)–(3) в случае применения переменной функции f_3 (4) позволил выявить некоторые закономерности.

При низком уровне квалификации и технической оснащенности защитников α_2 и β_2 относительно аналогичных показателей нарушителей противоборство носит ярко выраженный периодический характер (см. рис. 5а). Низкая дисциплина и недостаточное финансирование службы безопасности не позволяют менеджменту организации оперативно реагировать на изменение ситуации и обуславливают избыточные потери от террористической активности и на содержание избыточного штата защитников.

Даже при приближении коэффициентов α_2 и β_2 к максимальным возможным значениям нельзя полностью решить проблему терроризма (см. рис. 5б и рис. 5в): система быстро достигает устойчивого ненулевого состояния. Определяющим фактором в дан-

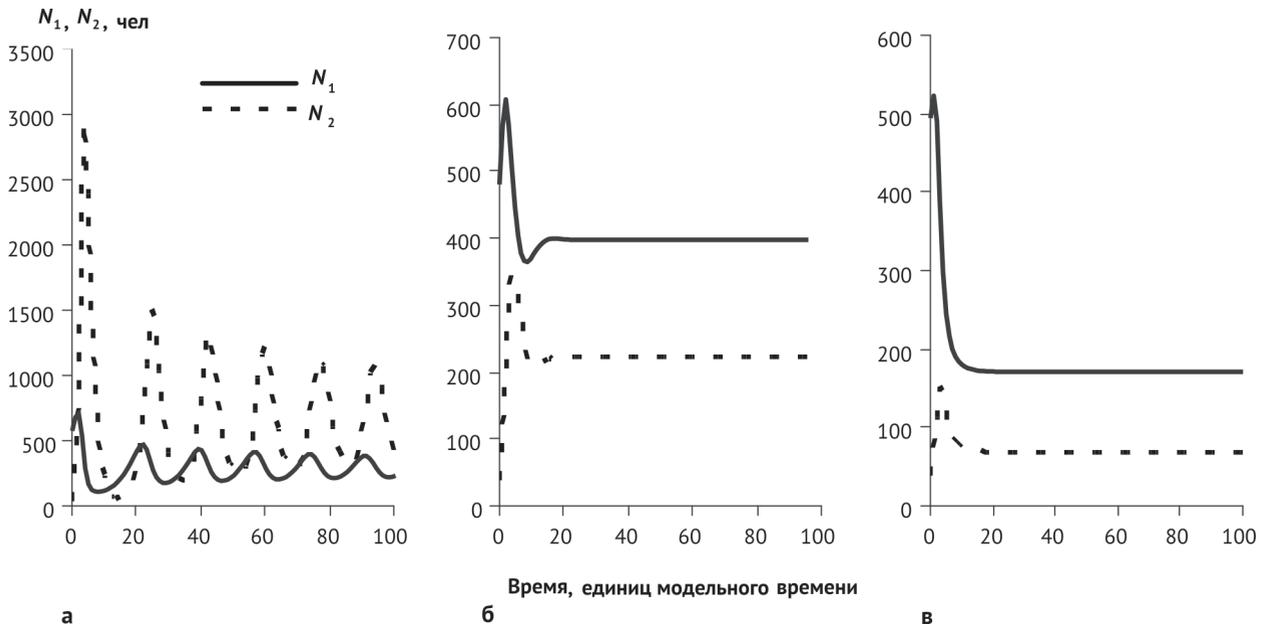


Рис. 5. Развитие противоборства защитников и нападающих при уровне квалификации и технической оснащенности террористов $\alpha_1 = 0,5, \beta_1 = 0,5$: а) $\alpha_2 = 0,3, \beta_2 = 0,3$; б) $\alpha_2 = 0,5, \beta_2 = 0,5$; в) $\alpha_2 = 0,9, \beta_2 = 0,9$

ном случае будет уровень нравственного здоровья общества $HЗ_t$. Учитывая это обстоятельство, а также экспоненциальный рост стоимости содержания защитников при увеличении α_2 и β_2 , приходим в общем случае к выводу: нецелесообразно выбирать стратегию максимизации уровня защиты объекта I_t . Оптимальная стратегия защиты любого предприятия от терроризма (преступности) должна включать взаимодействие государства и самого предприятия — превентивное повышение благосостояния и нравственного здоровья общества и борьбу с преступностью.

Список обозначений

a_1 — безразмерный параметр функции f_1 ;
 a_3 — безразмерный параметр функции f_3 ;
 b_1 — безразмерный параметр функции f_1 ;
 b_3 — безразмерный параметр функции f_3 ;
 c_1 — безразмерный параметр функции f_1 ;
 c_3 — безразмерный параметр функции f_3 ;
 I_{0i} — безразмерный ожидаемый уровень защиты объекта при использовании i -й стратегии защиты;
 I_t — безразмерный уровень защиты объекта в момент времени t ;
 $I_{t \text{ опт}}$ — безразмерное оптимальное значение уровня защиты объекта;

$N_1(t)$ — число злоумышленников, совершающих атаки на защищаемый объект, человек;

$N_2(t)$ — число защитников объекта, человек;

Q — относительное превышение потерь от атак над затратами на защиту объекта;

α_1 — безразмерный уровень квалификации злоумышленников;

α_2 — безразмерный уровень квалификации защитников;

β_1 — безразмерный уровень технической оснащенности злоумышленников;

β_2 — безразмерный уровень технической оснащенности защитников;

γ — коэффициент взаимодействия защитников и нападающих, человек;

$ВВП$ — валовый внутренний продукт страны, руб.;

D — средний доход злоумышленника от проведенной атаки, руб.;

$ЗП$ — зарплата защитника, руб.;

$ЗТ$ — затраты на защиту объекта, руб.;

$HЗ_t$ — безразмерный уровень нравственного здоровья общества в момент времени t ;

Π — потери от атак на защищаемый объект, руб.;

P — средние расходы злоумышленника на проведение атаки, руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саати Т.Л. Математические модели конфликтных ситуаций. М.: Сов. радио, 1977. 300 с.
2. Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. М.: Наука, 2000. 431 с.
3. Волобуев С.В. Безопасность социотехнических систем. Обнинск: «Викинг», 2000. 340 с.
4. Шойгу С.К., Воробьев Ю.Л., Владимиров В.А. Катастрофы и государство. М.: Энергоатомиздат, 1997. 159 с.

5. Катупев А.Н., Северцев Н.А. Исследование операций: принципы принятия решений и обеспечение безопасности. М.: Физико-математическая литература, 2000. 320 с.
6. Смирнов В.В. Технология имитационного моделирования процессов информационного противоборства // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 5. С. 48–52.
7. Цыбулин А.М. Многоагентная модель для исследования противоборства службы безопасности и ассоциации злоумышленников // Обзорные прикладной и промышленной математики. 2008. Т. 15. № 4. С. 682–683.
8. Губанов Д.А., Ухартишвили А.Г. Об одной модели информационного противоборства в социальной сети // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 3(37). С. 13–16.
9. Мишуринов А.О., Пятков А.А. Подход к определению минимальных расходов на системы защиты объектов информатизации на основе математической модели противоборства сторон // Омский научный вестник. 2011. № 1(97). С. 172–177.
10. Гурдин К. Похитители нефти // Аргументы недели. 2012. № 2(29). С. 5.
11. Белоножкин В.И., Остапенко Г.А. Информационные аспекты противодействия терроризму. М.: Горячая линия–Телеком, 2011. 112 с.
12. Епифанцев Б.Н., Шелупанов А.А., Белов Е.Б. Подход к оптимизации ресурсов для защиты информации в организационных системах // Доклады ТУСУРа. 2010. №1(21). Ч. 1. С. 7–9.

Conflicting Parties Antagonism

B.N. Epifantsev, Doctor of Engineering, Professor, Siberian State Automobile and Highway Academy,
A.A. Pyatkov, graduate student, Siberian State Automobile and Highway Academy

Mathematical model of antagonism of terrorists and technosphere object defenders is offered. This model allows predict dynamics of terrorist activity by using approaches of population dynamics and numerical modeling. The approach to definition of object protection optimum strategy on basis of economic criterion is also offered. The model is applicable to a wide class of technosphere objects.

Keywords: crime; population dynamics; mathematical model; protection strategy.

Российские нормативные правовые акты по борьбе с терроризмом

1. Концепция противодействия терроризму в Российской Федерации (утв. Президентом РФ 5 октября 2009 г.).

Настоящая Концепция определяет основные принципы государственной политики в области противодействия терроризму в Российской Федерации, цель, задачи и направления дальнейшего развития общегосударственной системы противодействия терроризму в Российской Федерации.

2. Федеральный закон от 6 марта 2006 г. № 35-ФЗ О противодействии терроризму (в ред. Федерального закона от 27 июля 2006 г. № 153-ФЗ).

Федеральный закон устанавливает основные принципы противодействия терроризму, правовые и организационные основы профилактики терроризма и борьбы с ним, минимизации и (или) ликвидации последствий проявлений терроризма, а также правовые и организационные основы применения Вооруженных Сил Российской Федерации в борьбе с терроризмом.

3. Указ Президента РФ от 15 февраля 2006 г. № 116 «О мерах по противодействию терроризму» (с изменениями от 2 августа 2006 г.).

Об Образовании Национального антитеррористического комитета и антитеррористических комиссий в субъектах Российской Федерации для координации деятельности территориальных органов федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления по профилактике терроризма,

а также по минимизации и ликвидации последствий его проявлений.

Информационный терроризм — психоинтеллектуальная опасная диверсия, направленная против нормального состояния здравомыслящего ума, рассудка, разума людей. Информационный терроризм производится посылками ложной и мнимой информации для создания у людей противоречивого представления, негативного возмущения и ошибочного понимания.

Кибертерроризм — это компьютерные атаки, спланированные для нанесения максимального ущерба жизненно важным объектам информационной инфраструктуры.

Незаконные врезки в магистральные продуктопроводы. Объемы воровства нефтепродуктов через незаконные врезки оцениваются в 2–3% от общего объема прокачанной нефти. В 2010 г. на магистральных нефтепроводах было зарегистрировано 452 посягательства на незаконные врезки, обнаружено 282 несанкционированные врезки. Увеличивается число случаев загрязнения водных объектов и почвы нефтепродуктами, в частности, вследствие непрекращающихся случаев хищения нефти путем незаконных врезок в нефтепроводы. Например, общие же потери в трубопроводе Баку-Новороссийск после проверок специальными датчиками были определены в размере до 500 тысяч тонн ежегодно — это около 10% от мощности этого трубопровода (!). Общая сумма ущерба при этом оценивается в 350–400 миллионов долларов.

Девисилов В.А.