

УДК 623.20

Модель оптимального распределения ресурсов и исследование стратегий действий сторон в ходе информационного конфликта

Михайлов Р. Л., Поляков С. Л.

Постановка задачи: активное использование информационной сферы в ходе конфликтов различного рода актуализирует вопросы оптимального распределения имеющихся ресурсов, под которыми в работе понимается совокупность объектов информационного пространства противостоящей стороны, между задействуемыми подсистемами наблюдения и воздействия. Использование оптимальных стратегий данного распределения позволит обеспечить достижение превосходства или же, при неблагоприятных обстоятельствах, минимизацию ущерба, даже в условиях, когда количественные и качественные характеристики распределяемых ресурсов уступают аналогичным характеристикам ресурсов противостоящей стороны. **Целью работы** является разработка математической модели распределения ресурса между подсистемами воздействия и наблюдения, адекватно отражающей вклад данных подсистем в достижение информационного превосходства в конфликте в условиях ограниченности распределяемых ресурсов различных типов. **Используемые методы:** элементы теории оптимального распределения ресурса, теории дифференциальных игр и теории динамической координации. **Новизна:** элементами новизны представленного решения являются формализованные стратегии оптимального распределения совокупности объектов информационного пространства противостоящей стороны между подсистемами наблюдения и воздействия в условиях информационного конфликта. **Результат:** использование представленного решения позволяет обосновать стратегии распределения объектов информационного пространства между подсистемами наблюдения и воздействия в интересах достижения превосходства во времени принятия решения в цикле управления, а также осуществлять априорный расчет наряда средств наблюдения и воздействия для участия в информационном конфликте в условиях, когда оперативное пополнение группировки данных средств не представляется возможным. **Практическая значимость:** представленное решение предлагается реализовать в виде математического обеспечения для проведения оперативных расчетов в интересах лица, принимающего решение, касаясь целеуказания средствам наблюдения и воздействия в информационном конфликте и динамического их перенацеливания.

Ключевые слова: информационный конфликт, подсистема наблюдения, подсистема воздействия, оптимальное распределение ресурсов, радиомониторинг, радиоэлектронное подавление.

Актуальность

Информационные конфликты различных систем в различных сферах, от конкуренции в малом бизнесе до межгосударственных (межблоковых), стали неотъемлемой чертой современного мирового сообщества. Характерной чертой подобных конфликтов является антагонистическая противоположность показателей эффективности противостоящих сторон и, соответственно, критериев достижения поставленных ими целей [1-3]. Одним из условий достижения соответствующих целей различных сторон является оптимальное распределение имеющихся ресурсов (материальных, людских, временных, административных

Библиографическая ссылка на статью:

Михайлов Р. Л., Поляков С. Л. Модель оптимального распределения ресурсов и исследование стратегий действий сторон в ходе информационного конфликта // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 323–344. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/17-Mikhailov.pdf>.

Reference for citation:

Mikhailov R. L., Polyakov S. L. Model of Optimal Division of Sides Resources During Information Conflict. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 4, pp. 323–344. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/17-Mikhailov.pdf> (in Russian).

и т. п.) между различными подсистемами, задействуемыми в конфликте. Это позволяет в случае, если противостоящая сторона не использует оптимальный подход к использованию ресурсов, обеспечить достижение превосходства или же, при неблагоприятных обстоятельствах, минимизацию ущерба, даже в условиях, когда количественные и качественные характеристики распределяемых ресурсов уступают аналогичным характеристикам ресурсов противостоящей стороны [4, 5].

Применительно к информационным конфликтам в сфере военного противоборства, большое значение имеет решение задачи распределения ограниченного ресурса между подсистемами воздействия и наблюдения в самой общей постановке данной задачи. Подсистемы воздействия используются для нанесения ущерба противостоящей стороне. Примерами подобных подсистем являются совокупность средств огневого поражения, радиоэлектронного подавления (РЭП), информационно-технического воздействия и т. п. Предназначением подсистем наблюдения является вскрытие и анализ действий противостоящей стороны и, как следствие, снижение эффективности применения ею вышеуказанных средств воздействия. В качестве данных подсистем рассматриваются совокупность средств радиомониторинга (РМ), артиллерийской разведки, противовоздушной обороны, технических средств охраны, аппаратно-программных средств обеспечения информационной безопасности и т. п. Совместное применение указанных подсистем позволяет комплексно решать задачу достижения превосходства в информационном конфликте, однако эффективность использования каждой из них в отдельности в большинстве случаев прямо зависит от количества выделяемого ресурса того или иного рода, при этом количество ресурса в большинстве реальных ситуаций носит ограниченный характер.

С учетом вышесказанного, данная работа направлена на решение актуальной задачи разработки математической модели распределения ограниченного ресурса между подсистемами воздействия и наблюдения, адекватно отражающей вклад данных подсистем в достижение информационного превосходства в конфликте в условиях ограниченности распределяемых ресурсов различных типов. Данная модель, в первую очередь, может быть применена для описания процесса распределения объектов информационного пространства (ОИП) телекоммуникационной системы (ТКС) противостоящей стороны между подсистемами РМ и РЭП, но, в то же время, ее универсальность обосновывается способностью к описанию подобных конфликтов в различных областях, при этом под ОИП будут пониматься элементы системы управления противостоящей стороны, посредством которых осуществляется информационный обмен между различными подсистемами при принятии решений.

Анализ исследований в предметной области распределения ресурсов и постановка задачи исследования

Фундаментальными исследованиями в области оптимального распределения ресурса являются работы Е.А. Берзина [7, 8], а также Л.С. Гурина, Я.С. Дымарского, А.Д. Меркулова [9].

Работа [9] посвящена детерминированным и стохастическим задачам оптимального распределения однородного и неоднородного ресурса. Описаны методы решения указанных задач, в частности методы выпуклого программирования, линейного программирования и случайного поиска.

Методы распределения ограниченного ресурса, в том числе метод максимального элемента, метод двух функций, метод весовых коэффициентов и метод последовательных приращений представлены в работе [7]. Показаны области применения указанных методов и представлены алгоритмы, их реализующие.

В работе [8] проведено исследование структуры оптимального поведения противостоящих сторон в условиях, когда распределение и использование ограниченных ресурсов встречает организованное противодействие конкурента, преследующего противоположные цели.

Кроме того, в ряде современных работ предложены новые подходы к решению задач оптимального распределения ресурса. Так, данная задача в работе [10] решалась с помощью графовых динамических моделей. Развитием данного исследования стали работы [11], в которых описана пороговая модель ресурсной сети.

В работе [12] исследуются проблемы распределения ограниченного ресурса между группами в условиях максимизации общего благосостояния, основанного на функциях полезности в группах. При этом методы распределения заданного ресурса опираются на роулсеанский и утилитаристский критерии общественного благосостояния.

Решение задачи оптимального распределения временного ресурса, отвлекаемого от вычислительного ресурса информационно-телекоммуникационной системы и обеспечивающего совместное использование разных по типу средств защиты информации, представлено в работе [13]. При оценке эффективности функционирования средств защиты информации от несанкционированного доступа обосновано использование вероятностного подхода. Схожие задачи решались в работах [14-15], посвященных динамическому распределению ресурса между защитой системы, состоящей из нескольких однотипных модулей, и созданием новых модулей.

Работы [16-18] посвящены изучению динамической экономической системы, состояния которой в каждый момент времени задаются целыми неотрицательными точками плоскости. Рассмотрены два различных вида производства, в каждом из которых состояние системы изменяется на некоторый случайный вектор с целыми компонентами. Под управлением понимается выбор в каждый момент времени одного из имеющихся видов производства. В качестве целевого показателя эффективности управления в данных работах используется минимизация вероятности выхода из квадранта, при этом получены двусторонние оценки для данной показателя.

В работе [19] рассмотрена задача распределения ограниченного однородного целочисленного ресурса для случая, когда параметры целевой функции задачи заданы на основе переменных теории нечетких множеств. При этом обосновано применение итерационной вычислительной процедуры ее решения.

Различные аспекты функционирования детерминированных систем обслуживания с двумя и тремя очередями и одним обслуживающим устройством исследуются в работе [20]. Предполагается, что обслуживающее устройство в каждый момент времени обслуживает только одно требование. Ставится задача выбора моментов переключения устройства с одной очереди на другую. Введены понятие цикла работы системы обслуживания и понятие о стационарном режиме работы детерминированной системы обслуживания. Для каждой из систем выяснены необходимые и достаточные условия стационарности работы.

В работе [21] обобщены полученные другими исследователями результаты и предложены модели и методы распределения ресурсов с использованием как системного, так и теоретико-игрового подходов. Отмечено, что решение ресурсных задач связано с двумя основными аспектами: проблемой выбора и проблемой распределения ресурсов, в рамках которых происходит назначение каждому элементу организационно-технических систем (ОТС) определенных видов и объемов конкретных ресурсов. Необходимость решения этих задач связана с тем, что на практике большинству систем для достижения поставленных перед ними целей требуются различные ресурсы, количество которых ограничено. При этом возникают конфликты при распределении ресурсов как между ОТС, так и между подсистемами в их составе, которые можно обозначить понятием «ресурсный конфликт». Последний случай при условии ограниченности ресурсов наиболее типичен для реальных ОТС. Таким образом, ресурсный конфликт выступает существенным фактором функционирования ОТС и одним из побудительных мотивов динамики развития. Несоответствие между целями системы и ее ресурсами, которые необходимы для их достижения, определяет проблему выбора и распределения ресурсов, а именно – синтез ресурсного компромисса в ОТС.

Рассмотрим частную задачу распределения ограниченного числа ОИП ТКС противостоящей стороны между «своими» подсистемами РМ и РЭП. Для ее решения необходимо рассматривать совокупность ОИП как общий ограниченный ресурс ОТС РЭП и РМ, необходимый им для достижения своих локальных целей в ходе конфликта [6]. Целью подсистемы РМ, в общем виде, является перехват сообщений, циркулирующих по каналам связи между ОИП, в целях обеспечения лиц, принимающих решения (ЛПР), своей стороны информацией о целях и действиях противостоящей стороны, в то время как подсистема РЭП функционирует в целях срыва (затруднения) процесса управления силами и средствами, в том числе исполнительными элементами, противостоящей стороной путем подавления соответствующих каналов связи между ОИП. Таким образом, подсистема РМ выполняет функции повышения адекватности информации о складывающейся обстановке, необходимой для принятия управленческих решений, а подсистема РЭП, в свою очередь, препятствует управленческим процессам противостоящей стороны. В интересах достижения своих целей каждая из этих ОТС заинтересована в использовании как можно большего количества ресурса (числа ОИП противостоящей стороны), однако один и тот же ОИП не может одновременно служить объектом воздействия РМ и РЭП. В этой связи актуальным является определение оптимальной стратегии распре-

деления ограниченного ресурса ОИП противостоящей стороны в интересах эффективного функционирования подсистем РМ и РЭП в информационном конфликте.

Ранее подобная задача рассматривалась в работах С.И. Макаренко [22, 23]. При этом в работе [22] ресурс подсистемы РМ описывается как первичный для функционирования подсистемы РЭП, и собственно конфликт за него между подсистемами РМ и РЭП не рассматривается. В более обобщенной постановке задачи, рассмотренной в работе [23], описаны процессы наблюдения и воздействия на ТКС, однако конфликтный характер взаимодействия этих совместно-функционирующих процессов относительно ОИП ТКС не учитывался.

В более ранних работах авторов [6, 24, 25] описаны формы, которые может принимать конфликт за ресурс (ограниченное число ОИП противостоящей стороны) между подсистемами воздействия и наблюдения в составе единой ОТС. Формализован процесс динамической координации данных подсистем с позиции повышения эффективности функционирования ОТС более высокого уровня. Вместе с тем, оценка оптимальности распределения ресурса в условиях информационного конфликта в известных авторах работах не осуществлялась.

Модель оптимального распределения ресурсов

Воспользуемся подходом к определению оптимальных стратегий распределения ограниченного ресурса в ходе конфликта, предложенным в работах [7, 8]. Информационный конфликт будем рассматривать в два этапа:

- 1) на первом этапе рассмотрим информационные конфликты средств наблюдения и средств воздействия одной стороны с совокупностью ОИП противостоящей стороны;
- 2) на втором этапе рассмотрим информационный конфликт между сторонами 1 и 2 в целом, а также влияние стратегии распределения ОИП между подсистемами наблюдения и воздействия в их составе на исход информационного конфликта.

Рассмотрим указанные конфликты с позиции стороны 1. Исход информационного конфликта средств наблюдения стороны 1 и совокупности ОИП стороны 2 в общем виде можно описать выражением [7]:

$$T_H = \sum_{i=1}^{Q_H} V_{H i} (1 - \lambda_i^{n_i}), \quad (1)$$

где T_H – суммарный выигрыш во времени принятия решения в цикле управления, обеспечиваемый средствами наблюдения стороны 1 при информационных контактах с Q_H ОИП стороны 2; Q_H – ОИП стороны 2, распределенные средствам наблюдения стороны 1; $V_{H i}$ – важность i -го ОИП стороны 2 с позиции вероятности доступа средств наблюдения в ходе информационного контакта к данным, которые позволяют сократить время принятия решения стороной 1 в ее цикле управления; λ_i – вероятность отсутствия доступа средств наблюдения стороны 1 к i -му ОИП стороны 2 в ходе информационных контактов (скрытность i -го ОИП стороны 2); n_i – количество средств наблюдения стороны 1, вы-

деленных для осуществления информационных контактов с i -м ОИП стороны 2.

При этом накладываются следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^{Q_H} n_i \leq N, Q_H \leq Q_1 - Q_B, \quad (2)$$

где N – общее количество средств наблюдения стороны 1; Q_1 – общее количество обнаруженных ОИП стороны 2; Q_B – ОИП стороны 2, распределенные средствам воздействия стороны 1, а также дополнительные условия:

$$n_i \in \{0, 1, \dots, N\},$$

$$0 \leq \lambda_i \leq 1,$$

$$V_{H_i} > 0,$$

$$i = 1, \dots, Q_H.$$

Выражение (1) позволяет оценить суммарную эффективность информационных контактов средств наблюдения стороны 1 и ОИП стороны 2, с позиции уменьшения времени принятия решения в цикле управления стороны 1. При этом, в отличие от ранее опубликованных работ, вводятся ограничения на количество ОИП (выражение (2)), а также уточняются дополнительные условия, сопутствующие данным контактам:

- количество средств наблюдения стороны 1, участвующих в информационном конфликте с ОИП стороны 2, не превышает общее число данных средств в соответствующей подсистеме ($n_i \in \{0, 1, \dots, N\}$);
- ОИП противостоящей стороны обладают различным уровнем «скрытности» (по показателю вероятности доступности для средств наблюдения) от средств наблюдения стороны 1 при информационных контактах, при этом вклад каждого из этих контактов в общий показатель выигрыша (выражение (1)) обратно пропорционален величине вероятности отсутствия доступности i -го ОИП для средств наблюдения λ_i ;
- исключена возможность дезинформации средств наблюдения в ходе информационных контактов с ОИП ($V_{H_i} \geq 0$) и, как следствие, увеличение времени принятия решения в цикле управления стороны 1 вследствие информационных контактов с «дезинформирующими» ОИП стороны 2;
- значение показателя V_{H_i} – важности i -го ОИП для средств наблюдения стороны 1 отображает не только оценку семантической информации, полученной в ходе информационных контактов, но и данные о принадлежности ОИП определенному элементу системы управления стороны 2, местоположении ОИП, режимах работы, а также их параметров (например, таких как используемые ОИП сигнально-кодовые конструкции, диапазоны частот и т. д.).

Аналогично выражению (1), исход информационного конфликта средств воздействия стороны 1 в составе соответствующей подсистемы и совокупности ОИП стороны 2 в общем виде можно описать выражением [7]:

$$T_B = \sum_{i=1}^{Q_B} V_{Bi} (1 - \alpha_i^{m_i}), \quad (3)$$

где T_B – суммарный выигрыш стороны 1 во времени принятия решения в цикле управления, обеспечиваемый средствами воздействия стороны 1 при информационном контакте с Q_B ОИП стороны 2; Q_B – ОИП стороны 2, распределенные средствам воздействия стороны 1; V_{Bi} – важность i -го ОИП стороны 2 с позиции срыва (затруднения) передачи информации, который позволит увеличить время принятия стороной 2 в цикле управления; α_i – вероятность отсутствия доступности i -го ОИП стороны 2 для средств воздействия стороны 1 (устойчивость i -го ОИП); m_i – количество средств воздействия стороны 1, призванных оказывать деструктивное влияние на i -й ОИП стороны 2.

При этом накладываются следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^{Q_B} m_i \leq M, Q_B \leq Q_1 - Q_H, \quad (4)$$

где M – общее количество средств воздействия стороны 1; Q_1 – общее количество обнаруженных ОИП стороны 2; Q_H – ОИП стороны 2, распределенные средствам наблюдения стороны 1, а также дополнительные условия:

$$m_i \in \{0, 1, \dots, M\},$$

$$0 \leq \alpha_i \leq 1,$$

$$V_{Bi} > 0,$$

$$i = 1, \dots, Q_B.$$

По аналогии, выражение (3) позволяет оценить суммарную эффективность информационных контактов средств воздействия стороны 1 на ОИП стороны 2 с позиции увеличения времени принятия решения в цикле управления стороны 2. При этом ограничено количество ОИП (выражение (4)), а также уточнены условия, сопутствующие данным контактам:

- количество средств воздействия стороны 1, участвующих в информационном конфликте с ОИП стороны 2, не превышает общее число данных средств в соответствующей подсистеме ($m_i \in \{0, 1, \dots, M\}$);
- ОИП стороны 2 обладают различной устойчивостью при информационных контактах со средствами воздействия стороны 1, при этом вклад каждого из этих контактов обратно пропорционален величине вероятности отсутствия доступности i -го ОИП для средств воздействия α_i ;
- исключена возможность деструктивного влияния средств воздействия стороны 1 на «свои» ОИП ($V_{Bi} \geq 0$) и, как следствие, увеличение времени принятия решения в «своем» цикле управления;
- значение величины V_{Bi} – важности i -го ОИП стороны 2 для средств воздействия стороны 1 определяет эффективность срыва (затруднения) передачи (приема) информации данным ОИП с позиции увеличения времени принятия решения органами управления стороны 2 в целом.

Аналогичным образом описывается исход информационного конфликта средств наблюдения стороны 2 и совокупности ОИП стороны 1.

Выражения (1) и (3) описывают исход информационного конфликта подсистем наблюдения и воздействия с информационной подсистемой противостоящей стороны в виде совокупности ОИП в ее составе в весьма упрощенном виде. В работе [7] показано, что дальнейшим развитием данной модели может являться учет различной вероятности доступности ОИП для средств наблюдения и воздействия различного типа, а также различные варианты технических возможностей доступа к ОИП данных средств и т.д. Вместе с тем, в работах [7, 9, 26] обосновано, что для любой степени сложности постановки задачи описания подобного конфликта существуют методы ее решения, позволяющие получить оптимальное распределение средств наблюдения и воздействия по ОИП противостоящей стороны. Применительно к постановке задачи в виде (1) и (3), определение данного оптимального распределения указанных средств возможно на основе применения метода максимального элемента [7], при этом показателем эффективности для различных подсистем будут являться:

- для информационного конфликта подсистемы наблюдения с совокупностью ОИП противостоящей стороны – общее количество информации, полученное вследствие информационных контактов с Q_H ОИП противостоящей стороны;
- для информационного конфликта подсистемы воздействия с совокупностью ОИП противостоящей стороны – общее количество информации, не переданное (не полученное) ОИП противостоящей стороны вследствие воздействия на Q_B .

При этом следует отметить, что весь информационный обмен между подсистемами управления, наблюдения и воздействия, в цикле управления, а также исполнительными элементами в ходе реализации принятых решений осуществляется посредством информационного обмена между ОИП (рис. 1).

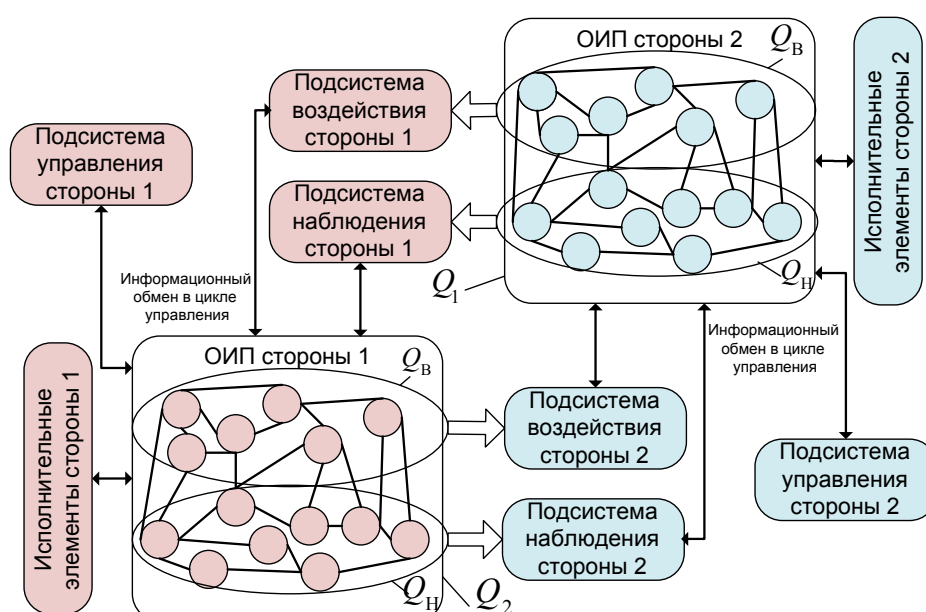


Рис. 1. Схема информационного конфликта с привлечением подсистем наблюдения и воздействия

В соответствии с подходом, представленным авторами в работе [27], показателем эффективности распределения ресурса ОИП противостоящей стороны между подсистемами наблюдения и воздействия следует считать временное преимущество во времени принятия решения в цикле управления. В этой связи, средства наблюдения выступают в качестве средств защиты «своего» временного интервала принятия решения, а средства воздействия – в качестве средств нападения на аналогичный показатель противостоящей стороны. Руководствуясь подходами к обобщению характеристик двустороннего конфликта, предложенными в работе [8], опишем величины ущерба с позиции увеличения времени принятия решения в цикле управления выражениями:

– для стороны 1:

$$\Delta T_{\text{реш } 1} = (T_{2\text{H}} + T_{2\text{B}}) \left(1 - e^{-\frac{b_2 Q_1 x_1}{(Q_2 y_2 + a_2)}} \right),$$

– для стороны 2:

$$\Delta T_{\text{реш } 2} = (T_{1\text{H}} + T_{1\text{B}}) \left(1 - e^{-\frac{b_1 Q_2 y_1}{Q_1 x_2 + a_1}} \right),$$

где $T_{1\text{H}}$ – значение снижения времени принятия решения в цикле управления стороны 2 вследствие получения информации об ОИП стороны 1 средствами наблюдения стороны 2; $T_{2\text{H}}$ – значение снижения времени принятия решения в цикле управления стороны 1 вследствие получения информации об ОИП стороны 2 средствами наблюдения стороны 1; $T_{1\text{B}}$ – значение увеличения времени принятия решения в цикле управления стороны 1, отображающее количество информации, не переданное через ОИП стороны 1, вследствие информационных контактов со средствами воздействия стороны 2; $T_{2\text{B}}$ – значение увеличения времени принятия решения в цикле управления стороны 2, отображающее количество информации, не переданное через ОИП стороны 2, вследствие информационных контактов со средствами воздействия стороны 1; $Q_1 x_1$ – доля обнаруженных ОИП стороны 2, выделяемая стороной 1 средствам воздействия для информационных контактов с ОИП стороны 2; $Q_1 x_2$ – доля обнаруженных ОИП стороны 2, выделяемая стороной 1 средствам наблюдения для информационных контактов с ОИП стороны 2; $Q_2 y_1$ – доля обнаруженных ОИП стороны 1, выделяемая стороной 2 средствам воздействия для информационных контактов с ОИП стороны 1; $Q_2 y_2$ – доля обнаруженных ОИП стороны 1, выделяемая стороной 2 средствам наблюдения для информационных контактов с ОИП стороны 1; a_1 и b_1 – коэффициенты, отражающие устойчивость ОИП стороны 1 к добыванию информации средствами наблюдения (a_1) и срыва ее передачи средствами воздействия (b_1) стороны 2; a_2 и b_2 – коэффициенты, отражающие устойчивость ОИП стороны 2 к добыванию информации средствами наблюдения (a_2) и срыва ее передачи средствами воздействия (b_2) стороны 1.

При этом накладываются следующие ограничения:

$$\begin{aligned}x_1 + x_2 &= 1, y_1 + y_2 = 1, \\x_1 &\geq 0, x_2 \geq 0, y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, \\Q_1 x_1 + Q_1 x_2 &= Q_1, Q_2 y_1 + Q_2 y_2 = Q_2, \\a_1 > 0, a_2 > 0, b_1 > 0, b_2 > 0.\end{aligned}\quad (5)$$

В известных авторам открытых источниках отсутствует описание расчета значений $T_{1H}(T_{2H})$ и $T_{1B}(T_{2B})$. Вместе с тем, на основе работ специалистов в области РМ (например [28, 29]) и РЭП (например [2, 3]) можно сделать вывод о том, что данные значения являются математическими ожиданиями функции зависимости времени принятия решения от объема полученной ($T_{1H}(T_{2H})$ для подсистем наблюдения) и утерянной противостоящей стороной ($T_{1B}(T_{2B})$ для подсистем воздействия) информации. Разработка формализованных методик расчета этих показателей с учетом различного вида функций распределения вероятности изменения временного интервала управления является отдельной, интересной научной задачей, решение которой авторы планируют осуществить в ходе дальнейших исследований.

Рассмотрим модель информационного конфликта между сторонами 1 и 2 в целом, а также влияние стратегий распределения ОИП между подсистемами наблюдения и воздействия на его исход (модель второго этапа). Выражение, определяющее увеличение времени принятия решения в цикле управления для стороны А, будет иметь вид [8]:

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{реш}} &= \Delta T_{\text{реш}2} - \Delta T_{\text{реш}1} = (T_{2H} + T_{2B}) \left(1 - e^{-\frac{b_2 Q_1 x_1}{(Q_2 y_2 + a_2)}} \right) - \\&- (T_{1H} + T_{1B}) \left(1 - e^{-\frac{b_1 Q_2 y_1}{Q_1 x_2 + a_1}} \right).\end{aligned}\quad (6)$$

Соответственно, применительно к стороне 1 распределение ОИП между средствами наблюдения и воздействия должно максимизировать данную разницу ущербов ($\Delta T_{\text{реш}} \rightarrow \max$), для чего необходимо определить оптимальные компоненты вектора $X = \{x_1, x_2\}$, с учетом того, что сторона 2 осуществляет аналогичное распределение в соответствии с вектором $Y = \{y_1, y_2\}$.

Определим оптимальные стратегии для сторон 1 и 2. Для этого выразим в выражении (6) x_1 и y_1 через x_2 и y_2 в соответствии с ограничениями (5) и введем обозначения:

$$\bar{a}_1 = \frac{a_1}{Q_1}, \bar{a}_2 = \frac{a_2}{Q_2}, \bar{Q} = \frac{Q_1}{Q_2}.$$

Введем допущение о стационарном состоянии и решим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta T_{\text{реш}}}{\partial x_2} = 0 \\ \frac{\partial \Delta T_{\text{реш}}}{\partial y_2} = 0 \end{cases}.$$

Продифференцировав, получим:

$$\begin{cases} -\frac{(T_{2H} + T_{2B})b_2\bar{Q}}{(y_2 + \bar{a}_2)}e^{\left\{\frac{b_2\bar{Q}(1-x_2)}{(y_2+\bar{a}_2)}\right\}} + \frac{(T_{1H} + T_{1B})b_1(1-y_2)}{\bar{Q}(x_2 + \bar{a}_1)^2}e^{\left\{\frac{b_1(1-y_2)}{\bar{Q}(x_2+\bar{a}_1)}\right\}} = 0 \\ -\frac{(T_{2H} + T_{2B})b_2\bar{Q}(1-x_2)}{(y_2 + \bar{a}_2)^2}e^{\left\{\frac{b_2\bar{Q}(1-x_2)}{(y_2+\bar{a}_2)}\right\}} + \frac{(T_{1H} + T_{1B})b_1}{\bar{Q}(x_2 + \bar{a}_1)}e^{\left\{\frac{b_1(1-y_2)}{\bar{Q}(x_2+\bar{a}_1)}\right\}} = 0 \end{cases}. \quad (7)$$

Введем сокращения:

$$\Psi = \frac{(T_{1H} + T_{1B}) - \Delta T_{\text{реш}1}}{(T_{2H} + T_{2B}) - \Delta T_{\text{реш}2}} = \bar{T}e^{\frac{b_2k_2\bar{Q}(1-x_2)}{\eta(y_2+\bar{a}_2)^2} - \frac{b_1k_1(1-y_2)}{r_2\bar{Q}(x_2+\bar{a}_1)}},$$

$$\bar{b} = \frac{b_1}{b_2}, \quad \Pi = \frac{\bar{Q}^2}{\bar{b}}, \quad (8)$$

с учетом которых система (7) примет вид:

$$\begin{cases} -\frac{1}{y_2 + \bar{a}_2} + \frac{\Psi}{\Pi} \frac{1-y_2}{(x_2 + \bar{a}_1)^2} = 0 \\ -\frac{1-x_2}{(y_2 + \bar{a}_2)^2} + \frac{\Psi}{\Pi} \frac{1}{x_2 + \bar{a}_1} = 0 \end{cases}. \quad (9)$$

Переносим отрицательный член в каждом из выражений системы (9) в правую часть и осуществив деление первого из выражений на второе (при этом делители отличны от нуля), получим:

$$\frac{y_2 + \bar{a}_2}{1-x_2} = \frac{1-y_2}{x_2 + \bar{a}_2} = \varepsilon.$$

Решив данное параметрическое уравнение относительно ε , определим:

$$\varepsilon = \frac{1 + \bar{a}_2}{1 + \bar{a}_1}. \quad (10)$$

Подставив (10) в (8) и проведя преобразования, получим гарантированное значение величины $\Psi = \Psi_0$, которое отражает отношение итоговых временных интервалов принятия решения в цикле управления:

$$\Psi_0 = \bar{T}e^{\eta(\sqrt{\pi} - \sqrt[3]{\pi})}, \quad (11)$$

где $\eta = \sqrt{b_1 b_2}$; $\pi = \frac{\bar{Q}^2}{\bar{b}} \left(\frac{1 - \bar{a}_1}{1 + \bar{a}_2} \right)^2 = \frac{\Pi}{\varepsilon^2}.$

В результате преобразований получили выражение (11), в котором $\Psi = \Psi_0$ не зависит от x_2 и y_2 , поэтому, подставив (10) в (9), получим линейное относительно x_2 уравнение:

$$-\frac{1}{\varepsilon(1-x_2)} + \frac{\Psi_0}{\Pi} \frac{\varepsilon}{x_2 + \bar{a}_1} = 0. \quad (12)$$

Решение (12) относительно x_2 с учетом ограничений (5) и выражения (11) позволяет определить оптимальные доли при распределении ОИП стороны 2 для подсистем наблюдения и воздействия стороны 1 (компоненты вектора X):

$$x_1^0 = \frac{1 + \bar{a}_1}{1 + \frac{T}{\pi} e^{\eta(\sqrt{\pi} - \sqrt[3]{\pi})}}, x_2^0 = 1 - x_1^0. \quad (13)$$

Аналогичным образом находятся оптимальные компоненты вектора Y стороны 2:

$$y_1^0 = \frac{1 + \bar{a}_1}{1 + \frac{\pi}{T} e^{-\eta(\sqrt{\pi} - \sqrt[3]{\pi})}}, y_2^0 = 1 - y_1^0, \quad (14)$$

где ε и Ψ_0 определяются согласно выражениям (10) и (11).

Гарантированное значение преимущества во времени принятия решения в цикле управления для стороны 1 следует определить, подставив (10) в (6) с учетом (11):

$$\Delta T_{\text{реш } 1}^{\text{гар}} = (T_{2H} + T_{2B}) \left(1 - e^{-\eta\sqrt{\pi}}\right) - (T_{1H} + T_{1B}) \left(1 - e^{-\frac{\eta}{\sqrt{\pi}}}\right). \quad (15)$$

Выражение (15) определяет значение временного преимущества стороны 1 при использовании оптимального распределения ОИП стороны 2 между средствами наблюдения и воздействия, определяемого выражением (13), даже в условиях, когда сторона 2 использует аналогичное распределение (выражение (14)). Ниже будет показано, что отказ стороны 2 от использования оптимального распределения ОИП приведет к увеличению значения выигрыша стороны 1.

Исследование стратегий действий сторон на основе результатов моделирования

Исследование стратегий применения средств наблюдения и воздействия было проведено с помощью разработанной в среде MathCAD программной модели, реализующей выражения (6)-(14).

На первом этапе исследовались оптимальные стратегии распределения обнаруженных ОИП противостоящей стороны между подсистемами наблюдения и воздействия по мере увеличения их количества в динамике информационного конфликта в результате проведения поисковой работы, а также влияние данных стратегий на временное преимущество в цикле управления. При этом в качестве исходных данных были приняты:

- равное количество обнаруженных ОИП для стороны 1 и 2:
 $Q_1 = Q_2 = Q$, при моделировании принято $Q = 300$;

- равное потенциально достижимое преимущество во времени принятия решения в цикле управления: $(T_{2H} + T_{2B}) = (T_{1H} + T_{1B}) = \Delta T_{\text{реш}}$, при моделировании принято $\Delta T_{\text{реш}} = 1$;
- ОИП стороны 1 обладают в два раза большей обобщенной устойчивостью к информационным контактам со средствами наблюдения и воздействия стороны 2 нежели ОИП стороны 2 по отношению к средствам стороны 1: $a_1 = 2a_2, b_1 = 2b_2$.

Результаты моделирования оптимальных стратегий распределения ОИП приведены на рис. 2. Анализ зависимостей показывает, что до определенного момента все обнаруженные ОИП необходимо распределять средствам воздействия, при этом момент начала их распределения средствам наблюдения определяется отношением устойчивости ОИП сторон к информационным контактам $(\frac{a_1}{a_2} \text{ и } \frac{b_1}{b_2})$. В результатах моделирования были получены значения количества обнаруженных ОИП, соответствующие началу их распределения средствам наблюдения, для стороны 1 $Q_1 = 28$, для стороны 2 $Q_2 = 33$. По мере увеличения количества обнаруженных ОИП противостоящей стороны оптимальные доли их распределения средствам наблюдения и воздействия стремятся к равным значениям $(x_1^0 = x_2^0, y_1^0 = y_2^0)$.

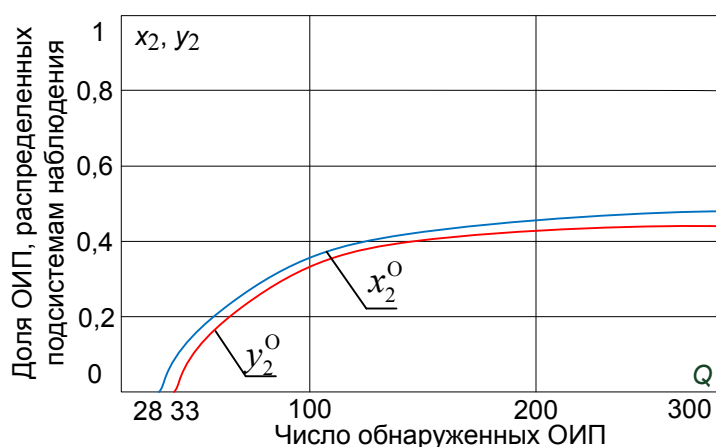


Рис. 2. Вид оптимальных стратегий распределения новых обнаруженных ОИП средствам наблюдения сторон

На рис. 3 представлена зависимость увеличения времени принятия решения в цикле управления обеих сторон при увеличении количества обнаруженных ОИП и условия использования оптимальных стратегий их распределения между подсистемами наблюдения и воздействия. Показано, что преимущество стороны 1 увеличивается до момента начала распределения ОИП средствам наблюдения ($Q_1 = 28$), а в дальнейшем неизменно в случае, если стороны продолжают придерживаться оптимальных стратегий.

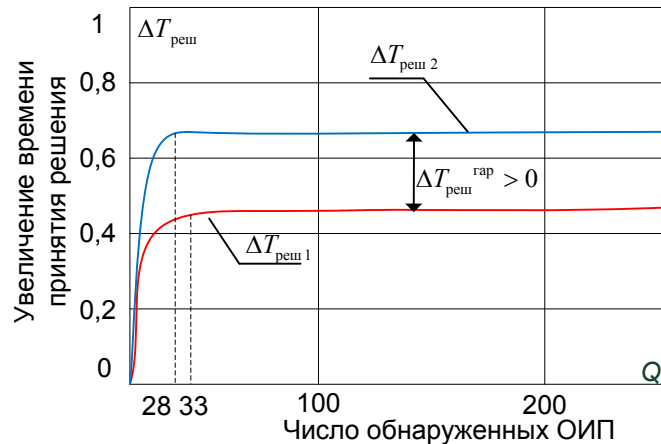


Рис. 3. Зависимость увеличения времени принятия решения в цикле управления от числа обнаруженных ОИП

Расчеты показали, что если одна из сторон, например, сторона 2, прекратит распределение ОИП подсистеме наблюдения, то произойдет увеличение времени принятия решения в цикле управления обеих сторон. Вместе с тем, данный показатель для стороны 2 увеличится в большей степени в том случае, если сторона 1, реагируя на подобное отступление стороны 2 от оптимальной стратегии распределения ОИП, увеличит долю распределения ОИП своей подсистеме наблюдения. Таким образом, показана оптимальность стратегий распределения ОИП, определяемая выражениями (13) и (14).

На втором этапе исследовались изменения оптимальных стратегий и увеличение времени принятия решения в цикле управления в зависимости от отношения числа обнаруженных ОИП сторон $\bar{Q} = \frac{Q_1}{Q_2}$, при этом в качестве

исходных данных были приняты:

- число обнаруженных ОИП стороны 1 стороной 2 не изменяется ($Q_2 = \text{const}$), при этом стороной 1 обеспечивается обнаружение новых ОИП стороны 2 ($Q_1 = 0, \dots, 6Q_2$);
- равное потенциально достижимое преимущество во времени принятия решения в цикле управления: $(T_{2H} + T_{2B}) = (T_{1H} + T_{1B}) = \Delta T_{\text{реш}}$, при моделировании принято $\Delta T_{\text{реш}} = 1$;
- ОИП сторон обладают равной обобщенной скрытностью и устойчивостью к информационным контактам с, соответственно, средствами наблюдения и воздействия: $a_1 = a_2, b_1 = b_2$.

Результаты моделирования представлены на рис. 4. Анализ графических зависимостей позволяет сделать вывод о том, что на начальном этапе участия в информационном конфликте стороны 1 ($Q_1 = 0, \bar{Q} = 0$), оптимальной стратегией стороны 2 является распределение всех обнаруженных ОИП стороны 1 подсистеме наблюдения, с последующим их перераспределением подсистеме воздействия. Для стороны 1 все обнаруживаемые ОИП должны распределяться

подсистеме воздействия, а в последующем, начиная с некоторого момента ($\bar{Q} \approx 0,25$), оптимальным является наращивание доли ОИП, распределенной подсистеме наблюдения.

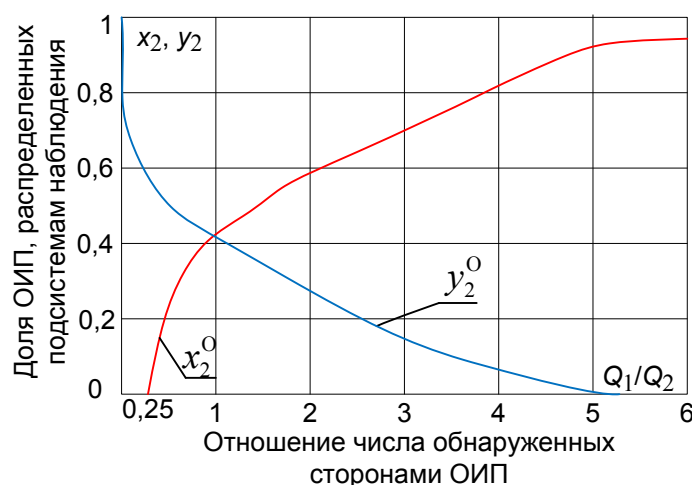


Рис. 4. Вид оптимальных стратегий распределения ОИП средствами наблюдения сторон при $Q_2 = \text{const}$.

По мере дальнейшего увеличения числа обнаруженных ОИП стороны 2 Q_1 увеличивается оптимальная доля ОИП, распределяемых подсистеме наблюдения стороны 1. При этом преимущество во времени принятия решения в цикле управления (выражение (6)) остается за стороной 2 (рис. 5, зона, заштрихованная синим), что объясняется большим количеством обнаруженных ОИП противостоящей стороны. При достижении стороной 1 равенства со стороной 2 в количестве обнаруженных ОИП ($\bar{Q} = 1$), ни одна из сторон не обладает преимуществом во времени принятия решения в цикле управления при дополнительном условии касемо следования сторонами оптимальным стратегиям распределения ОИП (рис. 5).

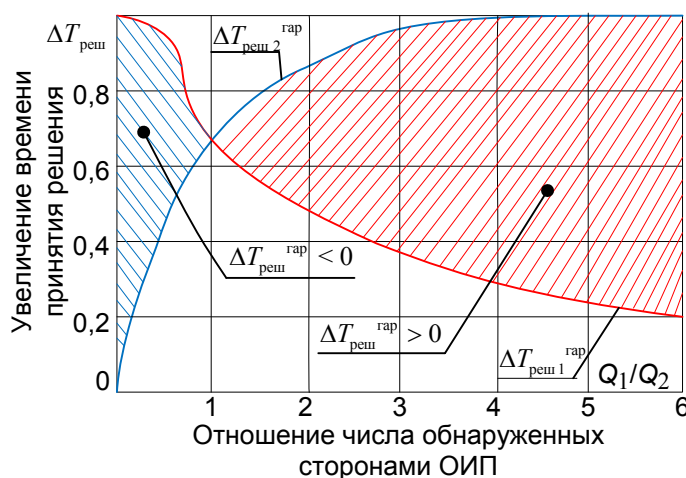


Рис. 5. Зависимость увеличения времени принятия решения в цикле управления от отношения количества обнаруженных сторонами ОИП

В дальнейшем при увеличении количества обнаруженных ОИП стороны 2 стороной 1 преимущество во времени принятия решения в цикле управления переходит к стороне 1 и монотонно увеличивается по мере наращивания данного количества стороной 1 (рис. 4, зона, заштрихованная красным).

Выводы

Предложенная в работе модель позволяет обосновать стратегии распределения ОИП между подсистемами наблюдения и воздействия в интересах достижения превосходства во времени принятия решения в цикле управления. Показано, что в ходе информационного конфликта оптимальным является первоначальное распределение ОИП подсистеме воздействия с последующим их перераспределением подсистеме наблюдения в соответствии с рассчитанными оптимальными стратегиями. В случае если на начальном этапе количество обнаруженных сторонами ОИП неравнозначно, то оптимальным для стороны, имеющей превосходство по данному показателю, является распределение ОИП подсистеме воздействия, а для противостоящей стороны – подсистеме наблюдения. Кроме того, на основе анализа моделей первого этапа можно сделать вывод о том, что увеличение показателя временного преимущества в цикле управления обеспечивается как увеличением числа средств наблюдения и воздействия, участвующих в информационном конфликте в составе соответствующих подсистем, так и улучшением их характеристик, позволяющих снизить вероятность отсутствия доступа средств наблюдения к информации, обработка которой позволит повысить данное преимущество и вероятность отсутствия доступности ОИП противостоящей стороны для средств воздействия. Таким образом, имеется возможность априорного расчета наряда средств наблюдения и воздействия для участия в информационном конфликте в условиях, когда оперативное пополнение группировки данных средств не представляется возможным, например, при ведении боевых действий в территориально удаленном регионе. В целом, полученные в ходе моделирования зависимости не противоречат результатам числовых расчетов, полученным в работе [8], что свидетельствует об адекватности модели. Научная новизна модели определяется тем, что впервые определены стратегии оптимального распределения ресурса, под которым понимается совокупность ОИП ТКС противостоящей стороны, между подсистемами наблюдения и воздействия в условиях информационного конфликта, что в известных авторам работах не осуществлялась.

Литература

1. Дружинин В. В. Конторов Д. С., Конторов М. Д. Введение в теорию конфликта. М.: Радио и связь, 1989. 288 с.
2. Козирацкий Ю. Л., Будников С. А., Гревцев А. И., Иванцов А. В., Кильдюшевский В. М., Козирацкий А. Ю., Куцев С. С., Лысиков В. Ф., Паринов М. Л., Прохоров Д. В. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения. Монография. М.: Радиотехника, 2013. 232 с.

3. Владимиров В. И., Владимиров И. В. Основы оценки конфликтно-устойчивых состояний организационно-технических систем (в информационных конфликтах). – Воронеж: ВАИУ, 2008. – 231 с.
4. Донской Ю. Е., Беседин П. И., Ботнев А. К. Превосходство в управлении – обязательный фактор реализации основных закономерностей оперативного искусства // Военная Мысль. 2017. № 11. С. 28-31.
5. Троценко К. А. Информационное противоборство в оперативно-тактическом звене управления // Военная мысль. 2016. №8. С. 20-25.
6. Михайлов Р. Л., Ларичев А. В., Смыслова А. Л., Леонов П. Г. Модель распределения ресурсов в информационном конфликте организационно-технических систем // Вестник Череповецкого государственного университета. 2016. № 6. С. 24-29.
7. Берзин Е. А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. М.: Советское радио, 1974. 304 с.
8. Берзин Е. А. Оптимальное распределение ресурсов и теория игр. М.: Радио и связь, 1983. 216 с.
9. Гурин Л. С., Дымарский Я. С., Меркулов А. Д., Задачи и методы оптимального распределения ресурсов. М.: Советское радио, 1968. 463 с.
10. Жиликова Л. Ю. Графовые динамические модели и их свойства // Автоматика и телемеханика. 2015. № 8. С. 115-139.
11. Жиликова Л. Ю. Распределение ресурса между аттракторами в регулярных несимметричных ресурсных сетях // Управление большими системами. 2016. Выпуск 60. С. 82-118.
12. Короткова Ю. В. Метод распределения ограниченного ресурса между различными группами на основании их функции полезности // Экономика и математические методы. 2010. Том 46. № 2. С. 89-99.
13. Кочедыков С. С., Кравченко А. С., Родин С. В., Перминов Г. В., Душкин А. В. К вопросу об информационной структуре процесса распределения временного ресурса между разнотипными средствами защиты от несанкционированного доступа // Фундаментальные исследования. 2015. № 5. С. 89-93.
14. Буре В. М., Карелин В. В., Елфимов А. Н. Об одной задаче управления детерминированной системой обслуживания // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2015. № 4. С. 100-112.
15. Буре В. М., Карелин В. В. О задаче динамического распределения ресурса между защитой системы и дублированием ее модулей // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2015. № 3. С. 34-40.
16. Рапопорт Э. О. Об одной задаче управления случайными блужданиями на плоскости // Проблемы информатики. 2014. № 3. С. 12-26.
17. Рапопорт Э. О. Об одной модели оптимального распределения неделимого ресурса // Дискретный анализ и исследование операций. 2005. № 1. С. 55-73.
18. Рапопорт Э. О. Об оптимальном управлении при распределении неделимого ресурса // Дискретный анализ и исследование операций. 2009. № 1. С. 64-79.

19. Серая О. В. Нечеткая задача рационального распределения целочисленного ресурса // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2009. № 1/3 (37) С. 37-40.

20. Полякова Л. Н., Карелин В. В., Буре В. М., Хитров Г. М. Точные штрафные функции в задаче управления одной системой массового обслуживания // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2015. № 1. С. 75-82.

21. Величко С. В., Сербулов Ю. С., Лемешкин А. В. Информационные технологии выбора и распределения ресурсов технологических систем. Монография. Воронеж: Воронежский институт высоких технологий, 2006. 244 с.

22. Макаренко С. И. Динамическая модель двунаправленного информационного конфликта с учетом возможностей сторон по наблюдению, захвату и блокировке ресурса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 60-97. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/06-Makarenko.pdf> (дата обращения 4 декабря 2018).

23. Макаренко С. И. Динамическая модель системы связи в условиях функционально-разнородного информационного конфликта наблюдения и подавления // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 3. С. 122-185. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2015-03/07-Makarenko.pdf> (дата обращения 04.12.2018).

24. Михайлов Р. Л. Двухуровневая модель координации подсистем радиомониторинга и радиоэлектронной борьбы // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 2. С. 43-50.

25. Михайлов Р. Л. Модель динамической координации подсистем наблюдения и воздействия в информационном конфликте в виде иерархической дифференциальной игры трех лиц // Научные технологии. 2018. Т. 19. № 10. С. 44-51.

26. Триус Е. Б. Задачи математического программирования транспортного типа. М.: Советское радио, 1967. 208 с.

27. Михайлов Р. Л. Анализ подходов к формализации показателя информационного превосходства на основе теории оценки и управления рисками // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 3. С. 98-118. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-03/05-Mikhailov.pdf> (дата обращения 4 декабря 2018).

28. Кудрявцев А. М., Андросов В. В. Методика оценки плотности распределения излучений радиоэлектронных средств на местности с целью получения выводов по данным радиомониторинга // Информация и космос. 2007. № 2. С. 95-104.

29. Дворников С. В., Сауков А. М. Модификация частотно-временных описаний нестационарных процессов на основе показательных и степенных функций // Научное приборостроение. 2004. Том 14. № 3. С. 76-85.

References

1. Druzhinin V. V., Kontorov A. S., Kontorov D. S. *Vvedenie v teoriyu konflikta* [Introduction to the Theory of Conflict]. Moscow, Radio i Sviaz Publ., 1989. 288 p. (in Russian).
2. Budnikov S. A., Grevtsev A. I., Ivantsov A. V., Kil'diushevskii V. M., Koziratskii A. Iu., Koziratskii Iu. L., Kushchev S. S., Lysikov V. F., Parinov M. L., Prokhorov D. V. *Modeli informatsionnogo konflikta sredstv poiska i obnaruzheniia. Monografiia* [Model of Information Conflict of Search and Discovery. Monograph]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2013. 232 p. (in Russian).
3. Vladimirov V. I., Vladimirov I. V. *Osnovy otsenki konfliktno-ustoiichivyykh sostoianii organizatsionno-tekhnicheskikh sistem (v informatsionnykh konfliktakh)* [Basis of Assessment of the Conflict-Stable States of Organizational and Technical Systems (in Information Conflicts)]. Voronezh, Military aviation engineering University Publ., 2008. 231 p. (in Russian).
4. Donskov Yu. E., Besedin P. I., Botnev A. P. Superiority in Control is an Obligatory Factor in Realising the Basic Laws of Operational Art. *Military Thought*, 2017, no. 11, pp. 28-31 (in Russian).
5. Trotsenko K. A. Information Warfare at the Operational-Tactical Level of Control. *Military Thought*, 2016, no. 8, pp. 20-25 (in Russian).
6. Mikhailov R. L., Larichev A. V., Smyslova A. L., Leonov P. G. Model of Resource Allocation in a Information Conflict of Complicated Organizational and Technical Systems. *Cherepovets State University Bulletin*, 2016, no. 6, pp. 24-29 (in Russian).
7. Berzin E. L. *Optimal'noe raspredelenie resursov i elementy sinteza sistem* [Optimal Resource Allocation and Elements of Synthesis Systems]. Moscow, Sovetskoe Radio Publ., 1974. 304 p. (in Russian).
8. Berzin E. L. *Optimal'noe raspredelenie resursov i teoriia igr* [Optimal Resource Allocation and Game Theory]. Moscow, Radio i Sviaz Publ., 1983. 216 p. (in Russian).
9. Gurin L. S., Dymarskii Ia. S., Merkulov A. D. *Zadachi i metody optimal'nogo raspredeleniia resursov* [Tasks and Methods of Optimal Allocation of Resources]. Moscow, Sov. Radio Publ., 1968. 463 p. (in Russian).
10. Zhilyakova L. Y. Dynamic Graph Models and Their Properties. *Automation and Remote Control*, 2015, vol. 76, no. 8, pp. 1417-1435 (in Russian).
11. Zhilyakova L. Y. Allocation of Resource Among Attractor-Vertices in Nonsymmetric Regular Resource Networks. *Large-Scale Systems Control*, 2016, no. 60, pp. 82-118 (in Russian).
12. Korotkova Yu. V. Method of Distribution of the Organic Growth between Different Groups according to their Utility Function. *Economics and the Mathematical Methods*, 2010, vol. 46, no. 2, pp. 89-99 (in Russian).
13. Kochedykov S. S., Kravchenko A. S., Rodin S. V., Perminov G. V., Dushkin A. V. To the Question of Information of the Structure Time Allocation of Resources between Different Types of Means of Protection Against Unauthorized Access. *Fundamental research*, 2015, no. 5, pp. 89-93 (in Russian).

14. Bure V. M., Karelin V. V., Elfimov A. N. On a Control Problem of a Deterministic System Service. *Vestnik SPbSU. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2015, no. 4, pp. 100-112 (in Russian).

15. Bure V. M., Karelin V. V. On the Resource Allocation between Protection of the System and Constructing Redundant Components. *Vestnik SPbSU. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2015, no. 3, pp. 34-40 (in Russian).

16. Rapoport E. O. Ob odnoj zadache upravleniya sluchajnymi bluzhdaniyami na ploskosti [On a Problem of Controlling Random Walks on a Plane]. *Problems of Informatics*, 2014, no. 3, pp. 12-26 (in Russian).

17. Rapoport E. O. Ob odnoj modeli optimal'nogo raspredeleniya nedelimogo resursa [About One Model of Optimal Allocation of an Indivisible Resource]. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*, 2005, no. 1, pp. 55-73 (in Russian).

18. Rapoport E. O. About Optimal Control of Allotment of Impartible Resource. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*, 2009, no. 1, pp. 64-79 (in Russian).

19. Seraya O. V. Nechetkaya zadacha racional'nogo raspredeleniya celochislennogo resursa [The Fuzzy Problem of Rational Distribution of an Integer Resource]. *Eastern-European Journal of enterprise technologies*, 2009, vol. 1, no. 3, pp. 37-40 (in Russian).

20. Polyakova L. N., Karelin V. V., Bure V.M., Chitrow G. M. Exact Penalty Functions in the Problem of a Queuing System. *Vestnik SPbSU. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2015, no. 1, pp. 75-82 (in Russian).

21. Velichko S. V., Serbulov Iu. S., Lemeshekin A. V. *Informatsionnye tekhnologii vybora i raspredeleniia resursov tekhnologicheskikh sistem. Monografiia* [Information Technology Acquisition and Resource Allocation Process Systems]. Voronezh, Voronezh Institute of High Technologies Publ., 2006. 244 p. (in Russian).

22. Makarenko S. I. Dynamic Model of the Bi-directional Information Conflict to Take into Account Capabilities of Monitoring, Capturing and Locking of Information Resources. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 60-97. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/06-Makarenko.pdf> (accessed 4 December 2018) (in Russian).

23. Makarenko S. I. Dynamic Model of Communication System in Conditions the Functional Multilevel Information Conflict of Monitoring and Suppression. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 3, pp. 122-185. Available at: <http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-03/07-Makarenko.pdf> (accessed 4 December 2018) (in Russian).

24. Mihailov R. L. Two-level model of coordination of subsystems of radiomonitoring and electronic warfare. *H&ES Research*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 43-50 (in Russian).

25. Mikhailov R. L. Model of Dynamic Coordination of Subsystems of Surveillance and Impact in the Information Conflict as a Hierarchical Differential Game of Three Sides. *Journal Science Intensive Technologies*, 2018, vol. 19, no 10, pp. 44-51. doi: 10.18127/j19998465-201810-08 (in Russian).

26. Trius E. B. *Zadachi matematicheskogo programmirovaniya transportnogo tipa* [Problems of Mathematical Programming of Transport Type]. Moscow, Sovetskoe Radio Publ., 1967. 208 p. (in Russian).

27. Mikhailov R. L. Analysis of Approaches to the Formalization of the Indicator of Information Superiority Based on the Theory of Assessment and Risk Management. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 3, pp. 98-118. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-03/05-Mikhailov.pdf> (accessed 4 December 2018) (in Russian).

28. Kudryavcev A. M., Androsov V. V. Metodika ocenki plotnosti raspredeleniya izlucheniya radioelektronnykh sredstv na mestnosti s cel'yu polucheniya vyvodov po dannym radiomonitoringa [Method of Estimating the Density of the Distribution of Radiation of Radio-Electronic Means on the Ground in Order to Derive Conclusions from Radio Monitoring Data]. *Information and Space*, 2007, no. 2, pp. 95-104 (in Russian).

29. Dvornikov S. V., Saukov A. M. Modification of Time-Frequency Descriptions of Non-Stationary Processes Based on Exponential and Power Functions *Scientific Instrumentation*, 2004, vol. 14, no. 3, pp. 76-85 (in Russian).

Статья поступила: 4 декабря 2018 г.

Информация об авторах

Михайлов Роман Леонидович – кандидат технических наук. Научно-педагогический работник. Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники. Область научных интересов: информационное противоборство, маршрутизация информационных потоков, координация подсистем наблюдения и воздействия. E-mail: mikhailov-rom2012@yandex.ru

Поляков Степан Львович – адъюнкт. Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники. Область научных интересов: телекоммуникационные системы, аудит скрытности. E-mail: stepan.polyakov.91@bk.ru

Адрес: 162622, Вологодская обл., г. Череповец, Советский пр., д. 126.

Model of Optimal Division of Sides Resources During Information Conflict

R. L. Mikhailov, S. L. Polyakov

Relevance. The active use of the information sphere in the course of conflicts of various kinds actualizes the issues of the optimal allocation of available resources, which means the totality of objects of opposing side information space between involved surveillance and impact subsystems. The use of optimal strategies for this allocation will ensure the achievement of superiority or, under unfavorable circumstances, minimization of damage, even in circumstances, where the quantitative and qualitative characteristics of the resources being distributed are inferior to those of the opposing side. **The aim of this paper** is the development of a mathematical model of optimal allocation of limited resources between the surveillance and impact subsystems, which adequately reflects the contribution of these subsystems to the achievement of information superiority in a conflict under the conditions of limited resources of various types. **Methods.** Elements of the theory of optimal resources allocation, the theory of differential games and the dynamic coordination theory. **Novelty.** The elements of novelty of the presented solution are formalized strategies for the

*optimal allocation of a set of objects of the information space of the opposing side between the subsystems of surveillance and impact under conditions of information conflict. **Result.** Using of the presented solution allows justifying strategies for the allocation of objects of the information space between the surveillance and impact subsystems in order to achieve decision time superiority during the control cycle, as well as carry out a priori calculation of the order of observation tools and effects to participate in the information conflict in conditions, where the operational replenishment of assets alignment is impossible. **Practical significance.** The presented solution is proposed to be implemented in the form of mathematical software for carrying out operational calculations for the benefit of the decision maker regarding targeting to observation tools and effects in the information conflict and their dynamic redirection.*

Key words: *information conflict, surveillance subsystem, impact subsystem, optimal resource allocation, radio monitoring, electronic warfare.*

Information about Authors

Roman Leonidovich Mikhailov – Ph.D. of Engineering Sciences. Scientific and pedagogical worker. Cherepovets Higher Military Engineering School of Radio Electronics. Field of research: information warfare, routing of data flow, control of surveillance and impact subsystems. E-mail: mikhailov-rom2012@yandex.ru

Stepan Lvovich Polyakov – doctoral student. Cherepovets Higher Military Engineering School of Radio Electronics. Field of research: telecommunication systems, stealth audit. E-mail: stepan.polyakov.91@bk.ru

Address: Russia, 162622, Vologda region, Cherepovets, Sovetskiy prospect, 126.