

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Моисеев Александр Иванович, кандидат технических наук, окончил трансферный факультет Ульяновского государственного университета. Ведущий инженер ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи, изобретения, зарегистрированные программы для ЭВМ в области исследования и построения автоматизированных систем управления специального назначения. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

В статье предложен подход к оценке параметров функционирования распределенных систем управления. Получены математические выражения для показателей информированности, устойчивости и скрытности.

Ключевые слова: распределенные системы управления, параметры функционирования, информированность, устойчивость, скрытность, оценка.

Введение

Развитие вооруженных сил с каждым годом предъявляет все новые требования как к боевым средствам, так и к системам управления ими. Современные автоматизированные системы управления вооруженными силами характеризуются соответствующими показателями устойчивости, непрерывности, оперативности и скрытности функционирования. Одним из способов улучшения указанных параметров является построение систем на основе распределенной архитектуры. С этой целью создаются так называемые распределенные системы управления (РСУ) [1, 2], основными управляющими элементами которых являются операционные пункты (ОП).

Очевидно, что, как любой целенаправленный процесс, управление может быть организовано по-разному. Для того чтобы проанализировать и сравнить различные варианты построения РСУ боевыми средствами (БС), необходимо выделить ее существенные свойства, определить показатели и разработать модели для их оценки. Исходя из требований, предъявляемых к РСУ, и особенностей ее функционирования, существенно целесообразно считать характеристики информированности, устойчивости и скрытности функционирования. С учетом вышеизложенного актуальной становится задача анализа выявленных параметров функционирования РСУ.

1 Анализ информированности РСУ

Функционирование РСУ подразумевает близкое к автоматическому управление боевыми средствами через развернутую сеть ОП. С этой целью ОП вынужде-

ны непрерывно оценивать складывающуюся обстановку, формировать и выдавать необходимые управляющие сообщения. В то же время необходимо понимать, что в редком случае ОП будут обладать всей полнотой информации. Вследствие этого управление БС будет вестись в условиях неопределенности. Такая ситуация обуславливает необходимость оценки неопределенности данных обстановки, имеющих как на отдельных ОП, так и в РСУ в целом.

Количественной характеристикой неопределенности является энтропия. Факторы, влияющие на энтропию, – технические характеристики средств наблюдения РСУ и тактическое поведение объектов вероятного противника. В результате получения информации от БС энтропия наблюдаемых объектов уменьшается. Кроме того, с течением времени в ходе обмена информацией между ОП неопределенность также уменьшается. Если же вероятный противник применяет средства маскировки, то энтропия увеличивается.

Применим энтропийный подход к анализу информированности РСУ [3].

Под наблюдаемым пространством будем понимать физическую систему, характеризующуюся координатами наблюдаемых объектов:

$$(x, y, z) \in \Omega | \{x < x_0, y < y_0, z < z_0\}.$$

В силу наличия требований к точности определения координат распределение возможного нахождения объектов будет иметь дискретный вид. Общий объем информации об обстановке вычислим по формуле:

$$\Omega_0 = \frac{x_0 y_0 z_0}{\partial_x \partial_y \partial_z},$$

где $\partial_x, \partial_y, \partial_z$ – требуемая точность наблюдения по координатам x, y, z .

В соответствии с известной формулой [4] количество информации, имеющейся в среднем на одном ОП, вычислим по формуле:

$$I_0 = \frac{\frac{4}{3} \pi D^3}{\sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \frac{(1 - p_f)}{T},$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – ошибка определения координат x, y, z ;

D – дальность обнаружения объектов;

p_f – вероятность ложного обнаружения;

T – период обновления информации об обстановке.

Тогда с учетом полученных значений зоны действий РСУ с точки зрения информации об обстановке представим в виде схемы (рис. 1). На схеме использованы следующие обозначения: ОП1, ОП2, ОП3, ОП4, ОП5, ОП6, ОП7 – ОП РСУ; $I_0^1, I_0^2, I_0^3, I_0^4, I_0^5, I_0^6, I_0^7$ – части общего объема информации об обстановке Ω_0 , представляющие объемы собственной информации, имеющиеся на соответствующих ОП, которые при этом на схеме соединены соответствующими каналами связи.

Пусть H – математическое ожидание количества объектов вероятного противника в области действия РСУ, тогда с учетом введенных обозначений в начальный период времени неопределенность данных обстановки на ОП вычислим следующим образом:

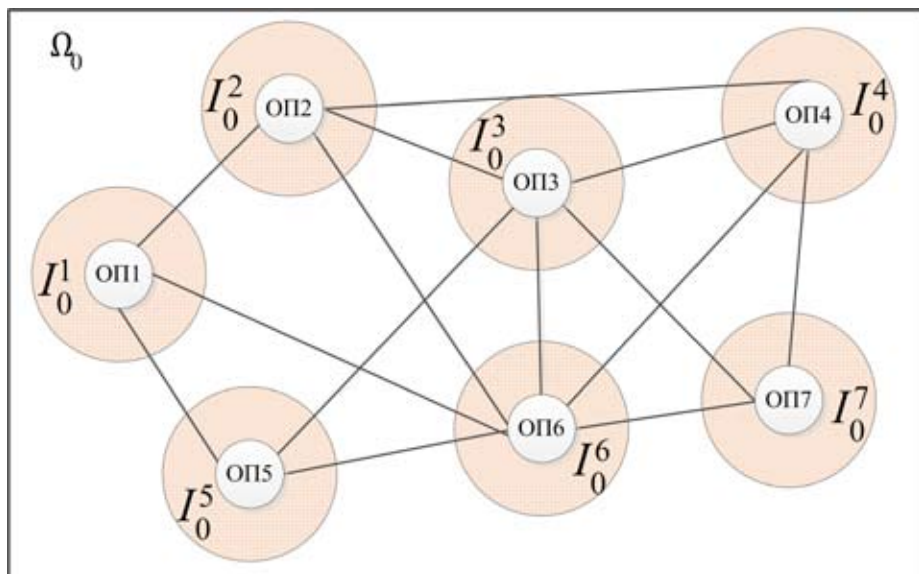


Рис. 1. Схема данных об обстановке

$$Z_0 = \frac{I_0}{\Omega_0} \cdot H.$$

В ходе функционирования РСУ при получении данных по обстановке от других ОП количество информации, имеющееся на ОП, будет увеличиваться на величину

$$f \sim \alpha_0 \cdot M_0 \cdot t,$$

где α_0 – корректирующий коэффициент для одного ОП;

M_0 – совокупная пропускная способность одного ОП со взаимодействующими ОП;

t – время функционирования РСУ. Тогда с учетом дополнительно поступающей информации по обстановке от других ОП динамическая неопределенность данных обстановки на одном ОП равна

$$Z_0(t) = \frac{I_0 + \alpha_0 \cdot M_0 \cdot t}{\Omega_0} \cdot H.$$

Аналогичное значение в целом для РСУ вычислим по формуле:

$$Z(t) = \frac{\bigcup_i I_i + \alpha \cdot M \cdot t}{\Omega_0} \cdot H,$$

где $\bigcup_i I_i$ – совокупный объем собственной информации на всех ОП;

α – корректирующий коэффициент для РСУ;

M – суммарная пропускная способность каналов связи РСУ.

2 Анализ устойчивости РСУ

Решающее значение для обеспечения устойчивости [5] имеют живучесть, помехозащищенность и надежность элементов РСУ.

Для получения интегрированной оценки устойчивости РСУ определим ее частные показатели и проведем их скаляризацию. Для этого в зависимости от приоритета назначим каждому показателю весовой коэффициент ω . После этого, производя аддитивную свертку, введем итоговую оценку устойчивости РСУ:

$$U = \frac{\omega_1 G + \omega_2 J + \omega_3 N}{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3}.$$

Проведем анализ живучести G , помехозащищенности J и надежности N РСУ, которые входят в понятие устойчивости.

2.1 Анализ живучести РСУ

Живучестью [6] РСУ называется свойство системы полностью или частично компенсировать влияние вредных внутренних и внешних воздействий на качество своего функционирования. Она достигается рядом организационно-технических мероприятий, обеспечивающих:

- резервирование элементов РСУ;
- организацию восстановления элементов РСУ;
- мобильность элементов РСУ, а также приспособление структуры и режимов функционирования к обстановке.

С учетом организационно-технических мероприятий, обеспечивающих живучесть РСУ, для количественной оценки живучести введем следующие частные показатели:

- 1) среднее количество путей передачи данных между соседними ОП:

$$G_{\text{нум}}^{\text{ОП}} = \frac{\sum n_i^{\text{нум-оп}}}{n_{\text{ОП}}},$$

где $\sum n_i^{\text{нум-оп}}$ – количество путей передачи данных между ОП, а $n_{\text{ОП}}$ – количество ОП;

- 2) среднее количество путей передачи данных между ОП и подчиненными БС:

$$G_{\text{нум}}^{\text{БС}} = \frac{\sum n_i^{\text{нум-бс}}}{n_{\text{ОП}}},$$

где $\sum n_i^{\text{нум-бс}}$ – количество путей передачи данных между ОП и БС,

$n_{\text{ОП}}$ – количество ОП;

- 3) удельная пропускная способность каналов связи на один элемент системы:

$$\overline{M} = \frac{M}{n_{\text{он}} + n_{\text{БС}}};$$

4) равномерность распределения пропускной способности по элементам системы:

$$\sigma_M = \sum_i |M_i - \bar{M}|,$$

где M_i – пропускная способность каналов связи i -го ОП;

5) коэффициент деградации системы – отношение количества работоспособных состояний ко всей совокупности состояний РСУ:

$$G_d = \frac{N_p}{N_0},$$

где N_p – количество работоспособных состояний ОП, N_0 – общее количество состояний ОП.

ОП характеризуются постепенным изменением (ухудшением или приостановкой) функциональных процессов в случае воздействия негативных факторов. После повреждения РСУ повышается возможность ее дальнейшего функционирования (хоть и с худшими характеристиками);

6) средняя нагруженность ОП – соотношение количества БС к количеству ОП:

$$\bar{R} = \frac{n_{BC}}{n_{on}};$$

7) равномерность нагруженности ОП:

$$\sigma_{\bar{R}} = \sum_i |R_i - \bar{R}|,$$

где R_i – нагруженность i -го ОП.

Для получения итогового показателя живучести РСУ G проведем нормирование и просуммируем полученные их частные значения.

2.2 Анализ помехозащищенности РСУ

Помехозащищенность РСУ – способность функционировать с заданной эффективностью в условиях воздействия помех (внешней среды) на элементы РСУ. Она обеспечивается путем проведения мероприятий по совместимости средств управления, а также реализацией технических и программных способов защиты от помех.

Пусть внешние негативные воздействия (помехи), в которых может находиться РСУ, задаются векторной величиной A , меняющейся с течением времени. Элементы вектора A означают вероятность сохранения работоспособности РСУ в данных условиях. Кроме того, зададим вектор вероятностей нахождения РСУ в заданных внешних условиях P^A . Тогда помехозащищенность РСУ оценим следующим образом:

$$J = \sum_i \alpha_i \cdot p_i^A \left\{ \alpha_i \in A, p_i^A \in P^A \right\}.$$

2.3 Анализ надежности РСУ

Надежность РСУ – свойство технических средств РСУ сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять возложенные на них функции в заданных режимах и условиях применения. Она обеспечивается соответствующими техническими мероприятиями при создании РСУ [7].

РСУ представляет собой систему, имеющую сложную структуру и включающую большое количество составных частей. В связи с этим ее надежность целесообразно рассматривать на двух уровнях [7]:

1) надежность элементов РСУ N_e ; на этом уровне оценивается вероятность выхода из строя отдельных ОП;

2) структурная надежность N_c , под которой понимается ее свойство обеспечивать обмен информацией с заданным качеством.

Поэлементная надежность РСУ является паспортной величиной, и ее анализ в интересах данной работы не проводится.

Структурную надежность РСУ будем оценивать с помощью вычисления вероятности связности РСУ. Целесообразность выбора такого показателя надежности обусловлена тем, что вероятность своевременной доставки сообщения в сети с отказами не может превышать вероятность связности, поскольку для успешной передачи необходимо, чтобы между корреспондирующей парой существовал хотя бы один путь.

Под вычислением вероятности связности РСУ будем понимать аналогичную операцию в отношении графа, составленного на основе РСУ. Примем заранее известными вероятности связности взаимодействующих ОП системы. С учетом введенных обозначений искомый показатель вычислим следующим образом. Предварительно преобразуем полученный граф. Заменяем все последовательные и параллельные соединения в графе в соответствии с методом Шеннона-Мура [3] (рис. 2–4).

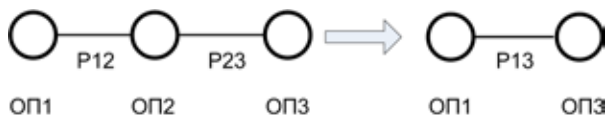


Рис. 2. Последовательное преобразование

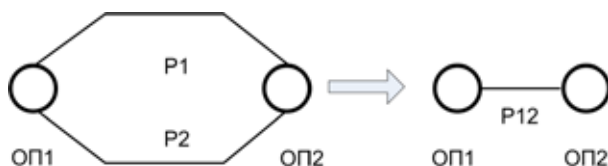


Рис. 3. Параллельное преобразование

1) последовательное преобразование:

В случае последовательного соединения вероятность прохождения информации по данному направлению будем определять как $P_{13} = P_{12} \cdot P_{23}$.

2) параллельное преобразование:

В случае параллельного соединения вероятность прохождения информации по данному направлению будем определять как

$$P_{12} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2).$$

3) преобразование структуры типа «мост»:

При мостиковом соединении элементов РСУ вероятность связности будем оценивать следующим образом:

$$P_{13} = (1 - P_{24})(1 - (1 - P_{12}P_{23})(1 - P_{14}P_{34})) + P_{24}(1 - (1 - P_{12})(1 - P_{14}))(1 - (P_{23})(P_{34})).$$

Эквивалентное разложение мостиковой схемы основано на том, что если ветвь, соединяющая ОП2 и ОП4 исправна (вероятность этого события равна P_{24}), то ОП2 и ОП4 можно объединить в один ОП24, а если эта ветвь неисправна (вероятность этого события равна $1 - P_{24}$), то ее вообще можно исключить из рассмотрения.

Предлагаемый алгоритм анализа структурной надежности РСУ состоит из последовательных этапов, на каждом из которых выбирается случайная дуга графа. Если данная дуга исправна, то информация может пройти по ней или по какому-либо маршруту оставшейся части графа. С другой стороны, если дуга неисправна, тогда информация может пройти только по какому-либо маршруту оставшейся части графа. Далее рекурсивно вычисляем вероятность связности оставшейся части графа. Предложенный алгоритм поясняется следующей формулой:

$$P_n = P_i(1 - (1 - P_i)(1 - P_{n,-i})) + (1 - P_i)P_{n,-i},$$

где P_n – вероятность связности графа с n ОП,

P_i – вероятность связности i -й дуги,

$P_{n,-i}$ – вероятность связности графа без i -й дуги.

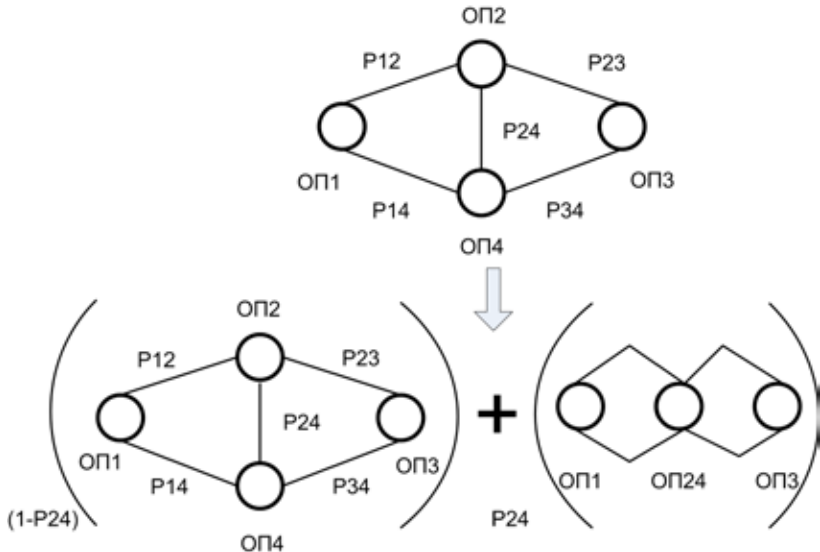


Рис. 4. Преобразование типа «мост»

Соответствующее преобразование структуры графа представлено на рисунках 5–9. Для примера рассмотрен граф, соответствующий РСУ, представленной на рисунке 1. Дуги, полученные после преобразования, на рисунках 5–9 отображены жирными линиями.

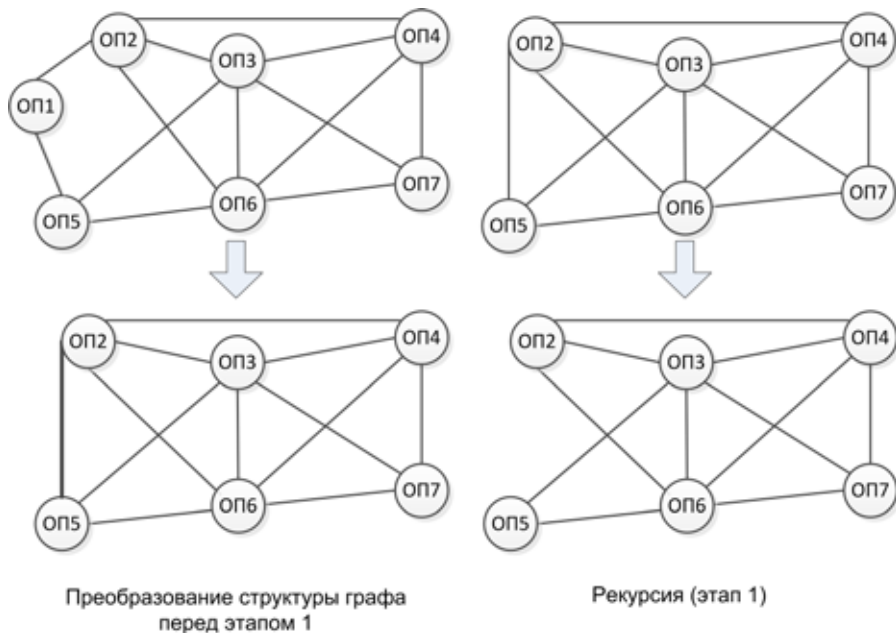


Рис. 5. Преобразование структуры графа и рекурсия (этап 1)

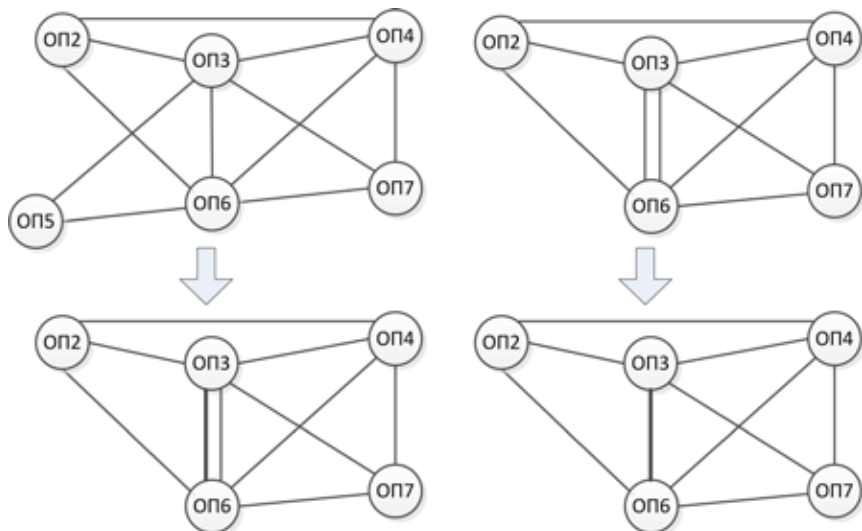


Рис. 6. Преобразование структуры графа перед вторым этапом рекурсии

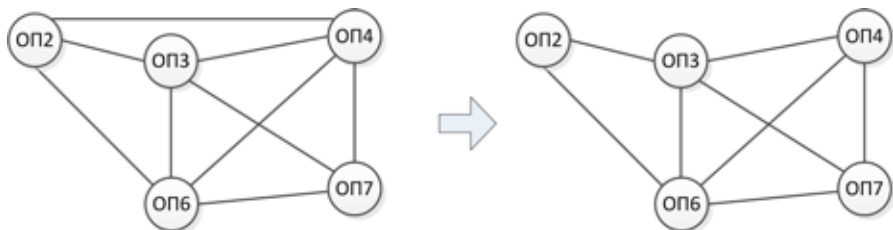


Рис. 7. Рекурсия (этап 2)

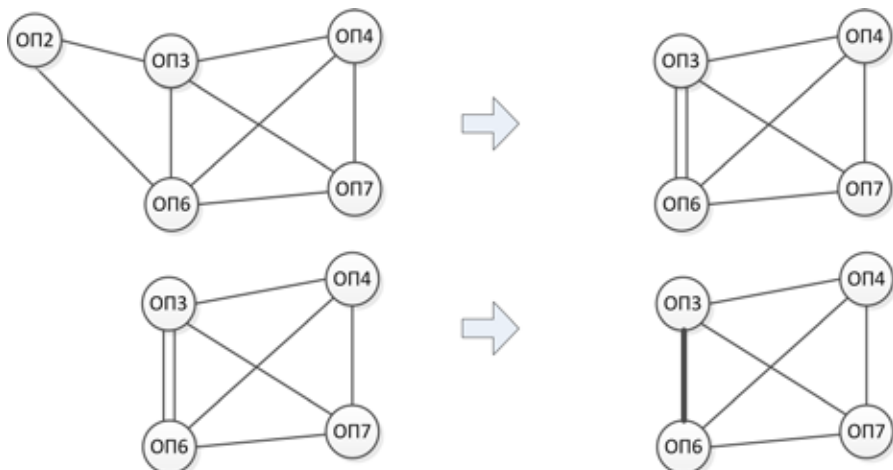


Рис. 8. Преобразование структуры графа перед третьим этапом рекурсии



Рис. 9. Рекурсия (этап 3)

Полученные математические выражения для структурной надежности РСУ и наличие информации о поэлементной надежности РСУ позволяют проанализировать надежность функционирования РСУ в целом.

3 Анализ скрытности РСУ

Под скрытностью РСУ будем понимать результат проведения комплекса мер по противодействию средствам технической разведки ожидаемого противника (и / или любой другой антагонистической стороны).

Техническая разведка направлена на выявление и идентификацию демаскирующих признаков (ДП) РСУ. Тогда под скрытностью РСУ целесообразно понимать совокупную информативность ДП.

На вероятность обнаружения ДП и, соответственно, скрытность РСУ оказывают влияние следующие факторы:

- 1) продолжительность излучения ДП;
- 2) амплитуда излучаемого сигнала.

Учитывая влияние выявленных факторов на скрытность РСУ, информативность i -го ДП целесообразно оценивать по следующей формуле:

$$S_i = \sum_{i=1}^n \frac{(Q_i - Q_0)T_i}{T_0 Q_i} \log_2 \frac{(Q_i - Q_0)T_i}{T_0 Q_i} \quad | \quad Q_i \geq Q_0,$$

где n – количество превышений амплитуды ДП фонового значения;

Q_i – амплитуда излучаемого сигнала при превышении фонового значения;

Q_0 – амплитуда излучения фона;

T_i – продолжительность превышения амплитуды излучаемого сигнала фонового значения;

T_0 – продолжительность анализа ДП.

Суммируя значения информативности ДП по всем видам разведки, получим сводное значение показателя скрытности S .

Заключение

Таким образом, в данной работе проведен анализ параметров функционирования РСУ, а именно устойчивости, скрытности и информированности. В результате были получены соответствующие модели оценки характеристик.

Предложенные модели позволяют далее перейти к сравнительному исследованию РСУ с ее возможными аналогами.

Кроме того, наличие частных математических параметров функционирования РСУ дает возможность создания сводного критерия эффективности для проведения соответствующей оптимизации исследуемой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеев А.И. К вопросу о создании распределенных систем управления // Материалы докладов 23-й Межвузовской научно-технической конференции «Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы, подготовка специалистов». Часть 1. – Петродворец : ВМИРЭ им. А.С. Попова, 2012. – С. 45–51.
2. Моисеев А.И., Кальников В.В. Узловой элемент распределенной системы управления // Труды конференции молодых ученых и специалистов «Информационные технологии в автоматизированных системах управления специального назначения». – М. : НИИАА, 2011. – С. 34–39.
3. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М. : Наука, 1987. – 305 с.

4. Моисеев А.И. Методика оценки качественных характеристик БСН // Труды молодежной научно-технической конференции ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». – Ульяновск, 2010. – С. 46–53.
5. ГОСТ 34.003-90. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2005. – 34 с.
6. Подлесный Н.И., Россоха А.А., Левков С.П. Специальные методы идентификации, проектирования и живучесть систем управления. – К. : Выща шк, 1990. – 446 с.
7. Жирухин В.В. Основы надежности военной техники связи и АСУ. – Ульяновск : УВВИУС, 1994. – 102 с.