

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОХРАННОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ОТДЕЛА ПОЛИЦИИ

В. А. Дурденко*, А. А. Рогожин**

*Воронежский государственный университет

**Воронежский институт МВД России

Поступила в редакцию 20.10.2015 г.

Аннотация. Разработана схема функциональной целостности, логическая и вероятностная модели работоспособного состояния системы охранной телевизионной отдела полиции. Приведен расчет коэффициента готовности, значимостей, положительных и отрицательных вкладов всех элементов в общую надежность системы охранной телевизионной отдела полиции.

Ключевые слова: система охранная телевизионная, отдел полиции, общий логико-вероятностный метод, технология автоматизированного структурно-логического моделирования, схема функциональной целостности, оценка надежности.

Annotation. The scheme of functional integrity, logical and probability models of the usable state of a closed circuit television of police department is developed. The calculation of the coefficient of readiness, importance, positive and negative effect of all elements on the reliability of a closed circuit television of police department is given.

Keywords: closed circuit television, police department, the general logiko-probabilistic method, technology of the automated structural and logical modeling, the scheme of functional integrity, estimation of reliability.

ВВЕДЕНИЕ

Объекты органов внутренних дел (ОВД) Российской Федерации уязвимы в диверсионном отношении и подвержены проявлению как криминальных, так и террористических угроз. В этой связи достаточно актуальным является вопрос повышения уровня их противокриминальной и антитеррористической защищенности.

В соответствии с требованиями МВД России объекты ОВД должны иметь соответствующий уровень инженерно-технической укреплённости и быть оснащены современными техническими средствами охраны, в том числе системами охраняемыми телевизионными.

В связи с актуальностью обеспечения и/или повышения противокриминальной и антитеррористической защищенности объектов ОВД целью статьи является разработка

математической модели, расчет показателей надежности и количественная оценка надежности системы охранной телевизионной (СОТ) отдела полиции.

При разработке математической модели оценки надежности СОТ отдела полиции будет использована единая методика общего логико-вероятностного метода моделирования (ОЛВМ), которая характеризуется следующими основными этапами:

- анализ исходных данных для моделирования;
- определение структурной схемы СОТ для формализованной постановки задачи моделирования оценки ее надежности и определение исходных данных (вероятностных, временных параметров элементов СОТ);
- принятие и формулировка основных ограничений и допущений;
- формирование перечня оцениваемых показателей надежности СОТ;

- формализованная постановка задачи моделирования и расчета, включающая в себя разработку схемы функциональной целостности (СФЦ) СОТ и задание логического критерия ее функционирования (ЛКФ);
- построение логической математической модели (логической функции) работоспособности СОТ;
- построение расчетной вероятностной модели, позволяющей количественно оценить исследуемое свойство надежности СОТ;
- проведение вычислительного эксперимента по расчету оцениваемых показателей

надежности с помощью программного комплекса «АРБИТР», анализ полученных данных.

АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

На рис. 1 изображен план расположения оборудования СОТ первого этажа отдела полиции с указанием контролируемых зон, на рис. 2 – второго этажа. На рис. 3 изображена структурная схема СОТ отдела полиции и условные графические обозначения использованных технических средств.

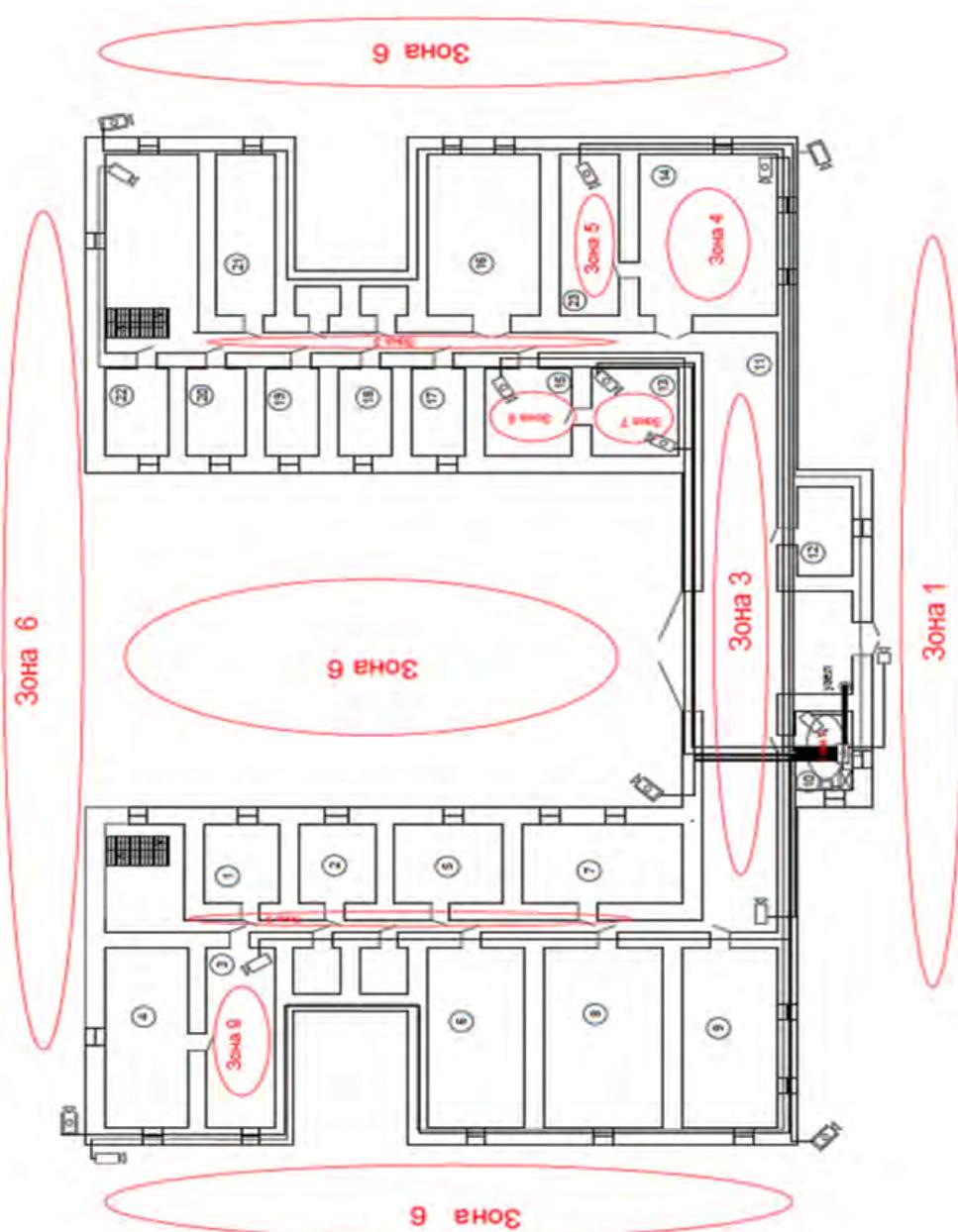


Рис. 1. План расположения оборудования СОТ первого этажа отдела полиции

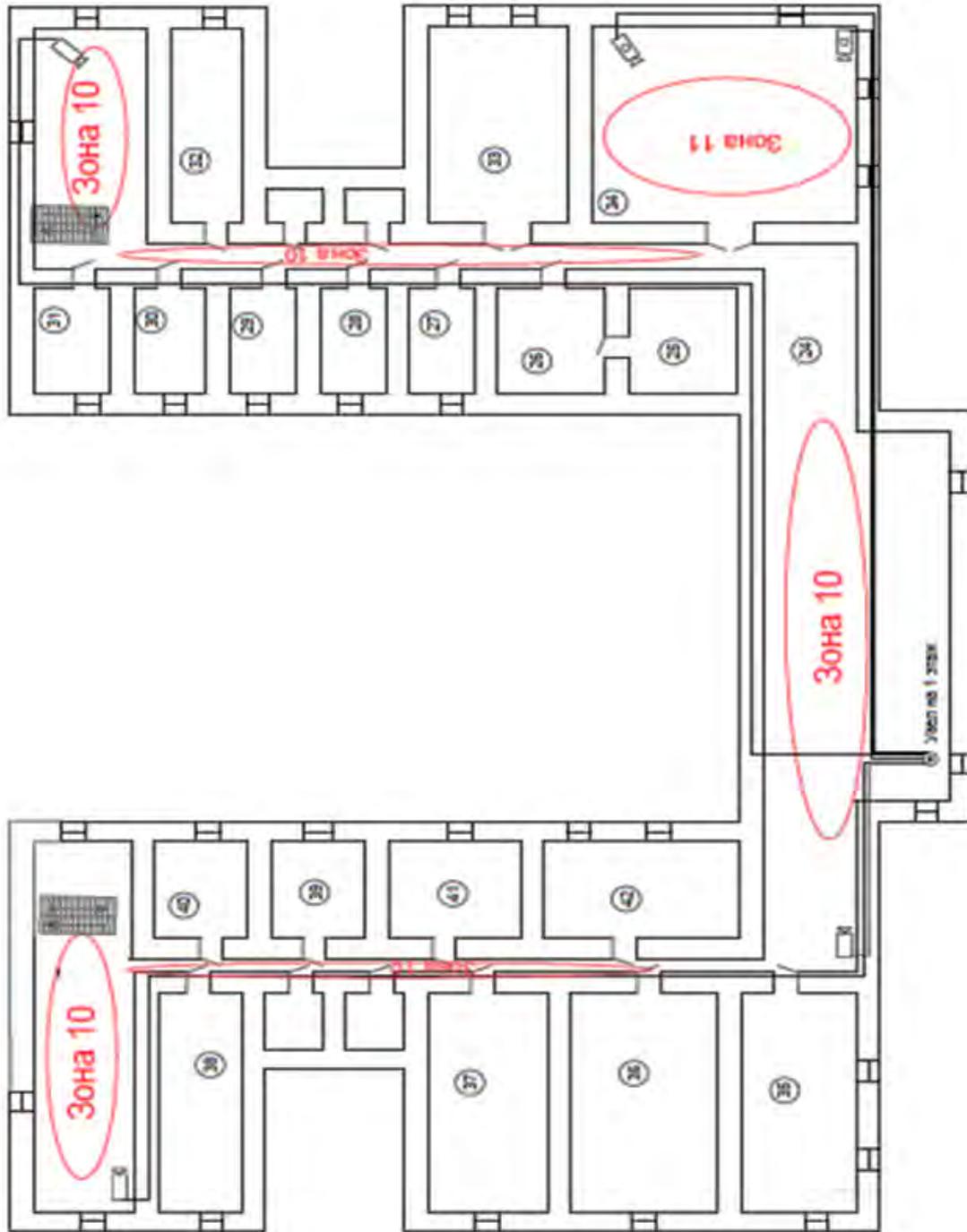


Рис. 2. План расположения оборудования СОТ второго этажа отдела полиции

В такой структуре СОТ состояние работоспособности видеокамер, видеосервера и видеомонитора обеспечивается бесперебойным электропитанием с помощью соответствующих аккумуляторных батарей.

Для реализации СОТ на территории отдела полиции предлагается использовать следующий набор оборудования (см. табл. 1).

Причем время наработки на отказ каждого прибора взято из соответствующих тех-

нических паспортов. Время восстановления работоспособного состояния оборудования (24 ч) принято экспертным путем с учетом наличия на объекте запасных частей, необходимых инструментов и квалифицированного персонала.

Далее необходимо сформулировать логический критерий функционирования (ЛКФ) СОТ, т. е. при каких условиях СОТ выполняет целевую функцию.

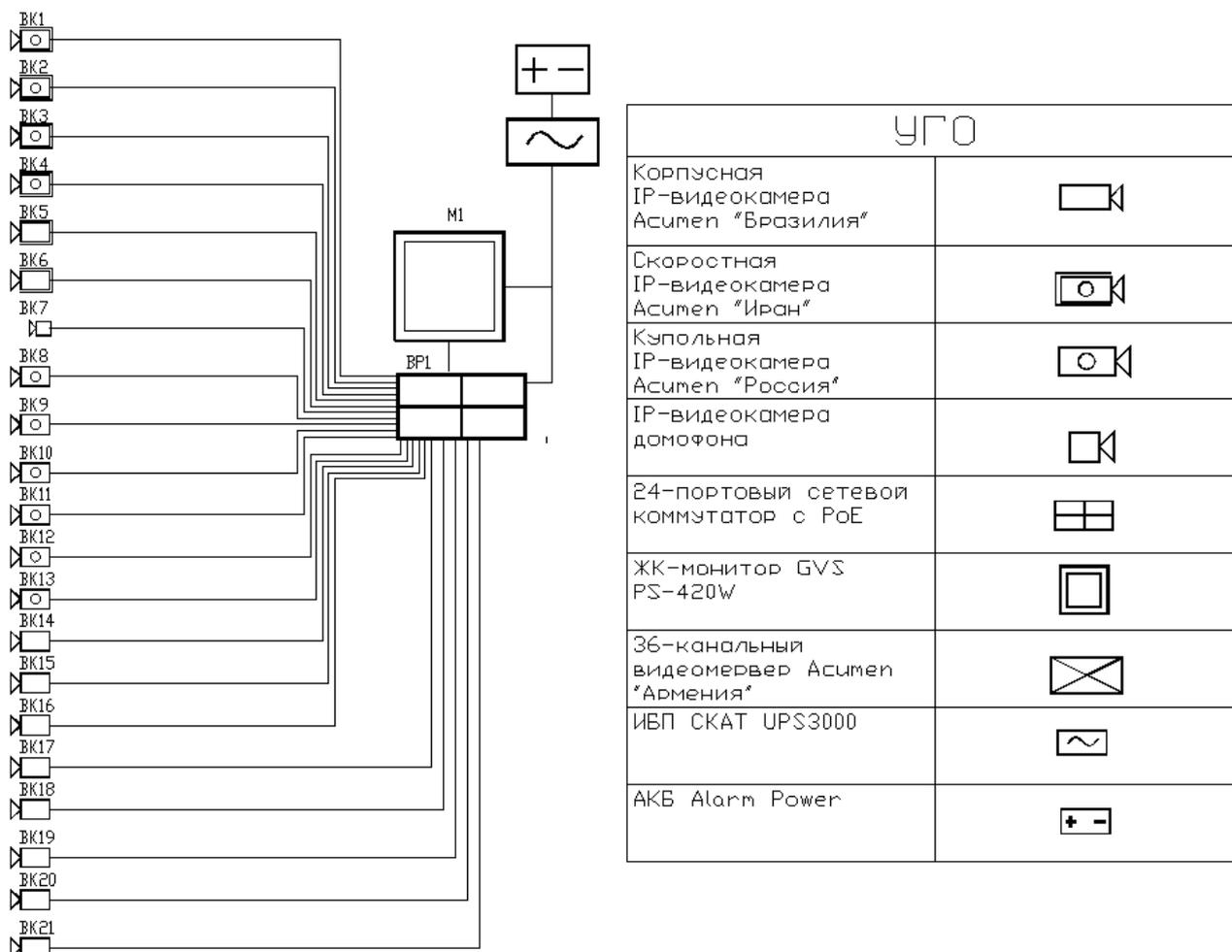


Рис. 3. Структурная схема и условные графические обозначения СОТ отдела полиции

Объективно ЛКФ СОТ интерпретируется следующим образом: СОТ выполняет свою целевую функцию, т. е. СОТ работоспособна, когда работоспособны все ее элементы: видеокамеры, сетевой коммутатор, видеосервер, монитор, и источник бесперебойного электропитания с аккумуляторными батареями. Только при таком «жестком» ЛКФ возможна реализация целевой функции по видеоконтролю всех защищаемых зон объекта, т. е. достигается самый высокий уровень эффективности в работы СОТ.

1. ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ И ДОПУЩЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ СОТ

При моделировании и оценке надежности СОТ приняты следующие ограничения и допущения:

– Независимость в совокупности отказов всех элементов СОТ. Отказы отдельных элементов возникают по причинам их естественного старения, что обычно не зависит от состояний других элементов системы. Поэтому данное допущение для проектной оценки надежности СОТ может быть принято.

– Все структурные элементы СОТ восстанавливаются. Неограниченность процессов восстановления отказавших элементов. Это означает, что в процессе эксплуатации СОТ восстановление элементов начинается сразу после момента их отказа и осуществляется с постоянной интенсивностью, независимо от числа одновременно отказавших элементов в системе. Это положение допустимо, поскольку в проектируемой СОТ все элементы высоконадежные, а интенсивности их восстановления на много порядков выше интенсивности отказов. В этом случае одновременный отказ двух и более элементов на небольшом

Описание оборудования СОР отдела полиции г. Новый Оскол

№ п/п	Наименование оборудования	Количество, шт.	Время наработки на отказ, час (не менее)	Время восстановления, час
1	Стандартная IP камера AiP -B53A-05Y2B «Бразилия» Acumen	4	30000	24
2	Всепогодная IP камера AiP -M53K-45N0B «Мальта» Acumen	4	50000	24
3	Купольная IP камера AiP -R53S-05Y1B «Россия»	6	40000	24
5	Скоростная IP камера AiP-I34H-02N2B «Иран» Acumen	7	60000	24
7	Сетевой коммутатор AiP-4G39 Acumen	1	37000	24
8	36-канальный видеосервер Acumen AiP-AiM036 «Армения»	1	37000	24
9	Жидкокристаллический видеомонитор JVC PS-420W	1	50000	24
10	АКБ ALARM POWER AP100-12	2	10000	24
11	ИБП SKAT-3000 UPS RACK	1	40000	24

интервале времени восстановления крайне маловероятен и им можно пренебречь. Следовательно, независимость и неограниченность восстановлений отказавших элементов в проектируемой СОР обеспечивается даже небольшим количеством обслуживающих сотрудников.

– В расчетах считается, что случайные величины времени безотказной работы и времени восстановления всех элементов СОР распределены по экспоненциальному закону. Для простых элементов (без собственного внутреннего резервирования) эти допущения вполне приемлемы.

– Все средства подключения резервных элементов (если таковые имеются) и кабельные изделия считаются абсолютно надежными. Это положение считается допустимым, поскольку в проектируемой СОР все функции переключения резервов относительно простые.

– Допускается, что изменение показателей надежности некоторых элементов не оказывает существенного влияния на надежность всей СОР.

2. ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ ОЦЕНИВАЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СОР

В качестве оцениваемых показателей надежности СОР предлагается определить (промоделировать и рассчитать):

1. Комплексный показатель – коэффициент готовности (K_g) к выполнению целевой функции, согласно ГОСТ $K_g \text{ гост} = 0,93$ [1].

2. Характеристики значимостей элементов в «общей надежности» СОР (значимость показателя надежности элемента для общего показателя надежности СОР в целом). Величина значимости отдельного элемента i точно равна изменению значения системной ха-

рактеристики R_{cot} (в нашем случае – K_{gcot}) вследствие изменения собственного параметра P_i от 0 до 1, и фиксированных значениях параметров всех других элементов СОТ.

3. Положительные и отрицательные вклады элементов [2] в комплексный показатель – коэффициент готовности K_{gcot} .

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ СОТ

Структурно-логическая модель – схема функциональной целостности (СФЦ) – это своеобразная знаковая система, графический язык записи формализованных знаний человека о составе и условиях функционирования элементов в исследуемой системе. С одной стороны, этот язык является относительно простым и удобным для разработчика модели и пользователя. С другой стороны, аппарат СФЦ является формальным, т. е. математически строгим, что позволяет достаточно точно представлять в структурной модели все существенные логические связи, отношения и зависимости, обеспечивающие адекватность СФЦ моделируемой системе. В математическом смысле СФЦ – это строгие знания, позволяющие определить состояния системы, в которых она выполняет, и состояния, в которых она не выполняет свое функциональное назначение. Методика построения, изобразительные средства построения и основные фрагменты СФЦ представлены в пособии [2].

Разрабатываемая СФЦ должна однозначно определять либо работоспособное состояние СОТ (прямой подход), либо состояние ее отказа (обратный подход). Используем прямой подход к оценке надежности СОТ, т.е. в соответствующей СФЦ СОТ будут использованы элементы, обеспечивающие и влияющие на выполнение целевой функции СОТ, характеризующие работоспособность СОТ. Для этого необходимо выделить из вербально-графического описания СОТ, приведенного выше (см. рис. 3, табл. 2), конечное число элементарных бинарных событий, их точное смысловое описание и отображение в СФЦ функциональными вершинами. Все

эти бинарные события должны быть параметрически определены и в совокупности, с достаточной (согласно принятым допущениям и ограничениям) точностью, структурно представлять моделируемое свойство надежности СОТ, а именно коэффициент готовности СОТ к выполнению целевой функции.

Для восстанавливаемых элементов СОТ в СФЦ (структурных элементов или технических средств СОТ) задается среднее время наработки на отказ $T_{срi}$, [ч] и среднее время восстановления $T_{вi}$, [ч] (см. табл. 2.).

Для структуры СОТ на рис. 3 с учетом принятых условий реализации основных функций структурных элементов, число элементов в СФЦ СОТ составит – $X_i = N = 26$, где X_i – это бинарное событие реализации/не реализации элементом i СФЦ СОТ своей целевой функции (состояние безотказности/отказа, готовности элемента i).

Логическая функция сформулированного ЛКФ будет выглядеть следующим образом:

$$ЛКФ = y_{30} = y_{27} \wedge y_{29}, \quad (1)$$

где \wedge – логическое умножение (логическая операция «И»).

В результате ввода исходных данных в ПК «АРБИТР» получена СФЦ СОТ заданной конфигурации для моделирования и расчета коэффициента готовности $K_{gСОТ}$ при заданном ЛКФ, которая показана на рис. 4.

Используя разработанную СФЦ и задав параметры надежности элементов, возможно дальнейшее моделирование и расчет оцениваемых показателей надежности СОТ.

РАЗРАБОТКА ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОТ

В результате автоматизированного моделирования в ПК «АРБИТР» получена логическая функция работоспособности СОТ для моделирования и расчета коэффициента готовности $K_{gСОТ}$ с учетом заданного ЛКФ будет состоять из 2 конъюнкций:

$$Y_{30} = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11} X_{12} X_{13} X_{14} X_{15} X_{16} X_{17} X_{18} X_{19} X_{20} X_{21} X_{22} X_{23} X_{25} \vee X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11} X_{12} X_{13}$$

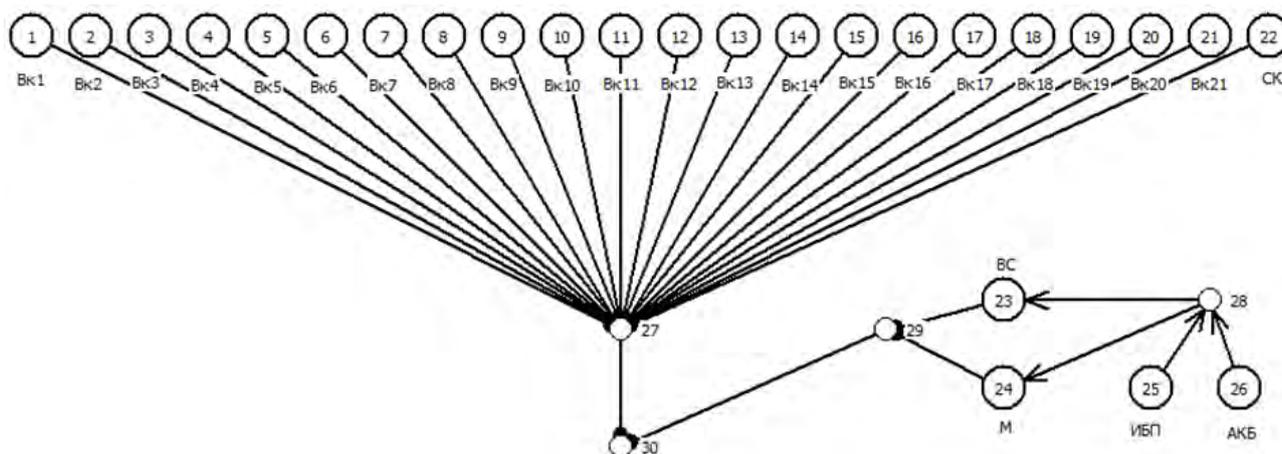


Рис. 4. СФЦ СОР для моделирования $Kg_{\text{СОР}}$ при заданном ЛКФ

$$\begin{matrix} X_{14} & X_{15} & X_{16} & X_{17} & X_{18} & X_{19} \\ X_{20} & X_{21} & X_{22} & X_{24} & X_{25} & X_{26} \end{matrix} \quad (2)$$

В полученной логической модели описание бинарных событий $X_i = i$ приведено в табл. 3.

РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОР

В результате автоматизированного моделирования в ПК «АРБИТР» преобразована из логической (с помощью специального графоаналитического метода) и получена расчетная вероятностная модель функционирования (работоспособности) РСОР для расчета коэффициента готовности $Kg_{\text{СОР}}$ с учетом заданного ЛКФ, которая будет состоять из 2 одночленов:

$$P_{\text{СОР}} = Kg_{\text{СОР}} = P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 P_8 P_9 P_{10} P_{11} P_{12} P_{13} P_{14} P_{15} P_{16} P_{17} P_{18} P_{19} P_{20} P_{21} P_{22} P_{23} P_{24} P_{25} + P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 P_8 P_9 P_{10} P_{11} P_{12} P_{13} P_{14} P_{15} P_{16} P_{17} P_{18} P_{19} P_{20} P_{21} P_{22} P_{23} P_{24} Q_{25} P_{26} \quad (3)$$

В полученной вероятностной модели P_i – это значение собственного вероятностного показателя надежности элемента i , в наше случае, – $P_i = Kgi$ элементов. Значения $P_i = Kgi$ представлены в табл. 3.

Подставив вероятностные показатели надежности элементов в полученные расчетные вероятностные модели всегда можно вычислить нужный системный показатель надежности СОР, в нашем случае $Kg_{\text{СОР}}$. И, соответственно, количественно оценить надежность СОР на стадии проектирования.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ОЦЕНИВАЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СОР

В табл. 3 сведены вероятностные и временные показатели надежности элементов СФЦ СОР заданной конфигурации. Так как СОР является полностью восстанавливаемой системой, для структурных элементов СОР также задается время восстановления T_v из отказа в работоспособное состояние.

Результаты расчетов оцениваемых показателей надежности СОР.

Параметры СФЦ СОР:

Число вершин – $N = 30$ (функциональные и фиктивные – вспомогательные).

Число элементов – $H = 26$ (функциональные).

С помощью ПК «АРБИТР» при заданном ЛКФ был рассчитан основной показатель надежности – коэффициент готовности $Kg_{\text{СОР}}$ к выполнению целевой функции, а также другие важные показатели надежности СОР:

$Kg_{\text{СОР}} = 0,99$ – коэффициент готовности СОР.

$To_{\text{СОР}} = 16610180$ час (1896 год) – средняя наработка на отказ СОР.

$Tv_{\text{СОР}} = 24$ часа – среднее время восстановления СОР.

$W_{\text{СОР}} = 0,000527$ – частота (средняя интенсивность) отказов (1/год) СОР.

$Q_{\text{СОР}}(1000) = 0,000060$ – приближенная вероятность отказа СОР.

Таблица 3

Результаты расчета показателей надежности элементов СФЦ СОТ при заданном ЛКФ с помощью ПК «АРБИТР»

№ элемента i СФЦ	$P_i = Kgi$	Значимость элемента ξ_i	Отрицательный вклад β_i^-	Положительный вклад β_i^+	Наименование элемента СФЦ
1	2	3	4	5	6
1	1	1	-1	0,000000091324	Безотказность видеокамеры (ВК 1)
2	1	1	-1	0,000000091324	Безотказность видеокамеры (ВК 2)
3	1	1	-1	0,000000045662	Безотказность видеокамеры (ВК 3)
4	1	1	-1	0,000000091324	Безотказность видеокамеры (ВК 4)
5	1	1	-1	0,000000091324	Безотказность видеокамеры (ВК5)
6	1	1	-1	0,000000091324	Безотказность видеокамеры (ВК 6)
7	1	1	-1	0,000000045662	Безотказность видеокамеры (ВК 7)
8	1	1	-1	0,000000068493	Безотказность видеокамеры (ВК8)
9	1	1	-1	0,000000068493	Безотказность видеокамеры (ВК 9)
10	1	1	-1	0,000000068493	Безотказность видеокамеры (ВК10)
11	1	1	-1	0,000000068493	Безотказность видеокамеры (ВК11)
12	1	1	-1	0,000000054794	Безотказность видеокамеры (ВК12)
13	1	1	-1	0,000000054794	Безотказность видеокамеры (ВК13)

1	2	3	4	5	6
14	1	1	-1	0,000000054794	Безотказность видеокамеры (ВК14)
15	1	1	-1	0,000000054794	Безотказность видеокамеры (ВК15)
16	1	1	-1	0,000000054794	Безотказность видеокамеры (ВК16)
17	1	1	-1	0,000000054794	Безотказность видеокамеры (ВК 17)
18	1	1	-1	0,000000091324	Безотказность видеокамеры (ВК 18)
19	1	1	-1	0,000000091324	Безотказность видеокамеры (ВК 19)
20	1	1	-1	0,000000091324	Безотказность видеокамеры (ВК 20)
21	1	1	-1	0,000000091324	Безотказность видеокамеры (ВК 21)
22	1	1	-1	0,000000074047	Безотказность сетевого коммутатора (СК 22)
23	1	1	-1	0,000000074047	Безотказность видеосервера (ВС 23)
24	1	0,00000027397	-0,00000027397	0,000000000000018765	Безотказность источника бесперебойного питания (ИБП 25)
25	1	0,000000068493	-0,000000068493	0,000000000000018765	Безотказность АКБ (АКБ 26)

Результаты расчета показателей надежности и значимостей элементов СФЦ СОТ приведены в табл. 3.

Графическое представление результатов вычислительного эксперимента отображено на рис. 5–7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа полученных данных можно сделать вывод о соответствии предложенной структуры СОТ требованиям ГОСТ

с точки зрения надежности. Действительно, выполняется условие:

$$K_{г\text{ СОТ}} \geq K_{г\text{ СОТ гост}},$$

т.е. рассчитанное значение коэффициента готовности $K_{г\text{ СОТ}} = 0,99$ больше значения, установленного ГОСТ Р 53704-2009, $K_{г\text{ СОТ гост}} = 0,93$.

Рассчитанные показатели значимостей и вкладов элементов в системный показатель надежности $K_{г\text{ СОТ}}$ дают детальное представление об уязвимых элементах, надеж-

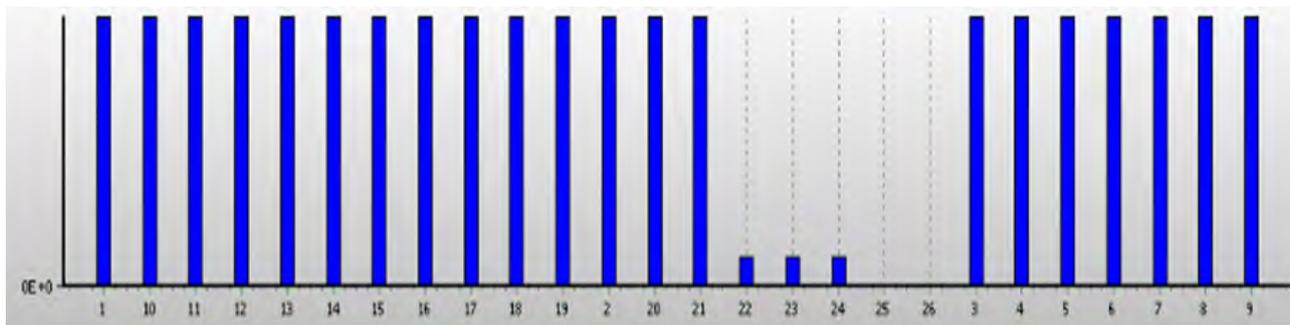


Рис. 5. Диаграмма значимостей элементов СОР для $K_{g_{COT}}$

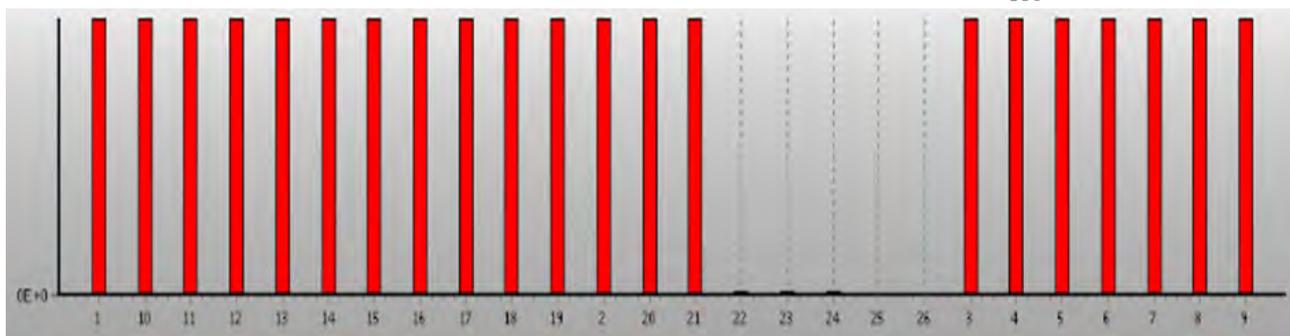


Рис. 6. Диаграмма положительных вкладов элементов СОР в $K_{g_{COT}}$

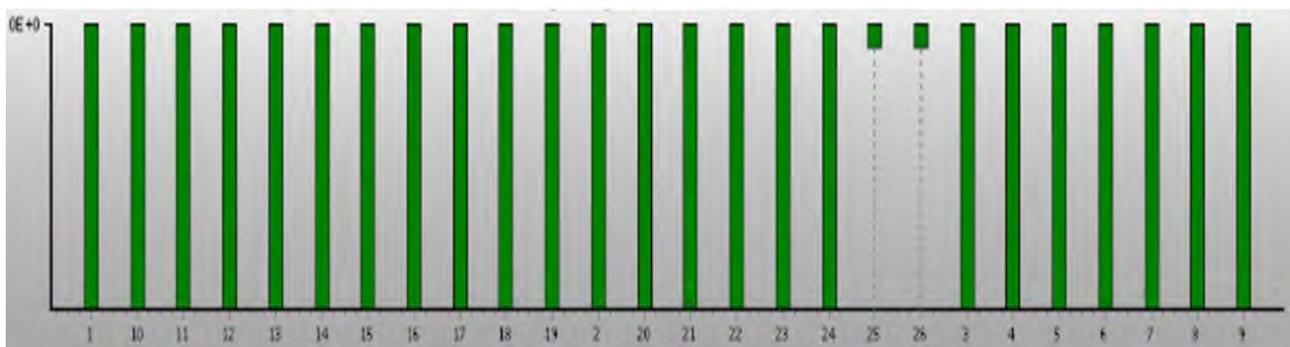


Рис. 7. Диаграмма отрицательных вкладов элементов СОР в $K_{g_{COT}}$

ность которых существенно влияет на общую надежность исследуемой СОР. Например, если повысить значение коэффициента готовности элемента 1 (видеокамера) от текущего значения до «1», то значение коэффициента готовности СОР в целом увеличится на величину «0,000000091324», что видно из табл. 3 и является значительно большим вкладом относительно других элементов системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53704-2009. Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования.

2. Можяев А.С., Громов В.Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного мето-

да автоматизированного моделирования систем. – СПб. : ВИТУ, 2000. – 145 с.

3. Можяев А. С., Киселев А. В., Струков А. В., Скворцов М. С. Отчет о верификации программного средства «Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем» (АРБИТР, ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0). Заключительная редакция с приложениями. СПб.: ОАО «СПИК СЗМА», 2007. – 1031 с.

4. Рогожин А. А. Количественная оценка надежности интегрированной системы безопасности на основе логико-вероятностного моделирования / А. А. Рогожин, В. А. Дурденко // Вестник Воронежского института МВД России. 2013. – № 2. – С. 207–215.

5. Рогожин А. А. Логико-вероятностное математическое моделирование и оценка надежности системы контроля и управления доступом / А. А. Рогожин, В. А. Дурденко, Б. О. Баторов // Вестник Воронежского государственного университета. Системный анализ и информационные технологии. – 2014. – № 1. – С. 5–17.

6. Рогожин А. А. Математическое моделирование и оценка надежности интегрированной системы безопасности при воздействии дестабилизирующих факторов / А. А. Рогожин, В. А. Дурденко, Б. О. Баторов // Вестник Воронежского института МВД России. – 2014. – № 1. – С. 75–86.

7. Рогожин А. А. Математическое моделирование и оценка надежности интегрированных систем безопасности охраняемых объектов с использованием общего логико-вероятностного метода системного анализа / А. А. Рогожин, В. А. Дурденко, Б. О. Баторов // Фундаментальные проблемы системной безопасности и устойчивости: материалы V Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения выдающегося ученого, генерального конструктора ракетно-космических систем академика В. Ф. Уткина. – Елец : Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2014. – С. 35–41.

8. Рогожин А. А. Математическое моделирование и оценка надежности системы охранной телевизионной железнодорожного вокзала / А. А. Рогожин // Фундаментальные проблемы системной безопасности: материалы II школы-семинара молодых ученых. – Елец : Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2015. – С. 116–127.

9. Рогожин А. А. Математическое моделирование и расчет оценки надежности системы охранной телевизионной типового автозаправочного комплекса / А. А. Рогожин, В. А. Дурденко, М. О. Вялкова // Математические методы и информационно-технические средства: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар: Краснодарский университет МВД России, 2013. – С. 252–261.

10. Рогожин А. А. Формирование перечня оцениваемых показателей надежности интегрированной системы безопасности на стадии проектирования / А. А. Рогожин, В. А. Дурденко // Актуальные вопросы эксплуатации систем охраны и защищенных телекоммуникационных систем: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2013. – С. 140–142.

Дурденко Владимир Андреевич – д.т.н., профессор кафедры информационных технологий управления, Воронежский государственный университет.

Тел.(473) 2-208-909. E-mail: dva_viis@mail.ru

Рогожин Александр Александрович – преподаватель кафедры вневедомственной охраны Воронежского института МВД России.

Тел. (473) 200-52-84. E-mail: raa_tsbs@list.ru

Durdenko Vladimir A. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of information technology management, Voronezh State University.

Tel. (473) 2-208-909. E-mail: dva_viis@mail.ru

Rogozhin Alexander A. – Lecturer, Department of private security, Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Tel. (473) 200-52-84. E-mail: raa_tsbs@list.ru