

А.А. Рогожин, М.А. Ледовская, Д.Л. Куропятник  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИСТЕМ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
ОБЪЕКТОВ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ**

*Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации, Краснодар, Россия*

*В настоящее время остается актуальной проблема отключений напряжения в системах электроснабжения объектов органов внутренних дел. В статье проанализирована статистика аварийных отключений электрооборудования, вызванных авариями или внеплановыми отключениями объектов электросетевого хозяйства. Приведена классификация категорий потребителей перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения. Для обеспечения надлежащего уровня надежности энергообеспечения наиболее важных потребителей, разработана структурная схема бесперебойного электроснабжения технических средств объектов органов внутренних дел, на основе комбинированного использования источников бесперебойного электроснабжения и устройства многоступенчатого автоматического ввода резерва, позволяющая обеспечить постоянный режим электроснабжения наиболее ответственных приемников электрической энергии. Выполнено моделирование и расчет комплексного показателя эффективности системы бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД. Осуществлена оценка эффективности систем бесперебойного электроснабжения объектов ОВД. Предложены структурно-параметрические модели, позволяющие количественно оценить эффективность систем бесперебойного электроснабжения объектов органов внутренних дел.*

**Ключевые слова:** бесперебойное электроснабжение, электроприемник, общий логико-вероятностный метод, технология автоматизированного структурно-логического моделирования, схема функциональной целостности, оценка эффективности.

### **Введение.**

В настоящее время в органах внутренних дел Российской Федерации (далее – ОВД РФ) используется достаточно обширный перечень современных информационно-телекоммуникационных технологий и технических средств, в том числе применяемых для обеспечения безопасности собственных объектов, приведенных в [1], среди которых: автоматизированные системы и комплексы дежурных частей, системы охранно-телевизионные, охранной, тревожной и пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией, контроля и управления доступом, проводной и беспроводной оперативной связи, мониторинга подвижных

объектов на основе технологии ГЛОНАСС, охранного освещения, досмотра и поиска и т.д. Обеспечение надежной и бесперебойной работы технических средств объектов ОВД неразрывно связано с организацией бесперебойного электроснабжения [2-5]. Согласно [5] вышеперечисленные технические средства – электроприемники относятся к первой категории надежности электроснабжения, т.е. «перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения».

Безусловно важность соблюдения требований по обеспечению бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД с одной стороны и одновременно такая негативная статистика аварийных отключений объектов электросетевого хозяйства с другой подчеркивают актуальность проводимого исследования и позволяют определить перечень необходимых для решения задач:

1. Разработка структурной схемы системы бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД.
2. Моделирование системы бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД.
3. Оценка эффективности систем бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД на основе полученных моделей.

### **Основная часть.**

**Разработка структурной схемы системы бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД.**

Для решения первой задачи в рамках работы [6] разработана схема системы бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД, приведенная на Рисунке 1.

В схеме на Рисунке 1 использованы следующие обозначения:

- АВР – автоматическое включение (ввод) резерва;
- АИП – автономный источник питания (бензо-, дизельный агрегат);
- ИБП – источник бесперебойного электропитания, который обеспечивает автоматический ввод резервного электропитания от АКБ;
- АКБ – аккумуляторная батарея.

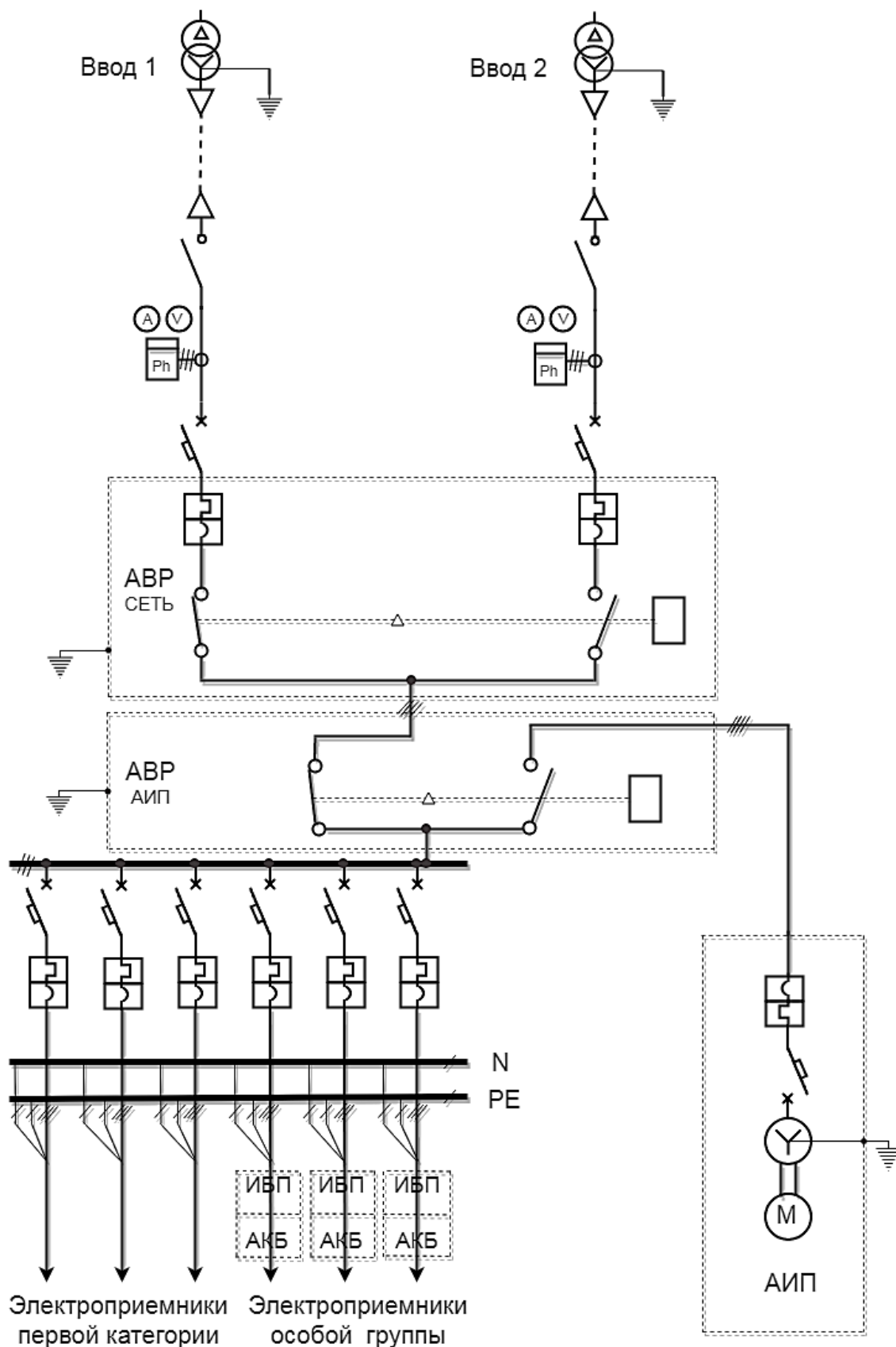


Рисунок 1 - Схема бесперебойного электроснабжения объектов ОВД РФ

В такой схеме предусмотрено трехуровневое, а для особой группы электроприемников – четырехуровневое резервирование электроснабжения за счет использования АИП и АКБ. Использование такого подхода позволит обеспечить гарантированную бесперебойную работу технических средств ОВД РФ на заданный интервал времени.

Воспользовавшись общим логико-вероятностным методом (ОЛВМ) [7] и методикой построения немонотонных моделей эффективности систем [8], разработаем модель эффективности системы бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД и произведем вычислительный эксперимент по определению показателя ее эффективности с учетом положений [9].

В настоящем исследовании используются понятия и подходы к моделированию и расчету показателей эффективности и устойчивости сложной системы, описанные в [8].

### **Моделирование и расчет комплексного показателя устойчивости системы бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД.**

На первом этапе построим модель (схему функциональной целостности – СФЦ) структурной устойчивости рассматриваемой системы бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД (далее – СБЭ).

Для этого:

1) введем в СФЦ структурной устойчивости СБЭ функциональные вершины аппарата СФЦ ОЛВМ: X1 (Ввод 1), X2 (Ввод 2), X3 (АВР-сеть), X4 (АИП), X5 (АВР-АИП), X6 (АКБ), X7 (ИБП), характеризующие случайные бинарные события готовности/неготовности подсистем СБЭ, а равно и реализации/не реализации их основных выходных функций;

2) введем в СФЦ структурной устойчивости СБЭ функциональную вершину X22, которая характеризует случайное бинарное событие возникновения/не возникновения поражающего фактора (в том числе нарушителя), и обеспечивает вершины X8-X14, характеризующие случайные события независимого поражения элементов X1-X7 соответственно.

Полученная СФЦ структурной устойчивости СБЭ показана на Рисунке 2.

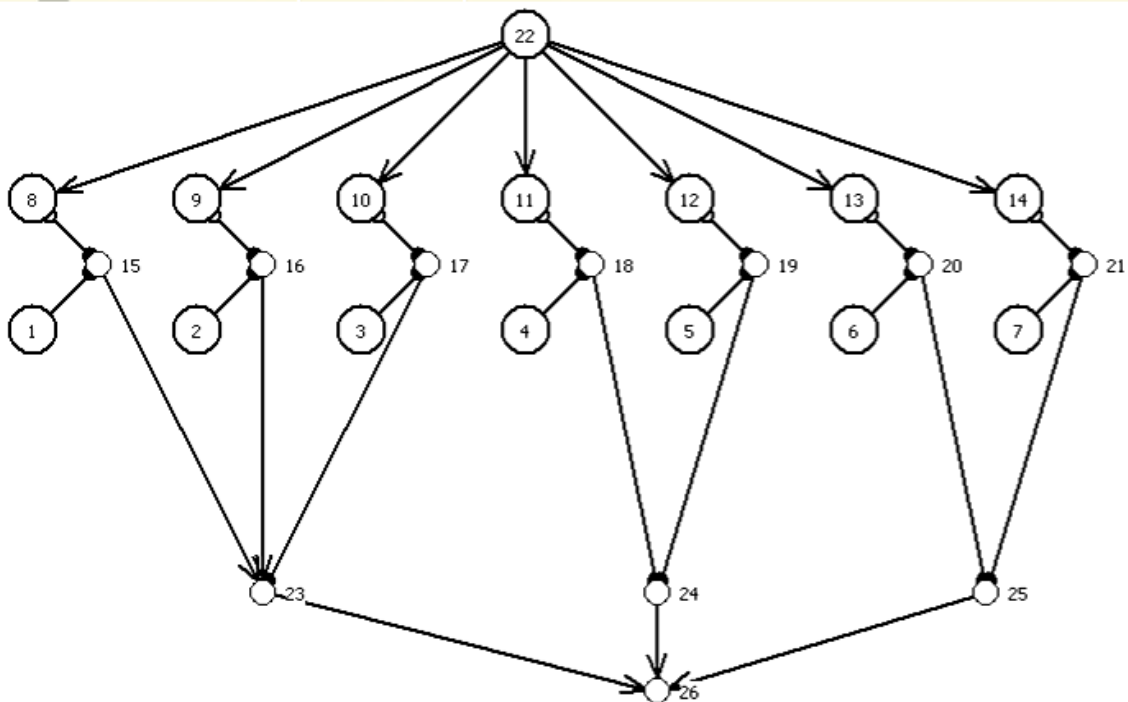


Рисунок 2 - СФЦ структурной устойчивости СБЭ

На выходе элемента № 15 (фиктивной вершины) СФЦ структурной устойчивости СБЭ обозначено логическое условие сохранения работоспособности (т.е. и не отказа, и не поражения) элемента № 1 (функциональной вершины):

$$y_{15} = y_1 \cdot \overline{y_8},$$

на выходах элементов № 16-21 – идентичные логические условия сохранения работоспособности (и не отказа, и не поражения) элементов № 2-7 соответственно.

На выходе элемента № 26 обозначено логическое условие сохранения работоспособности (и не отказа, и не поражения) хоть одного ввода электропитания СБЭ для функционирования технических средств объектов ОВД, которое является логическим критерием  $Y_c = y_{26}$  комплексной устойчивости рассматриваемой СБЭ в целом:

$$y_{26} = y_{23} \vee y_{24} \vee y_{25}.$$

Введем полученную СФЦ структурной устойчивости ИСБ в ПК «АРБИТР» и выберем режим моделирования «Статический расчет» [10].

В результате моделирования получены:

- 1) логическая функция устойчивости СБЭ, которая содержит 7 конъюнкций:

$$Y_{уст} = X4 \cdot X5 \cdot \overline{X11} \cdot \overline{X12} \vee X6 \cdot X7 \cdot \overline{X13} \cdot \overline{X14} \vee X1 \cdot X3 \cdot \overline{X8} \cdot \overline{X10} \vee X2 \cdot X3 \cdot \overline{X9} \cdot \overline{X10} \vee X4 \cdot X5 \cdot \overline{X22} \vee \overline{X6} \cdot \overline{X7} \cdot \overline{X22} \vee X1 \cdot X3 \cdot \overline{X22} \quad (1)$$

2) вероятностная функция устойчивости СБЭ, которая содержит 26 одночленов:

$$P_{уст} = P1 Q2 P3 Q22 + P6 P7 Q13 Q14 P22 + P2 P3 Q9 Q10 P22 + P1 P3 Q8 Q10 P22 + P4 P5 Q11 Q12 P22 + P6 P7 Q22 + P2 P3 Q22 + P4 P5 Q22 - P2 P3 P4 P5 Q22 - P2 P3 P6 P7 Q22 - P4 P5 P6 P7 Q22 + P2 P3 P4 P5 P6 P7 Q22 - P1 P3 P4 P5 Q8 Q10 Q11 Q12 P22 - P1 P2 P3 Q8 Q9 Q10 P22 - P2 P3 P4 P5 Q9 Q10 Q11 Q12 P22 + P1 P2 P3 P4 P5 Q8 Q9 Q10 Q11 Q12 P22 - P2 P3 P6 P7 Q9 Q10 Q13 Q14 P22 - P1 P3 P6 P7 Q8 Q10 Q13 Q14 P22 - P4 P5 P6 P7 Q11 Q12 Q13 Q14 P22 + P1 P3 P4 P5 P6 P7 Q8 Q10 Q11 Q12 Q13 Q14 P22 + P1 P2 P3 P6 P7 Q8 Q9 Q10 Q13 Q14 P22 + P2 P3 P4 P5 P6 P7 Q9 Q10 Q11 Q12 Q13 Q14 P22 - P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 Q8 Q9 Q10 Q11 Q12 Q13 Q14 P22 - P1 Q2 P3 P6 P7 Q22 - P1 Q2 P3 P4 P5 Q22 + P1 Q2 P3 P4 P5 P6 P7 Q22 \quad (2)$$

После подстановки исходных данных в (2), а именно:  $P1 = P2 = 0,9$ ,  $P3 = P5 = P7 = 0,98$ ,  $P4 = P6 = 0,95$  (в качестве примера);  $P8 = P9 = P10 = P11 = P12 = P13 = P14 = 0,2$  (в качестве примера);  $P15 = 0,7$  (в качестве примера), получим вероятность реализации критерия у26, а равно и вероятностный показатель устойчивости СБЭ:  $P_{уст} = 0,9682$ .

Действительно, разработанная СФЦ устойчивости СБЭ (Рисунок 2), а также ее логическая и вероятностная функции являются немонотонными,

что не противоречит положениям ОЛВМ [7, 8].

### **Моделирование и расчет комплексного показателя эффективности системы бесперебойного электроснабжения технических средств объектов ОВД.**

Согласно [9] для объектов «II вида» (которые могут находиться в состояниях частичного отказа и/или поражения (частично неработоспособных состояниях)) определяют комплексный показатель – «коэффициент сохранения эффективности» ( $K_{эф}$ ), при расчете которого сохраняются общие принципы расчета надежности объектов «вида I», но каждому состоянию объекта, определяемому совокупностью состояний его элементов или каждой возможной его траектории в пространстве состояний элементов, должно быть поставлено в соответствие определенное значение доли сохраняемой номинальной эффективности от 0 до 1 (для объектов «вида I» эффективность в любом состоянии может принимать только два возможных значения: 0 или 1).

В [8] предложено брать в расчет три качественно различных несовместных области состояний, соответствующих эффективностям системы  $E_1 = 100\%$ ,  $E_2 = 70\%$ ,  $E_3 = 30\%$ . Используем в нашем исследовании данный подход.

С учетом ранее разработанной модели устойчивости СБЭ положим, что общее условие ее работоспособности  $Y_c = y_{26} = y_{23} \vee y_{24} \vee y_{25}$  характеризуется тремя качественно различными несовместными областями состояний:

1. состояния полной работоспособности  $Y_1$ , при котором эффективность СБЭ  $E_1 = 100\%$ :

$$Y_1 = y_{100} = y_{23} \cdot y_{24} \cdot y_{25}$$

2. состояния частичной работоспособности  $Y_2$ , при котором эффективность СБЭ  $E_2 = 70\%$ :

$$Y_2 = y_{70} = (y_{23} \cdot y_{24}) \vee \overline{y_{25}}$$

3. состояния частичной работоспособности  $Y_3$ , при котором эффективность СБЭ  $E_3 = 30\%$ :

$$Y_3 = y_{30} = (\overline{y_{23}} \vee \overline{y_{24}}) \cdot y_{25}$$

На основании предложенных трех качественно различных несовместных областей состояний получена СФЦ эффективности ИСБ (см.

Рисунок 3).

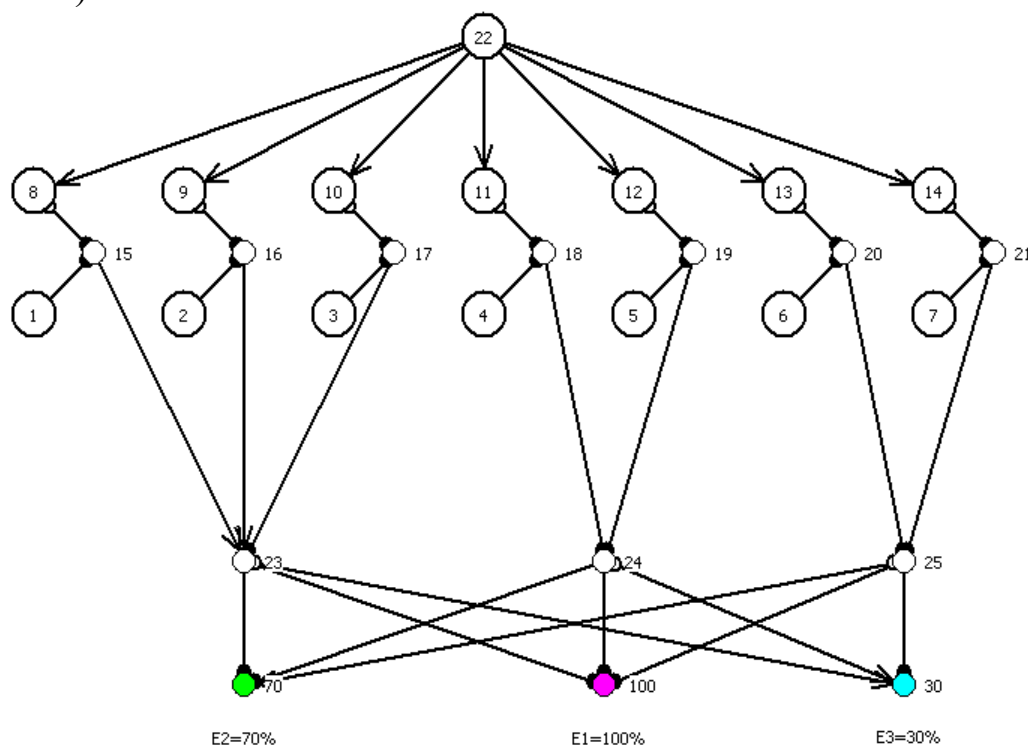


Рисунок 3 - СФЦ эффективности СБЭ

Для визуализации трех качественно различных несовместных областей состояний в СФЦ эффективности СБЭ введено три элемента с номерами 100, 70 и 30 (фиктивные вершины) соответственно (см. Рисунок 3). Критерии функционирования СБЭ с различными уровнями эффективности в 100%, 70% и 30% представлены на выходах соответствующих элементов.

Введем полученную СФЦ эффективности СБЭ (с теми же исходными данными – вероятностными показателями элементов) в ПК «АРБИТР». В результате проведения вычислительного эксперимента получим:  $p(y100) = 0,4318$ ,  $p(y70) = 0,1405$ ,  $p(y30) = 0,2626$ .

Определение показателя эффективности в ОЛВМ осуществляется на основе составного критерия [8]:

$$K_{эф} = W = E_1 p(Y_1) + E_2 p(Y_2) + E_3 p(Y_3).$$

Произведем расчет комплексного показателя эффективности СБЭ:

$$K_{эф.ИСБ} = 100\% \cdot 0,4318 + 70\% \cdot 0,1405 + 30\% \cdot 0,2626 = 60,893\%$$

Действительно, разработанная СФЦ эффективности ИСБ (Рисунок 3),



а также ее логическая и вероятностная функции являются немонотонными, что не противоречит положениям ОЛВМ [7] и результатам опубликованным ранее в тестовых примерах [8, 11].

### **Заключение.**

В статье предложено использовать общий логико-вероятностный метод для разработки соответствующих моделей и расчета количественных показателей эффективности систем бесперебойного электроснабжения. Произведен вычислительный эксперимент, построены схема функциональной целостности, логическая и вероятностная модели эффективности системы бесперебойного электроснабжения объектов органов внутренних дел, получен комплексный показатель эффективности с учетом положений ГОСТ 27.301-95.

В результате проведенного исследования, можно сделать вывод о применимости изложенной методики для количественной оценки эффективности систем бесперебойного электроснабжения.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Об обеспечении безопасности объектов органов внутренних дел российской федерации от преступных посягательств: приказ МВД России от 31 декабря 2014 г. № 1152.
2. Об утверждении Инструкции по организации работы пунктов централизованной охраны подразделений вневедомственной охраны: приказ МВД России от 16 июня 2011 г. № 676.
3. Р 060-2017. Типовые проектные решения по оборудованию ПЦО системой бесперебойного электропитания»: методические рекомендации – М: ФКУ «НИЦ Охрана» Росгвардии, 2017. – 54 с.
4. СП 6.13130.2013. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности.
5. Правила устройства электроустановок. – 7 изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 504 с.
6. Куропятник Д.Л. К вопросу об обеспечении бесперебойного электроснабжения объектов органов внутренних дел / Д.Л. Куропятник, М.А. Ледовская, А.А. Рогожин // Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии: материалы международной научно-практической конференции. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2018. — № 4-2 (4). — С. 206-211.

7. Можаяев А.С. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем / А.С. Можаяев, В.Н. Громов. — Санкт-Петербург: ВИТУ, 2000. — 145 с.
8. Устойчивость, технический риск и эффективность двухэлементной дублированной системы. Пример 1 [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://szma.com/primer1.pdf>.
9. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
10. Можаяев А.С., Можаяева И.А. Программный комплекс «АРБИТР» (ПК АСМ СЗМА) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 22.09.2017 № 2017660507.
11. Дурденко В.А. Моделирование и оценка эффективности интегрированных систем безопасности объектов, подлежащих обязательной государственной охране / В.А. Дурденко, А.А. Рогожин, Б.О. Баторов. — Вестник Воронежского государственного университета. Системный анализ и информационные технологии. — 2018. — № 3. — С. 82-92.

А. А. Rogozhin, М. А. Ledovskaya, D. L. Kuropyatnik  
**MODELING AND ESTIMATION OF EFFICIENCY OF THE  
UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEMS  
OF OBJECTS OF THE INTERNAL AFFAIRS**

*Krasnodar University of the Ministry of the Interior of the Russian Federation,  
Krasnodar, Russia*

*Currently, the problem of power outages in the power supply systems of objects of the internal Affairs bodies remains relevant. The article analyzes the statistics of emergency shutdowns of electrical equipment caused by accidents or unplanned shutdowns of power grid facilities. The classification of categories of consumers whose interruption of power supply may entail a danger to people's lives, a threat to the security of the state, significant material damage, disruption of complex technological process, disruption of the functioning of particularly important elements of public utilities, communication and television facilities. For ensuring appropriate level of reliability of power supply of the most important consumers, the block diagram of uninterrupted power supply of technical means of objects of law-enforcement bodies, on the basis of the combined use of sources of uninterrupted power supply and the device of multistage automatic input of a reserve, allowing to provide the constant mode of power supply of the most responsible receivers of electric energy is developed. Modeling and calculation of the integrated indicator of the effectiveness of the system of uninterrupted power supply of technical means of the objects of the police Department. Assess the effectiveness of the systems of uninterruptible power supply ATS a structural-parametric model that allows to quantify the efficiency of the uninterrupted power supply of objects of the internal Affairs bodies. The General logic-*

*probabilistic method and the technology of automated structural-logical modeling are used for the computational experiment.*

**Keywords:** uninterrupted power supply, electric receiver, the general logiko-probabilistic method, technology of the automated structural and logical modeling, the scheme of functional integrity, estimation of efficiency.

## REFERENCES

1. Ob obespechenii bezopasnosti ob"ektov organov vnutrennikh del rossiyskoy federatsii ot prestupnykh posyagatel'stv: prikaz MVD Rossii ot 31 dekabrya 2014 g. № 1152.
2. Ob utverzhdenii Instruksii po organizatsii raboty punktov tsentralizovannoy okhrany podrazdeleniy vnevedomstvennoy okhrany: prikaz MVD Rossii ot 16 iyunya 2011 g. № 676.
3. R 060-2017. Tipovye proektnye resheniya po oborudovaniyu PTsO sistemoy bespereboynogo elektropitaniya»: metodicheskie rekomendatsii – M: FKU «NITs Okhrana» Rosgvardii, 2017. – 54 s.
4. SP 6.13130.2013. Svod pravil. Sistemy protivopozharnoy zashchity. Elektrooborudovanie. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti.
5. Pravila ustroystva elektroustanovok. – 7 izd. – M.: Izd-vo NTs ENAS, 2004. – 504 s.
6. Kuropyatnik D.L. K voprosu ob obespechenii bespereboynogo elektosnabzheniya ob"ektov organov vnutrennikh del / D.L. Kuropyatnik, M.A. Ledovskaya, A.A. Rogozhin // Obshchestvennaya bezopasnost', zakonnost' i pravoporyadok v III tysyacheletii : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. — Voronezh: Voronezhskiy institut MVD Rossii, 2018. — № 4-2 (4). — S. 206-211.
7. Mozhaev A.S. Teoreticheskie osnovy obshchego logiko-veroyatnostnogo metoda avtomatizirovannogo modelirovaniya sistem / A.S. Mozhaev, V.N. Gromov. — Sankt-Peterburg : VITU, 2000. — 145 s.
8. Ustoychivost', tekhnicheskii risk i effektivnost' dvukhelementnoy dublirovannoy sistemy. Primer 1 [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa <https://szma.com/primer1.pdf>.
9. GOST 27.301-95. Nadezhnost' v tekhnike. Raschet nadezhnosti. Osnovnye polozheniya.
10. Mozhaev A.S., Mozhaeva I.A. Programmnyy kompleks «ARBITR» (PK ASM SZMA) // Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM ot 22.09.2017 № 2017660507.