

## Математическая модель управления надежностью системы интеллектуального видеонаблюдения на охраняемых объектах уголовно-исполнительной системы

*Е.Г. Царькова*

*Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний», НИЦ-1, Москва*

**Аннотация:** В работе рассматривается модель управления надежностью системы интеллектуального видеонаблюдения охраняемого объекта. Для построения модели работы системы охранного телевидения с модулями видеоаналитики использована схема многофазной системы массового обслуживания. Описан процесс построения компьютерной модели для оценки показателей качества обработки поступающей в систему информации. Приведенная компьютерная модель обеспечивает возможность оценки надежности рассматриваемой системы в широком диапазоне параметров и может быть использована при проектировании, эксплуатации и модернизации систем интеллектуального видеонаблюдения для повышения их надежности и обеспечения возможности принятия эффективных управленческих решений.

**Ключевые слова:** интеллектуальное видеонаблюдение, комплексная безопасность, надёжность, многофазная система массового обслуживания, охраняемые объекты уголовно-исполнительной системы.

Использование современных систем охранного телевидения с модулями видеоаналитики в составе комплексной системы безопасности охраняемых объектов уголовно-исполнительной системы (УИС) приводит к необходимости детальной проработки вопросов их эффективности как на этапе проектирования системы, так и при выработке предложений по ее модернизации. Охраняемые объекты УИС, в особенности характеризующиеся значительным скоплением объектов видеонаблюдения, требуют создания надежных систем безопасности, способных обрабатывать большие потоки разнообразной информации, поступающих от технических средств охраны [1, 2]. Использование методов искусственного интеллекта в системе охранного телевидения, с одной стороны, снижает нагрузку на человека-оператора, а с другой стороны, увеличивает нагрузку на программно-аппаратные модули системы, требуя для оперативной обработки данных дополнительных ресурсов [3]. При этом на охраняемой территории с

---

большим количеством объектов видеонаблюдения в силу естественных ограничений, связанных с работой оператора либо характеристиками модулей видеоаналитики, часть информации может быть не обработана и, как следствие, утрачена возможность своевременного формирования тревожного сигнала. Данный фактор становится критическим в условиях чрезвычайных ситуаций на территории учреждений, когда оперативность принятия решений является важнейшим условием ликвидации инцидентов безопасности и предотвращения реализации криминогенных угроз. В связи с этим задача по разработке математической модели работы системы охранного телевидения (СОТ) учреждения, позволяющей оценивать работоспособность системы обработки информации при различных параметрах, является актуальной и практически значимой [4, 5]. Расчет показателей надежности СОТ на основе такой модели позволит уже на этапе проектирования с учетом характеристик охраняемого объекта, оперативной обстановки, параметров используемых технических средств, а также имеющихся ресурсов осуществлять решение задачи оптимизации надежности системы интеллектуальной видеоаналитики для выработки эффективных решений [6].

Работа системы охранного телевидения с возможностью интеллектуального видеоанализа может быть представлена в виде замкнутой системы массового обслуживания (СМО), где входным потоком служит совокупность событий, поступающих от объектов наблюдения, а каналами являются операторы, либо программно-аппаратные модули видеоаналитики в составе СОТ [7, 8]. Часть заявок при попадании в систему в силу различных факторов отклоняется, часть уходит из системы, находясь в очереди на обработку, потеря отдельных заявок происходит на этапе их обработки в каналах обслуживания. С учетом замкнутости системы полагаем, что имеет место ограниченный поток заявок, при этом для покинувших систему заявок

---

сохраняется возможность их повторного возвращения в СМО. Схема работы СМО, моделирующей работу СОТ учреждения, приведена на рис. 1.

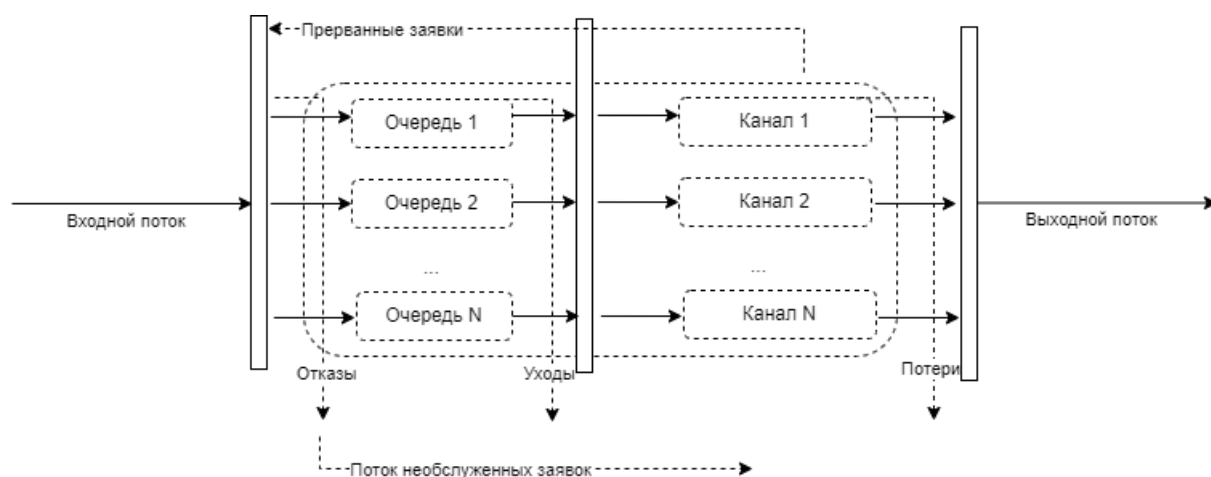


Рис. 1. – Схема работы СМО

Для системы интеллектуального видеонаблюдения характерно, что обработка заявки осуществляется в ходе ее прохождения через ряд фаз. Например, при распознавании автомобильного номера транспортного средства, въезжающего на территорию учреждения, либо перемещающегося в зоне видеонаблюдения, последовательность таких фаз включает видеофиксацию автомобиля, распознавание номера, проверку номера по базе данных. Функции видеоаналитики при биометрической идентификации по лицу человека включает распознавание факта его появления в зоне наблюдения, выделение набора ключевых точек лица (дескриптора), выполнение запроса к базе данных лиц для анализа принадлежности объекта наблюдения к числу сотрудников либо спецконтингента и т.д.

Таким образом, для моделирования системы интеллектуального видеонаблюдения учреждения может быть применена схема трехфазной СМО, приведенная на рис. 2.

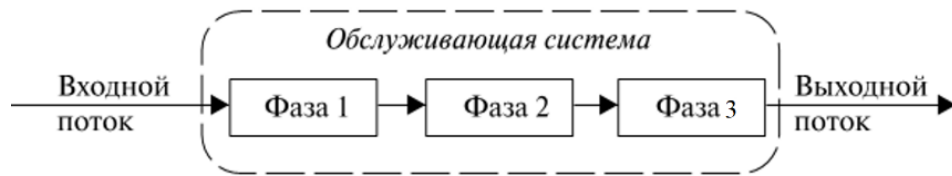


Рис. 2. – Схема обработки данных в СМО учреждения

Работа рассматриваемой системы характеризуется нахождением любой из трех фаз в каждый момент времени в одном из следующих состояний: «фаза находится в свободном состоянии» (вводим для обозначения состояния символ 0), «фаза занята» (для обозначения состояния используется символ 1), «фаза находится в заблокированном состоянии» (состояние обозначим символом  $b$ ) [3]. Пусть состояние первой фазы обозначается через  $i$ , состояние второй фазы обозначим через  $j$ , состояние третьей фазы обозначим через  $k$ . Все возможные состояния рассматриваемой СМО могут быть описаны следующим образом:

$$\{(i, j, k)\} = \left\{ (0, 0, 0), (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), (1, 0, 1), (1, 1, 1), \right. \\ \left. (1, 1, 0), (b, 1, 0), (1, b, 1), (b, b, 1), (b, 1, 1), (0, b, 1) \right\}. \quad (1)$$

Полагаем, что входной поток поступающих заявок (требований) является простейшим (пуассоновским), а длительности обслуживания заявок во всех фазах распределены по экспоненциальному закону. Пусть  $p_{ijk}(t)$  – вероятность перехода СМО в момент времени  $t$  в состояние  $(i, j, k)$ . Для описания динамики процесса работы системы используем систему дифференциальных уравнений Колмогорова для марковского процесса с непрерывным временем и дискретным набором состояний следующего вида:

$$\frac{dp_{000}(t)}{dt} = -\lambda p_{000}(t) + \mu p_{001}(t), \\ \frac{dp_{100}(t)}{dt} = \lambda p_{000}(t) - \mu p_{100}(t) + \mu p_{101}(t), \quad (2)$$

$$\begin{aligned}\frac{dp_{010}(t)}{dt} &= \mu p_{100}(t) - (\lambda + \mu) p_{010}(t) + \mu p_{011}(t), \\ \frac{dp_{001}(t)}{dt} &= \mu p_{010}(t) - (\lambda + \mu) p_{001}(t) + \mu p_{0b1}(t), \\ \frac{dp_{101}(t)}{dt} &= \lambda p_{001}(t) - 2\mu p_{101}(t) + \mu p_{110}(t) + \mu p_{1b1}(t), \\ \frac{dp_{011}(t)}{dt} &= \lambda p_{101}(t) - (\lambda + 2\mu) p_{011}(t) + \mu p_{b10}(t) + \mu p_{bb1}(t), \\ \frac{dp_{111}(t)}{dt} &= \lambda p_{011}(t) - 3\mu p_{111}(t), \\ \frac{dp_{110}(t)}{dt} &= \lambda p_{010}(t) + \mu p_{111}(t) - 2\mu p_{110}(t), \\ \frac{dp_{b10}(t)}{dt} &= \mu p_{110}(t) - \mu p_{b10}(t) + \mu p_{b11}(t), \\ \frac{dp_{1b1}(t)}{dt} &= \lambda p_{111}(t) - 2\mu p_{1b1}(t) + \lambda p_{0b1}(t), \\ \frac{dp_{bb1}(t)}{dt} &= \mu p_{1b1}(t) - \mu p_{bb1}(t) + \mu p_{b11}(t), \\ \frac{dp_{b11}(t)}{dt} &= \mu p_{111}(t) - 2\mu p_{b11}(t), \\ \frac{dp_{0b1}(t)}{dt} &= \mu p_{011}(t) - (\lambda + \mu) p_{0b1}(t), t \in [0, T].\end{aligned}$$

Здесь  $\lambda$  – интенсивность поступления заявок,  $\mu$  – интенсивность обслуживания заявки в фазах,  $[0, T]$  – рассматриваемый временной интервал. Построим компьютерную модель данной СМО. Вводим на отрезке  $[0, T]$  равномерную сетку с шагом  $\Delta t = T/q : \{t_l = \Delta t \cdot l, 0 \leq l \leq q\}$ . Обозначим  $p_{ijk}(t_l) = p_{ijk}^l$ ,  $l = \overline{0, q}$ . Для аппроксимации введенных в (2) производных используем формулы Эйлера 1-го порядка точности:  $\dot{p}_{ijk}(t_l) \approx \frac{p_{ijk}^{l+1} - p_{ijk}^l}{\Delta t}$ ,  $l = \overline{0, q-1}$ . Полагаем  $p_{000}^0 = 1$  и  $p_{ijk}^0 = 0$  при  $i, j, k \neq 0$ . На рис. 3 приведены графики зависимости вероятностей состояний системы от времени  $t$  при следующих

значениях параметров:  $\lambda = 0.67, \mu = 0.7, T = 30$ . Расчет проведен в программном продукте, разработанном автором в IDE Lazarus.

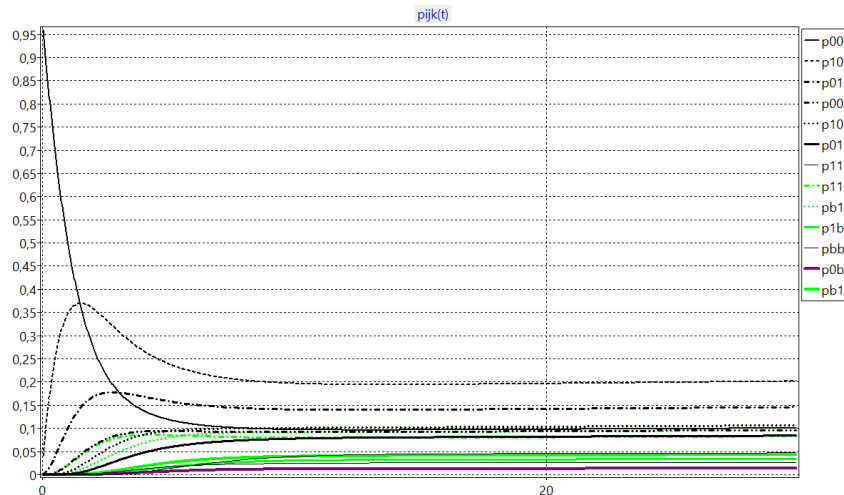


Рис. 3. – Графики  $p_{ijk}(t)$  с постоянной дисциплиной заявок

Вычисленные значения финальных (стационарных) вероятностей равны:  $P_{000} = p_{000}(T) = 0,102$ ,  $P_{100} = p_{100}(T) = 0,201$ ,  $P_{010} = p_{010}(T) = 0,145$ ,  $P_{101} = p_{101}(T) = 0,107$ ,  $P_{011} = p_{011}(T) = 0,084$ ,  $P_{111} = p_{111}(T) = 0,027$ ,  $P_{110} = p_{110}(T) = 0,102083$ ,  $P_{b10} = p_{b10}(T) = 0,096$ ,  $P_{1b1} = p_{1b1}(T) = 0,034$ ,  $P_{b11} = p_{b11}(T) = 0,013$ ,  $P_{0b1} = p_{0b1}(T) = 0,043$ . Полученная модель позволяет оценить вероятность нахождения системы в различных состояниях в широком диапазоне параметров, а также обеспечивает возможность решения задачи оптимизации показателей качества обслуживания заявок в системе интеллектуального видеонаблюдения, в том числе, за счет использования резервных каналов. Оптимизация работы СМО может быть осуществлена путем управления дисциплиной обслуживания заявок. В рассматриваемой модели увеличение интенсивности обслуживания заявок на отрезке  $[t_0, t_1]$  до величины  $\mu = 0,95$  с последующим возвращением к исходному значению  $\mu = 0,7$  обеспечивает увеличение значения финальной вероятности  $P_{000}$  (все фазы свободны), на 10% (рис. 4).

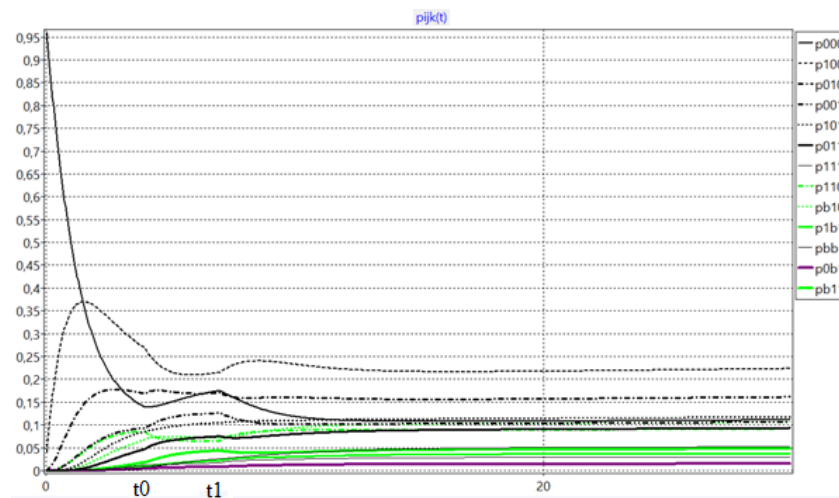


Рис. 4. – Графики  $p_{ijk}(t)$  с динамической дисциплиной заявок

В силу того, что увеличение интенсивности обслуживания заявок, в том числе, исключение очередей, требует привлечения дополнительных ресурсов, оптимизация работы СОР приводит к необходимости рассмотрения задачи нахождения стратегии управления, максимизирующей скорость обработки заявки при прохождении через систему с учетом затрат на используемые ресурсы [9, 10]. Решение оптимизационной задачи с использованием критерия «качество-затраты» является эффективным инструментом прогнозирования работы СОР учреждения при различных условиях эксплуатации с целью повышения безопасности учреждений в пределах доступного финансирования. Для решения данной задачи может быть применен аппарат оптимального управления и нелинейного программирования с дальнейшим применением численных методов оптимизации.

### Литература

1. Акользин Д.Н. Обзор методов повышения производительности программного обеспечения диспетчерского центра // Инженерный вестник



Дона, 2021, №5. URL:  
[ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_86\\_Akolzin.pdf\\_2394.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_86_Akolzin.pdf_2394.pdf).

2. Сумин В.И., Чураков Д.Ю., Царькова Е.Г. Разработка моделей и алгоритмов информационных структур и процессов объектов особой важности // Промышленные АСУ и контроллеры, 2019, № 4. С. 30-39.

3. Могилин К.А., Селищев В.А. Интеллектуальные системы видеонаблюдения в комплексах безопасности // Известия ТулГУ. Технические науки, 2020, №3. С. 89-94.

4. Кручинин А.Ю. Эффективность видеомониторинга промышленных объектов на основе глубоких нейронных сетей // Научно-практические исследования, 2020, № 8-6(31). С. 19-22.

5. Омельченко В.В. Информационное обеспечение системы государственного управления национальными ресурсами: риск-ориентированный подход // Правовая информатика, 2019, № 1. С. 4-17.

6. Tsarkova E., Belyaev A., Lagutin Y., Matveev Y. Technical Diagnostics of Equipment Using Data Mining Technologies // Safety in Aviation and Space Technologies: Select Proceedings of the 9th World Congress «Aviation in the XXI Century». Cham: Springer, 2022. Pp. 345-356.

URL: [link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85057-9\\_30](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85057-9_30).

7. Игнатьева О.В. Архитектурные приемы при разработке программного обеспечения, зависящего от интерфейса пользователя // Инженерный вестник Дона, 2022, №2. URL:  
[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7478](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7478).

8. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 55 с.

9. Dushkin A.V., Kasatkina T.I., Novoseltsev V.I., Ivanov S.V. An improved method for predicting the evolution of the characteristic parameters of an





information system // Journal of Physics: Conference Series, Vol. 973, No 1, 2018. P. 012031. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/973/1/012031/pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/973/1/012031/pdf).

10. Dubrovin A.S., Ogorodnikova O.V., Tsarkova E.G., Andreeva E.A., Kulikova T.N. Analysis and visualization in graph database management systems // Journal of Physics: Conference Series: Current Problems. Voronezh, V.1902, № 1, 2021. P. 012059. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1902/1/012059](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1902/1/012059).

### References

1. Akol'zin D.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №5. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_86\\_Akolzin.pdf\\_2394.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_86_Akolzin.pdf_2394.pdf).

2. Sumin V.I., CHurakov D.YU., Car'kova E.G. Promyshlennye ASU i kontrollery, 2019, № 4. pp. 30-39.

3. Mogilin K.A., Selishchev V.A. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki, 2020, №3. Pp. 89-94.

4. Kruchinin A.YU. Nauchno-prakticheskie issledovaniya, 2020, № 8-6. pp. 19-22.

5. Omel'chenko V.V. Pravovaya informatika, 2019, № 1. pp. 4-17.

6. Tsarkova E., Belyaev A., Lagutin Y., Matveev Y. Safety in Aviation and Space Technologies: Select Proceedings of the 9th World Congress «Aviation in the XXI Century». Cham: Springer, 2022. pp. 345-356.

URL: [link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85057-9\\_30](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85057-9_30).

7. Ignat'eva O.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7478](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7478).

8. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij [Operations research]. M.: Sovetskoe radio, 1972. 55 p.

9. Dushkin A.V., Kasatkina T.I., Novoseltsev V.I., Ivanov S.V. Journal of Physics: Conference Series. 2018, P. 012031.



URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/973/1/012031/pdf](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/973/1/012031/pdf).

10. Dubrovin A.S., Ogorodnikova O.V., Tsarkova E.G., Andreeva E.A., Kulikova T.N. Journal of Physics: Conference Series: Current Problems. Voronezh, V.1902, No 1, 2021. P. 012059. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1902/1/012059](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1902/1/012059).