

Е. В. АЗАРЕНКО, Н. А. БОРОДИНА, О. А. ВЫСОТЕНКО,  
М. М. ДИВИЗИНЮК, Н. В. КАСАТКИНА, С. В. ЛАЗАРЕНКО  
Государственное предприятие «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ПРОТИВ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*В работе проанализирован порядок описания штатного состояния ситуационного фона автомобильных транспортных средств. Предложена последовательность выявления нештатных ситуаций с автомобильными транспортными средствами. Определен процесс выявления потенциальных злоумышленников и возвращения ситуационного фона в штатное состояние. Полученные зависимости объединены в предлагаемую математическую модель.*

*Ключевые слова: охраняемый объект критической инфраструктуры, автомобильное транспортное средство, ситуационный фон, видеосистема, злоумышленник.*

E. V. AZARENKO, N. A. BORODINA, O. A. VYSOTENKO, M. M. DIVIZINIUK, N. V. KASATKINA, S. V. LAZARENKO  
State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine»

## MATHEMATICAL MODEL OF IDENTIFICATION OF SIGNS OF EMERGENCY SITUATIONS OF TERRORIST CHARACTER AGAINST OBJECTS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE WITH THE USE OF AUTOMOBILE VEHICLES

*In this paper, a mathematical model is proposed for identifying signs of emergency situations of a terrorist nature against critical infrastructure facilities using motor vehicles. It is shown that the work of each enterprise of critical infrastructure is aimed at the solution of a specific state task. It requires the involvement of human resources, vehicles, obtaining materials and other material, intellectual, financial assets. The movement of materials, people, assets causes the formation of a certain production flow or cycle. It creates a specific production background around the enterprise. One of the components of this background is the movement of vehicles around the protected facilities of critical infrastructure. To describe this situational background and transfer it from one state to another, the mathematical apparatus of the Markov processes is used. In this paper, the division of vehicles into object, near object and transit vehicles is given. Groups of identification signs are proposed. They allow you to identify any motor vehicle. These signs can be recorded and monitored by external surveillance systems. Registration of changes in the situation background indicates changes in the functioning of the enterprise. Changes in the functioning of the enterprise are prerequisites for malfunctions, accidents, catastrophes and other emergencies. It can also talk about preparing a terrorist act. The order of the description of the standard state of the situational background of motor vehicles is analyzed. The threshold value of traffic intensity of vehicles recorded by the video system is determined, at which reliable detection of violators is ensured. A sequence of detection of abnormal situations with motor vehicles is suggested. The process of identifying potential intruders and the return of the situation background to the staffing state is determined. This return to the nominal state is determined by the number of completed activities and does not depend on time. The obtained dependencies are combined into the proposed mathematical model of revealing signs of emergency situations of a terrorist nature against critical infrastructure facilities using motor vehicles.*

*Keywords: a protected critical infrastructure object, an automobile vehicle, a situation background, a video system, an attacker.*

### Введение

Понятие «инфраструктура» произошло от слияния двух латинских слов «*infa*» – «ниже, под», и «*struktura*» – «структура, расположение» [1], и означает по определению комплекс взаимно связанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и обеспечивающих основу функционирования одной объединяющей системы.

Государственные предприятия и учреждения, как правило, формируют необходимые им специализированные инфраструктуры, полноценно функционирующие при наличии внешних, зарубежных, и внутренних связей и обеспечивающие различные виды деятельности: инновационную [2, 3], рыночную [4, 5], информационную [6] и пр. Имеются и специфические инфраструктуры, например, военная [7], деятельность которых носит закрытый характер.

В каждом государстве в целом выделяют национальную критическую инфраструктуру как совокупность систем, выход из строя хотя бы одной из которых может нанести серьезный ущерб экономике государства или привести к негативным социальным последствиям в обществе. К ним относятся, например, энергетическая, топливная, телекоммуникационная, транспортная, водоснабжения и другие стратегически важные системы. Каждая из них, как правило, в своей структуре имеет предприятия, относящиеся к категории критически важных объектов, так как нарушение их нормального функционирования может привести к катастрофическим последствиям на общегосударственном, региональном или местном уровне. К таким объектам относятся атомные и гидроэлектростанции, химические и нефтехимические комбинаты, металлургические заводы и множество других государственных предприятий и частных учреждений [8-11].

Деятельность каждого предприятия критической инфраструктуры направлена на решение определенной государственной задачи (производство топлива, получение электроэнергии, выпуск стратегически важной продукции и т. п.), которая требует привлечения человеческих ресурсов, транспортных средств, получения сырья и других материальных, интеллектуальных и финансовых активов.

Движение средств производства формирует определенный производственный поток, создающий специфический производственный фон вокруг предприятия. Одной из его составных частей является поток транспортных средств, циркулирующих в контролируемых зонах вокруг охраняемых объектов критической инфраструктуры, так называемый ситуационный фон автомобильного транспорта. Для описания динамики перехода его из одного состояния в другое используется математический аппарат Марковских процессов [12-17].

Элементы ситуационного фона в той или иной степени фиксируются и отслеживаются системами наружного наблюдения физической защиты, формируя, таким образом, определенную стабильную картину, характерную для нормальной жизнедеятельности объекта [18, 19]. Регистрация отклонений фона от нормального ритма свидетельствует об изменениях в функционировании предприятия, которые являются результатом или предпосылками к сбоям в работе, авариям, катастрофам и другим чрезвычайным ситуациям, в том числе и террористического характера.

#### **Постановка цели и задач научного исследования**

Цель данной работы – разработка математической модели выявления признаков чрезвычайных ситуаций террористического характера против объектов критической инфраструктуры с использованием автомобильных транспортных средств на основе регистрации видеосистемами наружного наблюдения изменений в состоянии ситуационного фона автотранспортных средств.

Для достижения поставленной цели необходимо, во-первых, проанализировать порядок описания штатного состояния ситуационного фона автомобильных транспортных средств, во-вторых, рассмотреть последовательность выявления нештатных ситуаций с автомобильным транспортом, в-третьих, формализовать процесс выявления потенциальных злоумышленников и возвращения ситуационного фона в штатное состояние в математической модели выявления признаков чрезвычайных ситуаций террористического характера.

#### **Описание ситуационного фона автомобильных транспортных средств**

Будем считать, что все множество транспортных средств, проходящих рядом с охраняемым объектом и находящихся в непосредственной близости от него, разделяется по их принадлежности к охраняемому объекту на объектовые, около объектовые и транзитные. Это могут быть грузовые, пассажирские и специальные транспортные средства. Каждое из них имеет свой специфический (индивидуальный) набор идентификационных признаков, состоящий из двух групп.

Первая называется группой статических характеристик, которые позволяют полностью идентифицировать автомобильное транспортное средство. В нее входят десять подгрупп: 1) принадлежность к охраняемому объекту (объектовое, около объектовое, транзитное) и собственник транспортного средства; 2) назначение (грузовое, пассажирское, специальное); 3) внешний вид (марка, цвет, повреждения и др.); 4) номер государственной, ведомственной или международной регистрации; 5) характеристики водителя транспортного средства; 6) тип и расположение двигателя; 7) конструктивные особенности транспортного средства; 8) наличие прицепа, буксира и других вспомогательных устройств; 9) наличие и характеристика пассажиров; 10) наличие и характеристика грузов.

Вторая группа идентификационных признаков – это динамические характеристики, описывающие особенности перемещения транспортных средств, к которым можно применить такие качественные понятия как «обычно», «постоянно», «как всегда». Их еще называют штатными поведенческими или штатными признаками. К ним относят, прежде всего, подгруппы характеристик, определяющих маршрут следования автомобиля: 1) пункт выезда; 2) пункт назначения; 3) время выезда; 4) время прибытия; 5) время и место остановок; 6) цель остановок, их количество и продолжительность. Здесь возможны дополнительные подгруппы характеристик, которые даются в зависимости от конкретного вида транспортного средства и его назначения.

Учитывая указанные выше признаки, можно составить штатные характеристики использования всех объектовых, около объектовых и транзитных грузовиков, автобусов, легковых автомобилей и специальных транспортных средств. Систематический сбор, обработка и обновление данных о транспортных средствах, регистрируемых как в контролируемой зоне, так и в непосредственной близости с объектом, позволяет по каждому транспортному средству, появившемуся в поле зрения видеосистем, получить набор штатных характеристик его использования, включая время и место парковки на стоянке около объекта, время выезда с парковки, маршрут обратного следования, а также количество человек, приезжающих с водителем и уезжающих с ним, место и время остановки с целью высадки (посадки) пассажиров, покупки продуктов и заправки автомобиля, и многое другое. Вся полученная информация, систематизированная по дням недели, временам года позволяет формировать базы данных и знаний о всех транспортных средствах, функционирующих около объекта критической инфраструктуры, то есть о его ситуационном фоне автотранспортных средств.

В зависимости от пространственно-временных масштабов ситуационный фон разделяют на фрагменты, которые могут быть сезонными (весна, лето, осень, зима), внутрисезонными, недельными (будние дни, выходные и праздники), суточными (утро, день, вечер, ночь) и другими. На практике используется вся совокупность градаций для определения одного фрагмента, например, утренний

воскресный летний фрагмент автомобильного транспортного фона.

Установлено, что существует функциональная зависимость  $W$  вида:

$$W[\sigma(\Phi, t), I(N, t), H_1, H_2] = Const, \quad (1)$$

связывающая среднестатистическую интенсивность движения автомобильных транспортных средств  $\sigma$ , зависящую от действующего фрагмента транспортного фона  $\Phi_i$ , интенсивность движения транспортных средств  $I(N, t)$ , регистрируемых за промежуток времени  $t$ , определяемый оператором системы, с числом нарушителей первого  $H_1$  и второго  $H_2$  уровней, при этом злоумышленник в их числе может как быть, так и не быть.

Зависимость (1) определяет штатное состояние ситуационного фона автомобильных транспортных средств, передвигающихся возле объекта критической инфраструктуры. Значения констант определяются пороговым значением интенсивности движения регистрируемых видеосистемой транспортных средств, при которых обеспечивается достоверное выявление нарушителей.

### Выявление нештатных ситуаций с автотранспортными средствами

Охраняемые объекты критической инфраструктуры имеют системы оптоэлектронного наблюдения и оценки обстановки (видеосистемы). В общем случае они представляют собой систему телевизионного наблюдения замкнутого периметра и регулируют процесс визуального контроля с использованием оптико-электронных устройств, в том числе и инфракрасных, а также осуществляют автоматический анализ изображений (распознавание лиц, номеров машин и т. д.). Они также дают возможность вести наблюдение за перемещениями автомобилей и людей на всех доступных расстояниях, просматривать архив событий, происходящих ранее.

Видеосистемы наружного наблюдения также устанавливаются на предприятиях и учреждениях города-спутника объекта. Кроме этого, объект и прилегающие к нему поселки и производственные площадки связаны автомобильными коммуникациями, ключевые перекрестки, автомобильные мосты и аварийно-опасные участки которых контролируются патрульно-постовой полицией Министерства внутренних дел Украины. Для обеспечения безопасности автомобильного движения устанавливаются видеосистемы, которые обеспечивают контроль передвижения транспортных средств. Передача всей информации, регистрируемой видеосистемами, установленными в контролируемой зоне вокруг охраняемого объекта в реальном масштабе времени, может быть реализована в установленном законодательством Украины порядке. Это позволяет иметь на охраняемом объекте постоянно обновляемую базу данных и знаний о ситуационном фоне автомобильных транспортных средств, функционирующих около объектов критической инфраструктуры. Чем больше фиксаций транспортного средства выполнено, тем точнее будут штатные характеристики его использования.

Программное обеспечение, используемое в базе данных и знаний, позволяет при фиксации транспортного средства выявлять отклонения от штатных характеристик его использования, которые условно можно разделить на пять уровней. К нарушениям первого уровня относятся отклонения от штатных характеристик использования транспортного средства, второго уровня – систематические отклонения от штатных характеристик использования транспортного средства. Провокационные действия – это нарушения третьего уровня, опасные и явно враждебные действия – нарушения, соответственно, четвертого и пятого уровней. Нарушения третьего, четвертого и пятого уровней выводятся на главный пульт физической защиты объекта. Эти ситуации описаны в инструкциях и по ним принимается адекватная реакция. Отклонения от штатных характеристик использования транспортных средств первого и второго уровней собираются в определенную группу в базе данных и знаний и анализируются специально подготовленным персоналом. На основании сделанных выводов происходит выявление признаков, характеризующих подготовку террористического акта или других враждебных действий в отношении охраняемого объекта.

Установлено, что число нарушителей определяется конкретным фрагментом транспортного фона в районе, контролируемом видеосистемами, и величиной порогов интенсивности движения, определяющих режим работы видеосистем.

С учетом фактора времени, задающего соответствующие фрагменты транспортного фона, общее количество зарегистрированных нарушителей в контролируемой зоне охраняемого объекта можно найти по формуле (2), то есть

$$H = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k f_{ij}(\Phi_i, \Pi, t), \quad (2)$$

где  $k$  – число фрагментов автомобильного транспортного фона в контролируемой зоне вокруг охраняемого объекта;

$l$  – число работающих видеосистем.

Таким образом, число нарушителей или выявляемых нештатных ситуаций с автомобильными транспортными средствами, функционирующими около охраняемого объекта критической инфраструктуры, зависит от числа фрагментов транспортного фона, количества работающих видеосистем в контролируемой зоне и режимов их работы.

**Процесс возвращения ситуационного фона в штатное состояние**

Установлено, что процесс регистрации и идентификации автомобильных транспортных средств, определения нарушителей первого и второго уровней и выявления среди них нарушителей – потенциальных злоумышленников, на фиксированном фрагменте транспортного фона, является стационарным пуассоновским потоком. Здесь вероятности перехода в системе не будут зависеть от времени и находятся путем решения системы дифференциальных уравнений (3) с постоянными коэффициентами:

$$\frac{dP_j(t)}{dt} = \sum_{i=1}^N H_{ij} P_i, \quad j = 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

Это означает, что число отклонений от стандартных характеристик использования транспортного средства определяет переход его из группы  $H_0$  (надмножества регистрируемых транспортных средств) в  $H_1$  (множество нарушителей первого уровня), из  $H_1$  в  $H_2$  (подмножества нарушителей второго уровня), из  $H_2$  в  $H_3$  (множество потенциальных злоумышленников), независимо от промежутка времени, в течение которого эти отклонения были зафиксированы.

Аналогичным образом число мероприятий по негласным оперативно-розыскным, оперативно-профилактическим и иным действиям, проводимым компетентными органами совместно со службой физической защиты охраняемого объекта независимо от промежутка времени, в течение которого они производятся, определяют переход системы из состояния  $H_3$  в  $H_2$ , из  $H_2$  в  $H_1$ , из  $H_1$  в  $H_0$ , то есть осуществляется возвращение в штатное состояние.

Объединив зависимости (1), (2) и (3), получим систему вида:

$$\begin{cases} W[\sigma(\Phi, t), I(N, t), H_1, H_2] = C(\Pi), \\ H = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k f_l(\Phi_i, \Pi, t), \\ \frac{dP_j(t)}{dt} = \sum_{i=1}^N H_{ij}(t) P_i(t), \quad j = 1, 2, \dots, N. \end{cases} \quad (4)$$

которая представляет собой математическую модель выявления признаков чрезвычайных ситуаций террористического характера против объекта критической инфраструктуры с использованием автомобильных транспортных средств, функционирующих около него.

**Выводы**

Математическая модель выявления признаков чрезвычайных ситуаций террористического характера против объектов критической инфраструктуры с использованием автомобильных транспортных средств представляет собой систему, состоящую из трех зависимостей. Первая из них описывает штатное состояние ситуационного фона автомобильных транспортных средств, функционирующих около объектов критической инфраструктуры, и определяет пороговое значение интенсивности движения регистрируемых видеосистемой транспортных средств, при которых обеспечивается достоверное выявление нарушителей. Вторая зависимость позволяет определить количество нарушителей или выявляемых нештатных ситуаций с автомобильными транспортными средствами, функционирующими около охраняемого объекта критической инфраструктуры, в зависимости от числа детализирующих фрагментов транспортного фона, количества работающих видеосистем в контролируемой зоне и режимов их работы. Третье выражение показывает, что переход из надмножества регистрируемых транспортных средств в множество нарушителей первого уровня, из него в подмножество нарушителей второго уровня, а затем в множество потенциальных злоумышленников определяется числом отклонений от стандартных характеристик использования транспортного средства независимо от промежутка времени, в течение которого они были зафиксированы, при этом возвращение системы в штатное состояние определяется числом профилактических мероприятий, проводимых компетентными органами совместно со службой физической защиты охраняемого объекта независимо от промежутка времени, в течение которого они производятся.

**Литература**

1. Инфраструктура (Infrastructure) – это. Доступ: [http://forexaw.com/TERMs/Industry/Plants\\_and\\_soobruzheniya/1853.pdf](http://forexaw.com/TERMs/Industry/Plants_and_soobruzheniya/1853.pdf)
2. Соловьев В.П. Инновационная инфраструктура как фактор социальной адаптации к условиям технологического развития. Доступ: <http://iee.org.ua/files/pub/svpinfr.pdf>
3. Инновационная инфраструктура 2017-2021. Кабинет министров Украины утвердил проект "Концепции Государственной целевой экономической программы развития инновационной инфраструктуры". Доступ: [https://www.eduget.com/news/innovacionnaya\\_infrastruktura\\_2017-2021-357](https://www.eduget.com/news/innovacionnaya_infrastruktura_2017-2021-357)
4. Рыночная инфраструктура. Доступ: <http://econominfo.ru/view-article.php?id=31>
5. Инфраструктура рынка. Формирование рыночной инфраструктуры в Украине. Доступ: <http://www.megos.org.ua/navczannia/ru/tema7.1.polit.page.html>

6. Информационная инфраструктура. Доступ: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0>
7. Военная инфраструктура это. Доступ: [http://safety\\_buildings.academic.ru/71/%D0%92%D0](http://safety_buildings.academic.ru/71/%D0%92%D0)
8. Critical infrastructure – content, structure and problems of its protection. Input: [https://www.google.com.ua/?gfe\\_rd=cr&ei=gVWAWMT9FNKBVOfZnOAE&gws](https://www.google.com.ua/?gfe_rd=cr&ei=gVWAWMT9FNKBVOfZnOAE&gws)
9. Хофрейтер Л. Критическая инфраструктура – содержание, структура и проблемы ее защиты. Доступ: <http://jml2012.indexcopernicus.com/fulltxt.php?ICID=1129729>
10. Указ Президента України №8/2017 від 16 січня 2017 року. Доступ: <http://www.president.gov.ua/documents/82017-21058>
11. Порошенко усилил защиту объектов критической инфраструктуры. Доступ: [http://news.liga.net/news/politics/14672613poroshenko\\_usilil\\_zashchitu\\_obektov\\_kriticheskoy\\_infrastruktury.htm](http://news.liga.net/news/politics/14672613poroshenko_usilil_zashchitu_obektov_kriticheskoy_infrastruktury.htm)
12. Тихонов В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.А. Миронов. – М.: Советское радио, 1977. – 488 с.
13. Хайзин Э.М. Методы оптимальных статистических решений и задачи оптимального управления / Э.М. Хайзин. – М.: Советское радио, 1968. – 256 с.
14. Розет Т.А. Элементы теории цилиндрических функций с приложениями к радиотехнике / Т.А. Розет. – М.: Советское радио, 1956. – 224 с.
15. Сарымсаков Т.А. Основы теории процессов Маркова / Т.А. Сарымсаков. – М.: Гостехиздат, 1954. – 264 с.
16. Баруча-Рид А.Т. Элементы теории марковских процессов и ее приложения / А.Т. Баруча-Рид. – М.: Наука, 1969. – 364 с.
17. Дынкин Е.Б. Марковские процесс / Е.Б. Дынкин. – М.: Физматгиз, 1963. – 132 с.
18. Система телевидения замкнутого периметра. Интернет публикация. 2010. – 5 с. Доступ: <http://ru.wikipedia.org/wiki>
19. Видеонаблюдение. Интернет публикация. 2011. – 12 с. Доступ: <http://www.3gkiev.com>

## References

1. Infrastructure is. Access: [http://forexaw.com/TERMs/Industry/Plants\\_and\\_soobruzeniya/l853.pdf](http://forexaw.com/TERMs/Industry/Plants_and_soobruzeniya/l853.pdf)
2. Soloviev VP Innovative infrastructure as a factor of social adaptation to the conditions of technological development. Access: <http://iee.org.ua/files/pub/svpinfr.pdf>
3. Innovative Infrastructure 2017-2021. The Cabinet of Ministers of Ukraine approved the draft "Concept of the State Targeted Economic Program for the Development of Innovation Infrastructure." Access: [https://www.eduget.com/news/innovacionnaya\\_infrastruktura\\_2017-2021-357](https://www.eduget.com/news/innovacionnaya_infrastruktura_2017-2021-357)
4. Market infrastructure. Access: <http://econominfo.ru/view-article.php?id=31>
5. Market Infrastructure. Formation of market infrastructure in Ukraine. Access: <http://www.megos.org.ua/navczannia/en/tema7.1.polit.page.html>
6. Information infrastructure. Access: <https://en.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0>
7. Military infrastructure is. Access: [http://safety\\_buildings.academic.com/71/%D0%92%D0](http://safety_buildings.academic.com/71/%D0%92%D0)
8. Critical infrastructure - content, structure and problems of its protection. Input: [https://www.google.com.ua/?gfe\\_rd=cr&ei=gVWAWMT9FNKBVOfZnOAE&gws](https://www.google.com.ua/?gfe_rd=cr&ei=gVWAWMT9FNKBVOfZnOAE&gws)
9. L. Hofreiter. Critical infrastructure - the content, structure and problems of its protection. Access: <http://jml2012.indexcopernicus.com/fulltxt.php?ICID=1129729>
10. Decree of the President of Ukraine No. 8/2017 dated 16 December 2017. Access: <http://www.president.gov.ua/documents/82017-21058>
11. Poroshenko strengthened the protection of critical infrastructure facilities. Access: [http://news.liga.net/news/politics/14672613-poroshenko\\_usilil\\_zashchitu\\_obektov\\_kriticheskoy\\_infrastruktury.htm](http://news.liga.net/news/politics/14672613-poroshenko_usilil_zashchitu_obektov_kriticheskoy_infrastruktury.htm)
12. Tikhonov V.I. Markov processes / V.I. Tikhonov, M.A. Mironov - Moscow: Soviet Radio, 1977. - 488 p.
13. Khayzin E.M. Methods of optimal statistical solutions and optimal control problems / E.M. Heyzin - Moscow: Soviet Radio, 1968. - 256 p.
14. Roset T.A. Elements of the theory of cylindrical functions with applications to radio engineering / T.A. Roset - M.: Soviet Radio, 1956. - 224 p.
15. Sarymsakov TA Fundamentals of the theory of Markov processes / T.A. Sarymsakov M.: Gostekhizdat, 1954. - 264 p.
16. Barucha-Read A.T. Elements of the theory of Markov processes and its applications. Barucha-Read - Moscow: Nauka, 1969. - 364 p.
17. Dynkin E.B. Markov process / E.B. Dynkin - Moscow: Fizmatgiz, 1963. - 132 p.
18. The closed-circuit television system. Internet publication. 2010. - 5 p. Access: <http://en.wikipedia.org/wiki>
19. Video surveillance. Internet publication. 2011. - 12 with. Access: <http://www.3gkiev.com>

Рецензія/Peer review : 2.5.2017 р. Надрукована/Printed : 19.6.2017 р.  
Стаття рецензована редакційною колегією