

# ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ, ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

---

---

**А.Н. ТАЛАХ,**

*канд. техн. наук, докторант*

**В.В. АЛЕКСЕЕВ,**

*доктор техн. наук, профессор*

**А.О. ЖУКОВ,**

*канд. техн. наук, доцент*

**А.В. КУЛАКОВ,**

*доктор физ.-мат. наук, профессор, чл.-корр. РАН,*

*зам. руководителя Экспертно-аналитического*

*центра Министерства образования и науки РФ*

**В.М. ТЮТЮННИК,**

*доктор техн. наук, профессор, акад. РАЕН,*

*президент и генеральный директор*

*Международного Информационного Нобелевского*

*Центра (МИНЦ), профессор Московского*

*государственного института культуры,*

*Тамбовского государственного*

*технического университета*

*Тамбовский государственный*

*технический университет*

*E-Mail: vmtutyunnik@gmail.com*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В ЭРГОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Представлена математическая модель, применение которой позволяет автоматизировать наиболее трудоемкие операции лица, принимающего решение, о важности информации в эрготехнической системе и реализовать автоматизированное управление безопасностью информации на основе автоматического определения метки важности нового информационного объекта.*

**Ключевые слова:** информационный объект, безопасность информации, эрготехническая система, математическая модель, контроль, управление.

**A.N. TALAKH,**

*Cand. of Techn. Sciences, Doctoral Student*

**V.V. ALEKSEEV,**

*Doctor of Techn. Sciences, Professor*

**A.O. ZHUKOV,**

*Cand. of Techn. Sciences, Associate Professor*

**A.V. KULAKOV,**

*Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor,*

*Corresponding Member of RAS, Deputy. Head of the Expert-Analytical Center of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation*

**V.M. TYUTYUNNIK,**

*Doctor of Techn. Sciences, Professor,*

*Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, President and Director General of the International Information Nobel Center (IINC),*

*Professor of the Moscow State Institute of Culture, Tambov State Technical University*

*Tambov State Technical University*

*E-Mail: vmtutyunnik@gmail.com*

## **MATHEMATICAL MODEL OF INFORMATION PROCESS QUALITY MANAGEMENT IN ERGO-TECHNICAL SYSTEMS**

*Mathematical model of information process quality management allows automating the most time-consuming operation of decision maker about the importance of information in ergo-technical system, and to implement automated information security management on the basis of automatic determination of the importance of the new label information object.*

**Key words:** information object, security of information, ergo-technical system, mathematical model, control, management.

### **Введение**

Развитие информационно-коммуникационных технологий во всех сферах человеческой деятельности выдвигает новые требования к целостности и защищенности информации и информационных процессов, протекающих в эрготехнических системах (ЭТС). Для большинства систем основой принятия решения о важности (защищенности) сформированной информации в процессе их функционирования существует процедура, называемая «комплексным техническим контролем» (КТК). В рамках этой процедуры осуществляется оценка степени важности информации. Эта оценка представлена решением о необходимости защиты информации. Оно формируется лицом, принимающим решение (ЛПР), или экспертной комиссией на основании требований документов, определенных в данной предметной области. Это обуславливает ряд негативных особенностей:

- мероприятия КТК являются продолжительными по времени, ресурсо- и трудоемкими;
- процедура КТК не может в полной мере обеспечить защиту информации в реальном масштабе

времени, что затрудняет соблюдение основного принципа защиты информации – обеспечение непрерывности в осуществлении мероприятий по ее защите;

- существующие на данный момент методики и алгоритмы защиты информации не в полной мере учитывают уязвимости технологий сетевого обмена, а также возможности технических средств по доступу к информации в процессе сетевого обмена.

Эти особенности процедуры оценки важности информации усиливаются отсутствием адекватного восприятия сущности противоречия в концептуальном подходе к определению термина «владелец» информации. Как следствие всего вышесказанного, процедуры оценки важности информации и управления ее безопасностью недостаточно автоматизированы.

### **Постановка задачи**

Основой для построения математической модели управления качеством информационных процессов в ЭТС являются общие цели защиты

информации и условия, в которых осуществляется ее защита. В общем виде задача формулируется как построение модели, обеспечивающей, при минимальном расходе ресурсов, в том числе и информационных, требуемый уровень конфиденциальности информации, формируемой в процессе функционирования ЭТС и оформленной в виде информационных объектов (протоколов, справок, распоряжений и т.п.).

Системный анализ информационных процессов, протекающих в ЭТС, существующих методов и моделей, применяемых для оценки степени важности информации на различных этапах функционирования ЭТС, позволил определить основные факторы, оказывающие влияние на безопасность информации, особенности процедур управления безопасностью информации, циркулирующей в ЭТС. Один из этапов построения модели – проектирование ее структурно-алгоритмической части. Для решения этой задачи применен подход, основанный на методах теории нечетких множеств [1...4] и заключающийся в том, что результатом работы правил логико-лингвистической модели является не терм, а функциональная зависимость [5]. На этой основе разработана обобщенная модель слежения за изменением степени важности информации (информационного объекта), приведенная ниже.

Пусть состояния информационного объекта описываются уравнениями:

$$\dot{x}_i(t) = \frac{\sum_{k=1}^L \mu_i(z(k)) [A_i x(t) + B_i u(t)]}{\sum_{i=1}^L \mu_i(z(k))} + w(t) =$$

$$= \sum_{i=1}^L h_i(z(k)) [A_i x(t) + B_i u(t)] + w(t)$$

$$y(t) = \frac{\sum_{i=1}^L \mu_i(z(k)) [C_i x(t)]}{\sum_{i=1}^L \mu_i(z(k))} + v(t) =$$

$$= \sum_{i=1}^L h_i(z(k)) [C_i x(t)] + v(t),$$

где  $x_i(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T \in R^{n*1}$  – вектор состояний информационного объекта;  $t$  – непрерывное время внутри  $k_i$  интервала;  $u_i(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)]^T \in R^{m*1}$  – вектор управления информационным объектом, т.е. упорядоченная по времени последовательность действий ЛПР, результат которых обеспечивает достижение поставленной цели в  $k_i$  интервале времени;  $w_i(t) = [w_1(t), w_2(t), \dots, w_n(t)]^T \in R^{n*1}$  – влияние внешней среды (внешние

воздействия, количество, скорость поступления и объем информации, вид и характеристики и т.п.);  $y_i(t)$  – выходы системы (характеристики уравнения наблюдения);  $v_i(t)$  – погрешность оценки;

$$\mu_i(z(k)) = \prod_{j=1}^g F_{ij}(z_j(k))$$

$$h_i(z(k)) = \frac{\mu_i(z(k))}{\sum_{i=1}^L \mu_i(z(k))} \quad (3)$$

$$z(k) = [z_1(k), z_2(k), \dots, z_g(k)],$$

где  $F_{ij}(z_j(k))$  – функция принадлежности  $z_j(k)$  к  $F_{ij}$ ;  $F_{ij}(z_j(k))$  – функция принадлежности, значения которой зависят от количества выполняемых задач  $z(k)$  и т.п.;  $A_i \in R^{n \times n}$ ,  $B_i \in R^{n \times m}$ ,  $C_i \in R^{n \times m}$  – правила, определяющие степень важности информации;  $L$  – количество правил в логико-лингвистической модели на  $k_i$  интервале времени.

Приняв для всех  $k_i$ :  $\mu_i(z(k)) \geq 0$  и  $\sum_{i=1}^L \mu_i(z(k)) > 0$ , при  $i = 1, 2, \dots, L$ , получим:

$$h_i(z(k)) \geq 0, \text{ при } i = 1, 2, \dots, L \text{ и } \sum_{i=1}^L h_i(z(k)) = 1. \quad (4)$$

Считается, что известна эталонная модель информационного процесса, в котором информационным объектам назначены соответствующие метки степени важности, имеющая вид:

$$\dot{x}_r(t) = A_r x_r(t) + r(t), \quad (5)$$

где  $x_r(t)$  – исходное состояние процесса оценки информации;  $A_r$  – асимптотически устойчивая матрица;  $r(t)$  – контрольные входные данные.

Предполагается, что  $x_r(t)$  представляет желаемую траекторию протекания информационного процесса. В этом случае процесс слежения за ошибкой (изменением степени важности информационного объекта)  $x(t) - x_r(t)$ , реализуется выполнением неравенств:

$$\frac{\int_0^{t_f} \{ [x(t) - x_r(t)]^T Q [x(t) - x_r(t)] \} dt}{\int_0^{t_f} \tilde{w}(t)^T \tilde{w}(t) dt} \leq \rho^2 \quad (6)$$

или

$$\int_0^{t_f} \{ [x(t) - x_r(t)]^T Q [x(t) - x_r(t)] \} dt \leq$$

$$\leq \rho^2 \int_0^{t_f} \tilde{w}(t)^T \tilde{w}(t) dt, \quad (7)$$

где  $\tilde{w}(t) = [v(t), w(t), r(t)]^T$ ;  $v(t)$  – ошибки оценки;  $t_f$  – время оценки;  $Q$  – положительно определенная

матрица весов;  $\rho$  – предписанный уровень снижения степени важности информации.

Используя выражения (1)...(7) сформулирована совокупность правил, представляющих собой нечеткую модель слежения за изменением степени важности информации.

Правило слежения  $i$ : Если  $z_1(t)$  есть  $F_{i1}$  и ... и  $z_g(t)$  есть  $F_{ig}$ , то:

$$\dot{\hat{x}}(t) = A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + L_i (y(t) - \hat{y}(t)), \quad (8)$$

где  $L_i$  – выигрыш слежения для  $i$ -го правила и

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=1}^L h_i(z(k)) C_i \hat{x}(t).$$

Тогда, система слежения будет описываться следующим выражением:

$$\dot{\hat{x}}(t) = \sum_{i=1}^L h_i(z(t)) \times \quad (9)$$

$$\times [A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + L_i (y(t) - \hat{y}(t))].$$

Обозначим

$$e(t) = x(t) - \hat{x}(t). \quad (10)$$

Дифференцируя (10), получим

$$\begin{aligned} \dot{e}(t) &= \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L h_i(z(k)) h_j(z(k)) \times \\ &\times [A_i x(t) + B_i u(t) + w(t)] - \\ &- [A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + L_i C_j (x(t) - \hat{x}(t)) + L_i v(t)] = \quad (11) \\ &= \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L h_i(z(k)) h_j(z(k)) [A_i - L_i C_j] e(t) - \\ &- L_i v(t) + w(t). \end{aligned}$$

Нечеткая модель выбора представлена совокупностью правил [6].

Правило выбора  $j$ : Если  $z_1(k)$  есть  $F_{j1}$  и ... и  $z_g(k)$  есть  $F_{jg}$ , то

$$u_i(t) = K_j [\hat{x}(t) - x_r(t)], \text{ при } i = 1, 2, \dots, L. \quad (12)$$

Закон выбора соответствующей аналитической модели имеет вид

$$\begin{aligned} u_i(t) &= \frac{\sum_{j=1}^L \mu_j(z(k)) [K_j (\hat{x}(t) - x_r(t))]}{\sum_{j=1}^L \mu_j(z(k))} = \quad (13) \\ &= \sum_{j=1}^L h_j(z(k)) [K_j (\hat{x}(t) - x_r(t))]. \end{aligned}$$

После преобразования система принимает следующий вид

$$\dot{\hat{x}}(t) = \sum_{i=1}^L h_i(z(k)) \sum_{j=1}^L h_j(z(k)) [\tilde{A}_{ij} \hat{x}(t) + \tilde{E}_i \tilde{w}(t)], \quad (14)$$

Обозначим:

$$\tilde{A}_{ij} = \begin{bmatrix} A_i - L_i C_j & 0 & 0 \\ -B_i K_j & A_i - B_i K_j & -B_i K_j \\ 0 & 0 & A_r \end{bmatrix},$$

$$\tilde{x}(t) = \begin{bmatrix} e(t) \\ x(t) \\ x_r(t) \end{bmatrix},$$

$$\tilde{w}(t) = \begin{bmatrix} v(t) \\ w(t) \\ r(t) \end{bmatrix},$$

$$\tilde{E}_i = \begin{bmatrix} -L_i & I & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}. \quad (15)$$

С учетом (1) получим

$$\dot{\hat{x}}(t) = \sum_{i=1}^L h_i(z(k)) \sum_{j=1}^L h_j(z(k)) [\tilde{A}_{ij} \tilde{x}(t) + \tilde{E}_i \tilde{w}(t)]. \quad (16)$$

С учетом начального состояния уравнение, определяющее систему слежения за информацией в ЭТС (14), модифицируется как

$$\begin{aligned} &\int_0^{t_f} \left\{ (x(t) - x_r(t))^T Q (x(t) - x_r(t)) \right\} dt = \\ &= \int_0^{t_f} \tilde{x}^T(t) \tilde{Q} \tilde{x}(t) dt \leq \tilde{x}^T(0) \tilde{P} \tilde{x}(0) + \quad (17) \\ &+ \rho^2 \int_0^{t_f} \tilde{w}^T(t) \tilde{w}(t) dt, \end{aligned}$$

где  $\tilde{P}$  – симметричная положительно определенная матрица весов и

$$\tilde{Q} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q & -Q \\ 0 & -Q & Q \end{bmatrix}.$$

Далее необходимо определить закон управления (13), обеспечивающий слежение за изменением степени важности информации в ЭТС для всех  $w(t)$ . После этого необходимо минимизировать  $\rho^2$  так, чтобы величина ошибки слежения за информацией, определенная из (17), была минимальна. В работе [6] доказано, что гарантируется ошибка слежения за информацией ЭТС, определяемая (17) для заданного  $\rho^2$ .

## Результаты и выводы

Анализ математической модели управления качеством информационного процесса (1)...(17) позволил определить этапы ее реализации:

1. Определяется множество исходной информации в ЭТС для решения конкретной задачи оценки и управления безопасностью информации.

2. Проводится классификация информации в ЭТС на основе использования (1).

3. Определяются области допустимых значений информации (в соответствии с требованиями нормативных документов).

4. Формируются нечеткие правила описания зависимостей между переменными в (1), выбираются виды функций принадлежности.

5. Уменьшается неопределенность состояния информации путем решения задачи определения детерминированных управляющих параметров.

6. Повторяются шаги 2...5 до тех пор, пока не будут найдены оптимальные состояния процесса оценки степени важности информации.

Таким образом, разработанная модель позволяет осуществить выбор аналитической модели оценки степени важности информации на основе использования соответствующих терм-множеств, которые определяются функциональными зависимостями и составляют основу процедуры автоматизации процесса управления качеством информационного процесса в ЭТС.

Полученная математическая модель управления качеством информационного процесса представляет собой систематизированную совокупность действий, реализуемую для управления безопасностью информации в ЭТС. Ее применение обеспечивает переход к безопасным состояниям системы, если исходное состояние было безопасным. Кроме того, расширяются возможности контроля безопасности ЭТС при создании новых информационных объектов и модификации матрицы доступа к ним на основе автоматического определения метки важности нового информационного объекта. Приведенные результаты могут служить основой развития теории создания систем логического управления безопасностью информации при непреднамеренных нарушениях правил разграничения доступа к информации, обоснованию методики формирования правил по управлению безопасностью информации в ЭТС [7, 8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

1. Поспелов Г.С., Ириков В.А. *Программно-целевое планирование и управление (Введение)*. М.: Сов. радио, 1976. 440 с. [Pospelov G.S., Irikov V.A. *Software-target planning and management*

(Introduction). Moscow: Publishing House «Sov. Radio», 1976. 440 p.] (in Russian).

2. Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н. *Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика*: пер. с англ. М.: Мир, 1980. 338 с. [Reingold E., Nivergelt Y., Deo N. *Combinatorial algorithms. Theory and practice*: trans. from Eng. Moscow: Publishing House «Mir», 1980. 338 p.] (in Russian).
3. Саати Т. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. М.: Радио и связь, 1993. 320 с. [Saati T. *The adoption of decisions. Method of analysis of hierarchies*. Moscow: Publishing House «Radio i svyas», 1993. 320 p.] (in Russian).
4. Сидняев Н.И., Вилисова Н.Т. *Введение в теорию планирования эксперимента*: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011. 463 с. [Sidnyaev N.I., Vilisova N.T. *Introduction to the theory of experimental planning: a tutorial*. Moscow: N.E. Bauman MSTU Publ.House, 2011. 463 p.] (in Russian).
5. Поспелов Д.А. *Логико-лингвистические модели в системах управления*. М.: Энергоиздат, 1981. 246 с. [Pospelov D.A. *Logical-linguistic models in management systems*. Moscow: Publishing House «Energoizdat», 1981. 246 p.] (in Russian).
6. Талах, А.Н. Особенности совершенствования алгоритма анализа информации применительно к автоматизированным системам // *Актуальные проблемы методического, информационного и экономического обеспечения испытаний авиационной техники и подготовки инженеров-испытателей*: Материалы НТК филиала «ВЗЛЕТ» МАИ (ГТУ) и ГЛИЦ им. В.П.Чкалова. Ахтубинск: МАИ (ГТУ), 2010. С. 48 [Talakh A.N. Features to improve information analysis algorithm applied to automated systems // *Actual problems of methodological, informational and economic testing aviation equipment and training of testers*. Aktyubinsk: MAI, 2010. P. 48] (in Russian).
7. Талах А.Н., Алексеев В.В., Жуков А.О., Кулаков А.В., Тютюнник В.М. Математическая модель процесса формирования оценки и управления степенью безопасности информации, формируемой при проектировании технической системы // *Перспективы науки*. 2017. № 10(97). С. 19...26 [Talakh A.N., Alekseev V.V., Zhukov A.O., Kulakov A.V., Tyutyunnik V.M. Mathematical model of process of evaluation and

management formation of information degree of security that is generated when technical systems designing // *Science prospects*. 2017. No. 10(97). Pp. 19...26] (in Russian).

8. Талах А.Н., Алексеев В.В., Жуков А.О., Кулаков А.В., Тютюнник В.М. Вероятностный критерий для контроля функционирования

информационной системы // *Наука и бизнес: пути развития*. 2017. № 11(77). С. 29...35 [Talakh A.N., Alekseev V.V., Zhukov A.O., Kulakov A.V., Tyutyunnik V.M. Probabilistic criteria for control of the information system functioning. *Science and business: development path*. 2017. No. 11(77). Pp. 29...35] (in Russian).

---

---

### Сведения об авторах

**Талах Андрей Николаевич**, канд. техн. наук,  
докторант Тамбовского государственного технического университета  
**Алексеев Владимир Витальевич**, доктор техн. наук, профессор  
**Жуков Александр Олегович**, канд. техн. наук, доцент  
**Кулаков Анатолий Васильевич**, доктор физ.-мат. наук, профессор, чл.-корр. РАН,  
зам. руководителя Экспертно-аналитического центра Министерства образования и науки РФ  
**Тютюнник Вячеслав Михайлович**, доктор техн. наук, профессор, академик РАН,  
президент и генеральный директор Международного Информационного Нобелевского Центра (МИНЦ),  
профессор Московского государственного института культуры  
E-mail: vntyutyunnik@gmail.com  
Тамбовский государственный технический университет  
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106

### Information about authors

**Talakh Andrey N.**, Cand. of Techn. Sciences, Doctoral Student  
**Alekseev Vladimir V.**, Doctor of Techn. Sciences, Professor  
**Zhukov Alexander O.**, Cand. of Techn. Sciences, Associate Professor  
**Kulakov Anatoliy V.**, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS,  
Deputy Head of the Expert-Analytical Center of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation  
**Tyutyunnik Vyacheslav M.**, Doctor of Techn. Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, President and Director General of the International Information Nobel Center (IINC), Professor of the Moscow State Institute of Culture, Tambov State Technical University  
E-mail: vntyutyunnik@gmail.com  
Tambov State Technical University  
392000, Russian Federation, Tambov, Sovetskaya str., 106

---

---

Редакция вправе публиковать любые присланные в свой адрес рукописи, произведения, письма и обращения граждан России и любых стран мира. Факт переписки, в том числе по электронной почте, означает согласие автора на передачу редакции/или издательству исключительных прав на использование рукописи, произведения, письма и обращения в любой форме и любым способом. Рукописи, произведения, письма и обращения которые по мнению редакции и/или издательства, не по тематике журнала и/или мало интересны для читателей журнала не публикуются. Рукописи авторам не возвращаются.