

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

И.И. БОСИКОВ^{1,2}

¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)
362021, Россия, Владикавказ, ул. Николаева, 44

²Астраханский государственный технический университет
414056, Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16

Аннотация. В статье рассматриваются сложные технические системы переменной структуры (СТС ПС), особенностями которых являются: многокомпонентность и сложность; нелинейная взаимозависимость между количественно и качественно задаваемыми параметрами; неполнота исходных данных; сложность и затратность проведения экспериментов; риски возникновения опасных ситуаций и их негативные последствия; уникальность систем и как следствие сложность транслирования накапливаемого опыта на аналогичные СТС ПС; разнообразие воздействий внутренних и внешних факторов на СТС ПС, их стохастический и нестохастический характер; изменение структуры и параметров в ходе функционирования; использование таких СТС ПС для обеспечения непрерывности функционирования более масштабных систем.

Целью работы является разработка методики формирования комплекса управленческих решений с помощью решения системы интегро-дифференциальных уравнений.

Новизна заключается в том, что разработана методика формирования управленческих решений, отличающаяся тем, что поиск организационных и технологических решений повышения надежности СТС ПС состояний объекта ведется с помощью решения систем интегро-дифференциальных уравнений, учитывающих параметры компонентов СТС ПС, что позволяет определить вероятности пребывания во всех состояниях и параметры перехода из отказовых в работоспособные состояния.

Ключевые слова: сложная техническая система переменной структуры, организационные и технологические решения, системы интегро-дифференциальных уравнений, параметры СТС ПС, отказовые и работоспособные состояния, надежность

Статья поступила в редакцию 19.11.2021

Принята к публикации 03.12.2021

Для цитирования. Босиков И.И. Разработка методики формирования управленческих решений с помощью решения систем интегро-дифференциальных уравнений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 6 (104). С. 23–34. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-23-34

ВВЕДЕНИЕ

Рассматривается класс сложных технических систем переменной структуры (СТС ПС), особенностями которых являются: многокомпонентность и сложность структуры; нелинейная взаимозависимость между количественно и качественно задаваемыми параметрами; неполнота исходных данных; сложность и затратность проведения экспериментов; риски возникновения опасных ситуаций и их негативные последствия; уникальность систем и как следствие сложность транслирования накапливаемого опыта на аналогичные

СТС ПС; разнообразие воздействий внутренних и внешних факторов на СТС ПС, их стохастический и нестохастический характер; изменение структуры и параметров в ходе функционирования; использование таких СТС ПС для обеспечения непрерывности функционирования более масштабных систем. Компонентная схема вентиляционной системы показана на рисунке 1.

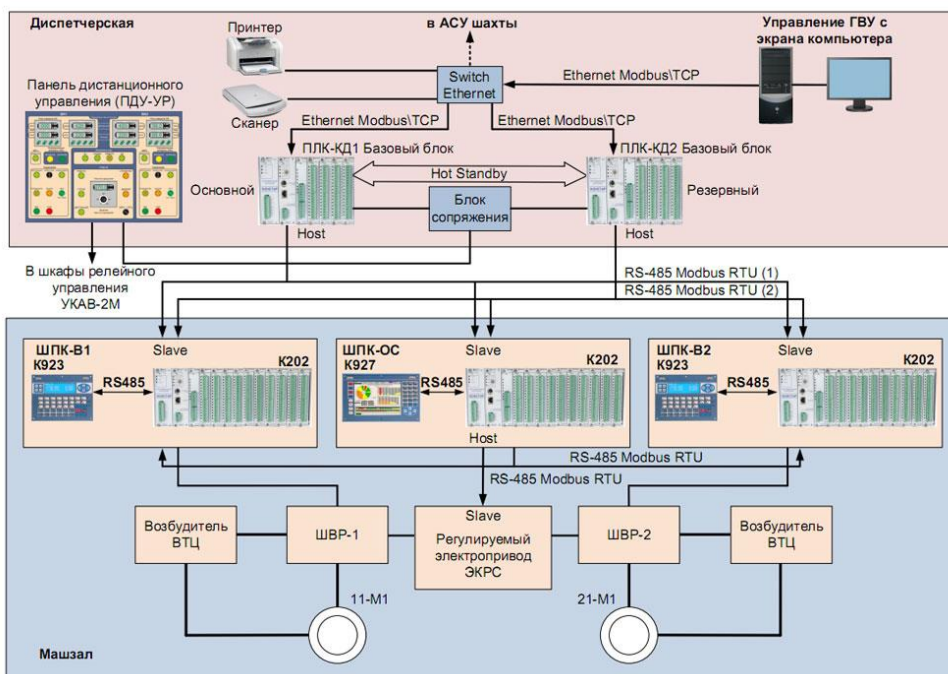


Рис. 1. Компонентная схема вентиляционной системы

К системам данного класса относится, например, вентиляционная система шахт – вентиляторы, высокооборотные лопастные энергетические машины, основанные на преобразовании механической энергии в кинетическую (рис. 2).



Рис. 2. Вентиляционная система угольной шахты № 15

Вентиляторы являются неотъемлемой частью большинства горнодобывающих комплексов и применяются во многих отраслях народного хозяйства: химической, металлургической, горно-геологической, в сфере строительства, а также в перспективных направлениях техники и технологий – в медицине, космонавтике, военной промышленности и др.

Указанные выше свойства таких СТС ПС обуславливают специфику подходов к их анализу и моделированию: отсутствие единого подхода для создания и использования общих аналитических моделей СТС ПС, учитывающих особенности всех компонентов и процессов моделируемых СТС ПС; недостаточность данных и невозможность непосредственного анализа опасных и аварийных режимов и условий функционирования СТС ПС; закрытость, конфиденциальность и сложность получения сведений об СТС ПС от разных разработчиков. Свойства этих СТС ПС и особенности их моделирования позволяют обосновать целесообразность комбинирования различных подходов и методов для построения имитационной модели СТС ПС из моделей отдельных ее компонентов.

Известны различные подходы к анализу и моделированию СТС и процессов таких специалистов, как Б.В. Гнеденко, В.В. Борисов, А.Д. Соловьев, Ю.К. Беляев, А.Е. Александрович, Ю.В. Бородакия, В.О. Чуканов, Ю.Н. Федоров и других [1–5]. Однако в этих исследованиях, как правило, осуществляется композиция однотипных компонентных моделей, не предлагаются способы обоснования и модификации моделей различных типов, а также создания аналитико-статистических моделей СТС ПС в целом, учитывающих как специфику разработки, обучения и взаимодействия разнотипных имитационных моделей, так и трансляцию сведений об опасных и аварийных ситуациях для их адаптивной структурно-параметрической настройки.

Особенностями управления такими СТС ПС являются следующие: управление выполняется по параметрам (например, по числу оборотов приводящего двигателя, регуляторам, вентиляционному байпасу, дроссель-клапанам и др.) с учетом условий безопасности, без оптимизации эффективности; представляет собой выработку и реализацию различных последовательностей управляющих решений по переходу в целевую ситуацию в зависимости от стратегии управления; неполнота и неопределенность данных о СТС ПС, сложность формализации критериев эффективности управления СТС ПС затрудняет реализацию соответствующих стратегий управления и достижение цели управления; выполнение дополнительных требований при переходе через промежуточные ситуации (например, для обеспечения надежности); ошибки управления могут привести к выходу из строя СТС ПС, к аварийным ситуациям и к негативным последствиям; необходимость адаптации управления к изменению структуры и параметров в процессе функционирования СТС ПС, системных и внешних факторов; переменный характер функционирования СТС ПС, снижающий требования к оперативности управляющих воздействий; задачи и процессы моделирования и управления СТС ПС, как правило, обособлены друг от друга [3–5].

Вышесказанное позволяет обосновать целесообразность применения методики формирования комплекса управленческих решений с помощью решения системы интегро-дифференциальных уравнений. Методика обеспечивает повышение эффективности управления СТС ПС в зависимости от стратегии управления и ограничений, а также позволяет определить вероятности пребывания во всех состояниях и параметры перехода из отказовых в работоспособные состояния.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является разработка методики формирования комплекса управленческих решений с помощью решения систем интегро-дифференциальных уравнений.

В основе постановки задачи лежит формализованное представление двух взаимосвязанных задач: во-первых, применение систем интегро-дифференциальных уравнений СТС ПС; во-вторых, формирование комплекса управленческих решений для повышения надежности СТС ПС. Постановка задачи решения систем интегро-дифференциальных уравнений СТС заключается в разработке в соответствии с выбранными критериями метода оценки и анализа надежности технических систем.

Проведены исследования по управлению процессом изменения связей между устройствами технической системы с целью получения наибольшей надежности.

Методология и методы исследования: решение поставленных задач базируется на современных методах математической статистики, теории графов, теории принятия решений, аппарате математической логики, факторного анализа, математическом моделировании, теории множеств, теории надежности и на системном анализе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились с СТС ПС с временным отрезком P_0 . На временном отрезке P_0 имеется k промежутков, границы между которыми являются моментами реконфигурации системы, т.е. при переходе от одного участка к соседнему изменяется закон распределения времени безотказной работы ζ_j . Пусть $F_j(t)$ – вероятность безотказной работы системы на j -м интервале времени, $j = 1, 2, \dots, l$. Длины участков ζ_j также являются случайными и имеют, вообще говоря, произвольные распределения. Пусть $H_j(t)$ – вероятность того, что длительность j -го интервала не меньше t . Требуется определить вероятность безотказной работы $P(t)$ этой перестраиваемой системы, а также найти длительности участков, для которых эта вероятность максимальна. Граф состояний изображен на рисунке 3 [5–10].

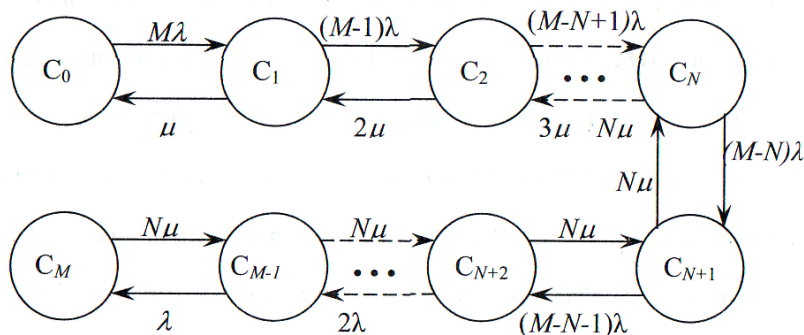


Рис. 3. Граф состояний СТС ПС

Введем функции, соответствующие возможным состояниям системы: положим $y_j(s, u, t)$ – плотность распределения вероятностей, что в момент времени t система находится на j -м участке, при этом после момента t она продолжит свою безотказную работу в течение времени s , а продолжительность участка будет не меньше u , $y'_j(o, u, t)$ – плотность распределения вероятностей, что в момент времени t система находится на j -ом участке в отказовом состоянии, но продолжительность участка после момента t будет не меньше u . Состояния j являются работоспособными, а состояния j' – отказовыми состояниями, $j = 1, 2, \dots, l$ [7–11].

Временная диаграмма функционирования СТС ПС представлена на рисунке 4. Она соответствует случаю, когда система k раз «прокрутилась» в цикле, а затем на $k+1$ -м участке она попала в отказовое состояние.

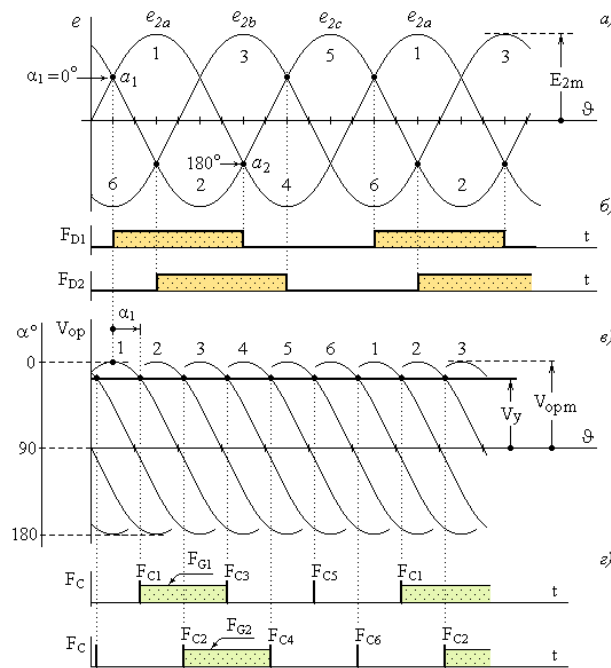


Рис. 4. Временная диаграмма функционирования СТС ПС

Разработана методика формирования комплекса управленческих решений, где выбор организационных и технологических решений повышения надежности СТС ПС состояний объекта ведется с помощью решения систем интегро-дифференциальных уравнений, учитывающих параметры компонентов СТС ПС [10–18].

По графу состояний СТС ПС были созданы следующие системы интегро-дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 y_1(s, u, t) &= \int_0^t f_1(x+s) \cdot h_1 \cdot (x+u) \int_0^\infty y_n(s, 0, t-x) ds dx + f_1(t+s) \cdot h_1 \cdot (t+u) \\
 y_j(s, u, t) &= \int_0^t f_j(x+s) \cdot h_j \cdot (x+u) \int_0^\infty y_{j-1}(s, 0, t-x) ds dx \\
 y'_j(s, u, t) &= \int_0^t y_j(s, 0, t-x) dx \quad l=2, \dots, k.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Для реализации системы (1) рассмотрим $\delta_j(s, u, t) = \int_0^\infty y_j(s, 0, t-x) ds \quad j=1, 2, \dots, l$.

Рассмотрим далее:

$$\delta_1(t) \psi = c_1 \cdot \delta_n(t) + c_1(t), \dots \delta_j(t) = c_j \cdot \delta_{j-1}(t), \quad j=2, \dots, l.$$

Примем следующее:

$$c_j(t) = \bar{F}_j(t) \cdot h_j(t), \dots, b_j(t) = f_j(t) \bar{H}_j(t)$$

$$c_j(t) = \bar{F}_j(t) \cdot \bar{H}_j(t), \dots, c_j(s, u, t) = f_j(t + s) \cdot h_j(t + u)$$

$$c(t) = c_1 \cdot c_2 \cdot \dots \cdot c_n(t); \psi(t) = \sum_{j=1}^n c_1 \cdot \dots \cdot c_{j-1} \cdot k_j(t)$$

Применив преобразование Лапласа, получим следующее:

$$\hat{\phi}_j(z) = \frac{\hat{c}_1(z) \dots \hat{c}_j(z)}{1 - \hat{c}(z)}. \quad (2)$$

Реализация системы уравнений (5) произведена с применением выражения (2):

$$\hat{y}_j(s, u, z) = \frac{\hat{c}_1(z) \dots \hat{c}_{j-1}(z) \hat{c}_j(s, u, t)}{1 - \hat{c}(z)}; \hat{y}'_j(s, u, z) = \frac{\hat{y}_1(0, u, z)}{z}; j=1, 2, \dots, l.$$

Имеем следующее:

$$\hat{p}_j(z) = \frac{\hat{c}_1(z) \dots \hat{c}_{j-1}(z) \hat{c}_j(z)}{1 - \hat{c}(z)} \quad \hat{p}'_j(z) = \frac{\hat{c}_1(z) \dots \hat{c}_{j-1}(z) \hat{b}_j(z)}{z \cdot (1 - \hat{c}(z))}; j=1, 2, \dots, l.$$

Т. к. $\hat{c}_1(z) + \hat{b}_j(z) = 1 - z\hat{c}_j(z)$, имеем $\sum_{j=1}^n [\hat{p}_j(z) + \hat{p}'_j(z)] = \frac{1}{z}$

Сумма изменения состояний СТС ПС=1.
После преобразований имеем выражение:

$$\hat{p}(z) = \frac{\sum_{j=1}^n \hat{c}_1(z) \dots \hat{c}_{j-1}(z) \hat{c}_j(z)}{1 - \hat{c}(z)}, \quad (3)$$

т. к. $p(t)$ устраивает выражение, имеем следующее:

$$p(t) = c \cdot p(t) + \gamma(t). \quad (4)$$

Далее определяются и обозначаются $c(t)$ и $\delta(t)$ как функции распределения.
С помощью прикладного ПО реализуем выражение (4).

Т. к. ρ_j – элементы с плотностями $\delta_{ij}(t)$ и $\sum_{j=1}^n \tau_j = T_o$, получим следующее:

$$\hat{c}_j(z) = \bar{F}_j(\tau_j) \cdot e^{-\tau_j z}, \dots, \hat{c}_j(z) = \sum_0^{\tau_j} \bar{F}_j(t) e^{-tz} dt$$

и далее получим:

$$\hat{P}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=0}^n [\hat{c}_1(z) \dots \hat{c}_n(z)]^k \hat{a}_1(z) \dots \hat{c}_{j-1}(z) \hat{c}_j(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=0}^n [\bar{F}_1(\tau_1) \dots \bar{F}_n(\tau_n)]^k \bar{F}_1(\tau_1) \dots \bar{F}_{j-1}(\tau_{j-1}) =$$

$$= \int_0^{\tau_j} \bar{F}_j(t) e^{-(kT_0 + \tau_1 + \dots + \tau_{j-1} + t)z} dt$$

Проведя последующие действия, имеем следующее:

$$P(t) = \left[\prod_{j=1}^n \bar{F}_j(\tau_j) \right]^k \bar{F}_1(\tau_1) \dots \bar{F}_{j-1}(\tau_{j-1}) \bar{F}_j(t - kT_0 - \sum_{i=0}^{j-1} \tau_i)$$

т. к. $kT_0 + \sum_{i=0}^{j-1} \tau_i \leq t \leq kT_0 + \sum_{i=0}^j \tau_i$ при $k=0, 1, \dots, l$ и $j=1, 2, \dots, l$.

С учетом момента времени кратно периоду получаем:

$$P(kT_0) = \left[\prod_{j=1}^n \bar{F}_j(\tau_j) \right]^k. \quad (5)$$

Далее определяем критерии СТС ПС, учитываем комплекс показателей, рассмотренных ранее, и имеем математическую модель:

$$P(kT_0) = \left[\prod_{j=1}^n \bar{F}_j(\tau_j) \right]^k \rightarrow \max \quad (6)$$

соблюдая следующие условия:

$$\sum_{j=0}^n \tau_j = T_0, I_j \leq \tau \leq r_j, j = 1, 2, \dots, l. \quad (7)$$

Реализуя выражения (3, 4), произвели декомпозицию компонентов $[e_j, r_j]$ на определенное количество, при $\eta_j = \zeta_j^{(0)} < \zeta_j^{(1)} < \dots < \zeta_j^{(m)} = k_j$ с учетом разбиения [10–24].

Полученный ожидаемый результат: реализация системы интегро-дифференциальных уравнений, для $\lambda_j^{(i)} \geq 0$:

$$z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^m \lambda_j^{(i)} \log \bar{F}_j(\tau_j^{(i)}) \rightarrow \max \quad (8)$$

при соблюдении следующих условий:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^m \lambda_j^{(i)} (\tau_j^{(i)}) = T_0, \sum_{i=0}^m \lambda_j^{(i)} = 1 \quad (9)$$

$$j = 1, 2, \dots, l$$

Предложены решения системы интегро-дифференциальных уравнений, комплексно учитывающие параметры СТС ПС:

- для начального состояния

$$Y_N(S_N, t) = \sum_{I \in N_0} \int_0^t f_I(x + s_I) y_1[x + s_{N/I}, (\tau_1)_I, t - x] dx + \prod_{I \in N} f_I(t + s_I); \quad (10)$$

- для состояний k -го уровня $|B| = k, |A| = n - k, 1 \leq k \leq m$

$$Y_{A,B}(S_A, \tau_B, t) = \sum_{J \in B_0} \int_0^t g_J(x + \tau_J) Y_{A \cup J, B|J}[(x + s_{A \cup J})_J, x + \tau_{B|J}, t - x] dx + \sum_{J \in A_0} \int_0^t f_I(x + s_I) Y_{A|I, B \cup I}[x + s_{A|I}, (x + \tau_{B \cup I})_I, t - x] dx \quad (11)$$

- для состояний $m+l$ -го уровня $|B| = m + l, |A| = n - m - l$

$$Y_{A,B}(S_A, \tau_B, t) = \sum_{J \in B} \int_0^t g_J(x + \tau_J) Y_{A \cup J, B \setminus J}[(x + s_{A \cup J})_J, x + \tau_{B \setminus J}, t - x] dx \quad (12)$$

На основе доказательства получено уравнение для нулевого уровня вида:

$$P_n(t) = \prod_{i \in N} K_{\Gamma_i}(t),$$

а для состояний i -го уровня $|B| = k, |A| = n - k, 1 \leq k \leq m$

$$P_{A,B}(t) = \prod_{i \in A} K_{\Gamma_i}(t) \prod_{j \in B} K_{\Pi_j}(t).$$

ВЫВОДЫ (ЗАКЛЮЧЕНИЕ)

Разработана методика формирования управленческих решений, отличающаяся тем, что поиск организационных и технологических решений для повышения надежности СТС ПС ведется с помощью решения системы интегро-дифференциальных уравнений, учитывающих параметры СТС ПС, что позволяет определить вероятности пребывания во всех состояниях и параметры перехода из отказовых в работоспособные состояния.

Методика использовалась для разработки практических методов оценки и прогнозирования надежности функционирования перспективных систем, относящихся к классу сложных аппаратно-программных комплексов, работающих в режиме реального времени.

Внедрение методики позволило качественно повысить надежность управления воздухо-снабжением в угольных шахтах. Эффективность разработанной методики и прикладного программного обеспечения для решения поставленных задач подтверждена актами соответствующих предприятий об использовании, внедрении и научно-технической значимости результатов исследований. Теоретические результаты и прикладные программные средства вошли в программу дисциплин «Теория надежности транспортных машин горного производства», «Проектирование транспортных систем горного производства» ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» и используются при подготовке студентов на кафедре «САПР» СКГМИ (ГТУ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Москва: Наука, 1978. 400 с.
2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. Москва: Физматлит, 2001. 320 с.
3. Алтунин А.А. Теоретическое и практическое применение методов принятия решений в условиях неопределенности. Том 1. Общие принципы принятия решений в условиях различных видов неопределенности. Москва: Издательские решения, 2019. 484 с.
4. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. Минск: Дизайн-ПРО, 2004. 640 с.
5. Борисов В.В., Мисник А.Е. Комбинированный нейросетевой способ моделирования для оперативного управления сложными системами // Информационные технологии. 2012. № 7. С. 69–72.

6. *Поспелов Д.А.* Большие системы. Ситуационное управление. Москва: Знание, 1975. 64 с.
7. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. Москва: Наука, 1986. 288 с.
8. *Klyuev R.V., Bosikov I.I.* Research of water-power parameters of small hydropower plants in conditions of mountain territories // Proceedings 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016. 2016. P. 791420.
9. *Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А.* Разработка интегрированной системы, включающей алгоритмы и методы анализа надежности промышленно-технической системы // Материалы II Международной научной конференции. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2018. С. 160–166.
10. *Kozhiev H.H., Klyuev R.V., Bosikov I.I., Youn R.B.* Analysis of management of mine ventilation networks using simulation models // Sustainable Development of Mountain Territories. 2017. Т. 9. № 4 (34). С. 414–418, DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-4-414-418.
11. *Босиков И.И., Аликов А.Ю., Босиков В.И., Смелков З.А.* Исследование закономерностей функционирования природно-промышленной системы горно-перерабатывающего комплекса с помощью математических моделей // Перспективы науки. 2012. № 1 (28). С. 70–72.
12. *Jones M., Viola P.* Robust Real-Time Face Detection // International Journal of Computer Vision. 2004. 57(2). Pp. 137–154.
13. *Fleuret F. and Geman D.* Coarse-to-fine face detection // Int. J. Computer Vision. 2001. 41:85–107.
14. *Weinzman C.* Distributed Micro/Minicomputer Systems. New Jersey: Prentice Hall Inc. 1982. 403 p.
15. *Машиңцов Е.А., Котлеревская Л.В., Криңичная Н.А.* Управление вентиляцией в угольной шахте // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 7. С. 188–195.
16. *Скопинцева О.В., Баловцев С.В.* К вопросу оценки аэрологического риска при различных схемах вентиляции выемочных участков угольных шахт // Научный вестник Московского государственного горного университета. 2013. № 1. С. 87–100.
17. *Каледина Н.О.* Обоснование параметров систем вентиляции высокопроизводительных угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 7. С. 261–271.
18. *Бахвалов Л.А., Баранникова И.В., Агабубаев А.Т.* Анализ современных систем автоматического управления проветриванием // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 7. С. 22–28.
19. *Босиков И.И., Ключев Р.В., Хетагуров В.Н., Ажмухамедов И.М.* Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. № 1. С. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.
20. *Васенин И.М., Шрагер Э.Р., Крайнов А.Ю., Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Костеренко В.Н.* Математическое моделирование нестационарных процессов вентиляции сети выработок угольной шахты // Компьютерные исследования и моделирование. 2011. Т. 3. № 2. С. 155–163.
21. *Машиңцов Е.А., Котлеревская Л.В., Криңичная Н.А.* Управление вентиляцией в угольной шахте // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 7. С. 188–195.
22. *Харик Е.К., Астанин А.В.* Численное исследование вентиляции горной выработки угольной шахты в трехмерной постановке // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4-5. С. 2567–2569.

23. Рычковский В.М., Сергеев О.А., Тюрин В.П. Об управлении вентиляцией на угольных шахтах Кузбасса // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 11. С. 8–9.

24. Sjöström S., Klintonäs E., Johansson P., Nyqvist J. Optimized model-based control of main mine ventilation air flows with minimized energy consumption // International Journal of Mining Science and Technology, 2020, Vol. 30. Issue 4. Pp. 533–539. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.05.016.

Информация об авторе

Босиков Игорь Иванович, канд. техн. наук, доц. каф. «Прикладная геология», Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет);
362021, Россия, Владикавказ, ул. Николаева, 44;
докторант Астраханского государственного технического университета;
414056, Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16;
igor.boss.777@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8930-4112>

REFERENCES

1. Buslenko N.P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of complex systems]. Moscow: Nauka, 1978. 400 p. (In Russian)
2. Samarsky A.A., Mikhailov A.P. *Matematicheskoe modelirovanie. Idei. Metody. Primery* [Mathematical modeling. Ideas. Methods. Examples]. 2nd ed. Moscow: Fizmatlit, 2001. 320 p. (In Russian)
3. Altunin A.A. *Teoreticheskoe i prakticheskoe primeneniye metodov prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelennosti. Tom 1. Obshchie principy prinyatiya resheniy v usloviyakh razlichnykh vidov neopredelennosti* [Theoretical and practical application of decision-making methods in conditions of uncertainty. Volume 1. General principles of decision-making in conditions of various types of uncertainty]. Moscow: Izdatel'skie resheniya, 2019. 484 p. (In Russian)
4. Tarasik V.P. *Matematicheskoe modelirovanie tekhnicheskikh sistem* [Mathematical modeling of technical systems]. Minsk: DizajnPRO, 2004. 640 p. (In Russian)
5. Borisov V.V., Misnik A.E. Combined neural network modeling method for operational management of complex systems. *Informacionnye tekhnologii* [Information Technologies]. 2012. No. 7. Pp. 69–72. (In Russian)
6. Pospelov D.A. *Bol'shie sistemy. Situacionnoye upravleniye* [Big systems. Situational management]. Moscow: Znanie, 1975. 64 p. (In Russian)
7. Pospelov D.A. *Situacionnoye upravleniye: teoriya i praktika* [Situational control: theory and practice]. Moscow: Nauka, 1986. 288 p. (In Russian)
8. Klyuev R.V., Bosikov I.I. Research of water-power parameters of small hydropower plants in conditions of mountain territories. Proceedings 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016. 2016. P. 791420.
9. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Gavrina O.A. Development of an integrated system that includes algorithms and methods for analyzing the reliability of an industrial and technical system. *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Materials of the second International Scientific Conference]. 2018. Pp. 160–166. (In Russian)
10. Kozhiev H.H., Klyuev R.V., Bosikov I.I., Youn R.B. Analysis of management of mine ventilation networks using simulation models. Sustainable Development of Mountain Territories. 2017. Vol. 9. No. 4 (34). Pp. 414–418. DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-4-414-418.

11. Bosikov I.I., Alikov A.Yu., Bosikov V.I., Smelkov Z.A. Investigation of the regularities of the functioning of the natural and industrial system of the mining and processing complex using mathematical models. *Perspektivy nauki* [Science perspectives]. 2012. No. 1 (28). Pp. 70–72. (In Russian)
12. Jones M., Viola P. Robust Real-Time Face Detection. *International Journal of Computer Vision*. 2004. No. 57(2). Pp. 137–154.
13. Fleuret F. and Geman D. Coarse-to-fine face detection. *Int. J. Computer Vision*. 2001. 41:85–107.
14. Weinzman C. *Distributed Micro/Minicomputer Systems*. New Jersey: Prentice Hall Inc. 1982. 403 p.
15. Mashintsov E.A., Kotlrevskaya L.V., Krinichnaya N.A. Ventilation control in a coal mine. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* [Bulletin of the Tula State University. Technical science]. 2014. № 7. Pp. 188–195. (In Russian)
16. Skopintseva O.V., Balovtsev S.V. On the issue of assessing the aerological risk for various ventilation schemes of coal mine excavation areas. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [Scientific Bulletin of the Moscow State Mining University]. 2013. № 1. Pp. 87–100. (In Russian)
17. Kaledina N.O. Justification of the parameters of ventilation systems of high-performance coal mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)* [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)]. 2011. № 7. Pp. 261–271. (In Russian)
18. Bahvalov L.A., Barannikova I.V., Agabubayev A.T. Review of the modern systems of automated ventilation control. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)* [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)]. 2017. № 7. Pp. 22–28. (In Russian)
19. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. Development of methods and management tools aerogas dynamics processes at mining sites. *Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable development of mountain territories]. 2021. № 1. Pp. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83. (In Russian)
20. Vasenin I.M., Shrager E.R., Krainov A.Yu., Paleev D.Yu., Lukashov O.Yu., Kosterenko V.N. Mathematical modeling of non-stationary ventilation processes of the coal mine workings network. *Komp'yuternye yeissledovaniya i modelirovaniye* [Computer Research and Modeling]. 2011. T. 3. № 2. Pp. 155–163. (In Russian)
21. Mashintsov E.A., Kotlrevskaya L.V. Krinichnaya N.A. Management of ventilation in the coal mine as difficult system. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* [Bulletin of the Tula State University. Technical science]. 2014. № 7. Pp. 188–195. (In Russian)
22. Kharik E.K., Astanin A.V. Numerical study of ventilation of a coal mine in a three-dimensional setting. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo* [Bulletin of the Nizhny Novgorod University n.a. N.I. Lobachevsky]. 2011. № 4–5. Pp. 2567–2569. (In Russian)
23. Rychkovsky V.M., Sergeev O.A., Tyurin V.P. On ventilation control at coal mines of Kuzbass. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Labor safety in industry]. 2004. № 11. Pp. 8–9. (In Russian)
24. Sjöström S., Klintonäs E., Johansson P., Nyqvist J. Optimized model-based control of main mine ventilation air flows with minimized energy consumption. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. Issue 4. Pp. 533–539. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.05.016.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR FORMING CONTROL SOLUTIONS BY MEANS OF SOLVING SYSTEMS OF INTEGRAL-DIFFERENTIAL EQUATIONS

I.I. BOSIKOV^{1,2}

¹North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)
362021, Russia, Vladikavkaz, 44 Nikolaev street
E-mail:info@skgmi-gtu.ru

²Astrakhan State Technical University
414056, Russia, Astrakhan, 16 Tatishchev street
E-mail:post@astu.org

Abstract. The article discusses a complex technical system of variable structure (CTS VS), the features of which are: multicomponent and complexity of the structure, nonlinear interdependence between them quantitatively and qualitatively set parameters; incompleteness of the initial data, the complexity and cost of conducting experiments, the risks of hazardous situations and their negative consequences; the uniqueness of the CTS VS, and, as a consequence, the complexity of transfer of the accumulated experience to similar CTS VS; a variety of influences of internal and external factors on the CTS VS of the PS, their stochastic and non-stochastic nature; changing the structure and parameters during the functioning of the STS PS; the use of such CTS VS to ensure the continuity of the operation of larger systems.

The aim of the work is to develop a methodology for forming a complex of management decisions by solving a system of integral-differential equations.

The novelty lies in the fact that a methodology for the formation of managerial decisions has been developed, characterized in that the search for organizational and technological solutions to improve the reliability of the CTS VS of the object states is carried out by solving systems of integral differential equations that take into account the parameters of the components of the CTS VS, which makes it possible to determine the probabilities of staying in all states and parameters of the transition from failed to healthy states.

Keywords: complex technical system of variable structure, organizational and technological solutions, systems of integral-differential equations, parameters of CTS VS substation, failure and operational states, reliability

The article was submitted 19.11.2021

Accepted for publication 03.12.2021

For citation. Bosikov I.I. Development of methods for forming control solutions by means of solving systems of integral-differential equations. News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS. 2021. No. 6 (104). Pp. 23–34. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-23-34

Information about the author

Bosikov Igor Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associated Professor of Applied Geology Department, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University);
362021, Russia, Vladikavkaz, 44 Nikolaev street;
Doctoral student of Astrakhan State Technical University;
414056, Russia, Astrakhan, 16 Tatishchev street;
igor.boss.777@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8930-4112>