Научная статья
УДК 517.938:070
EDN CIEOGI
DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(1).17-30

С.В. Тимофеев
Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация
А.В. Баенхаева
Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

Математическая модель информационного противоборства: дискретное адаптивное управление системой

Аннотация. В статье представлены первые результаты управления математической моделью информационного противоборства, предложенной авторами в более ранних работах. Данная модель дала возможность глубже понять процесс распространения через СМИ новой информации в обществе и позволила связать в систему основные факторы, выделенные для описания этого действия. Модель представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений с квадратичной нелинейностью в правой части. В пространстве параметров установлена компонента, управляя которой можно получить соотношения, определяющие предсказуемое поведение траектории системы из любой начальной точки, соответствующей содержательному смыслу. Предложенный в статье алгоритм построения дискретного адаптивного управления позволяет свести информационное противоборство к выгодному для одной из сторон сценарию. Полученные теоретические результаты нашли свое подтверждение в численных экспериментах над моделью, которые проводились с использованием модуля solve_ivp библиотеки SciPy языка программирования Python.

Ключевые слова. Математическая модель, информационное противоборство, продвижение информации, дифференциальные уравнения, адаптивное управление, численное решение системы дифференциальных уравнений.

Информация о статье. Дата поступления: 19 декабря 2023 г.; дата принятия к публикации: 12 марта 2024 г.; дата онлайн-размещения: 30 марта 2024 г.

Original article

S.V. Timofeev
Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation
A.V. Baenkhaeva
Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation

A Mathematical Model of Information Confrontation: Discrete Adaptive Control of the System

Abstract. The article presents the first results of controlling the mathematical model of information confrontation proposed by the authors in earlier works. This model made it possible to better understand the process of spreading new information in society through the media and made it possible to link the main factors identified to describe this action into a system. The model is a system of ordinary differential equations with quadratic nonlinearity on the right side. A component is installed in the parameter space, by controlling which it is possible to obtain ratios that determine the predictable behavior of the trajectory of the system from any starting point corresponding to the meaningful meaning. The algorithm proposed in the article for constructing discrete adaptive control makes it possible to bring the information confrontation to a scenario beneficial to one of the parties. The theoretical results obtained were confirmed in numerical experiments on the model, which were carried out using the solve_ivp module of the SciPy library of the Python programming language.

Keywords. Mathematical model, information confrontation, dissemination of new information, differential equations, adaptive control, numerical solution of a system of differential equations.

Article info. Received 19 December, 2023; Accepted 12 March, 2024; Available online 30 March, 2024.

Введение

Данная работа является продолжением системного исследования математической модели информационного противоборства, которое сопровождает стадии появления и распространения через средства массовой информации (СМИ) материалов, направленных на продвижение в общество новой системы взглядов или концепций:

$$
\begin{aligned}
\frac{dN}{dt} &= \beta N - \gamma AN, \\
\frac{dC}{dt} &= \alpha AN - \mu (C - C_*), \\
\frac{dA}{dt} &= \rho C - \eta\gamma AN - \lambda A, \\
\frac{di}{dt} &= \sigma N - \omega i.
\end{aligned} \tag{1}
$$

Фазовыми переменными этой системы являются величины, выделенные как факторы, описывающие наиболее общие закономерности противоборства при распространении информации через СМИ:

$N(t)$ — количественная характеристика объема новостной информации, соответствующая продвижению в информационном поле новых — реформаторских, порой слишком радикального толка — взглядов; $C(t)$ — число органов в структуре информационного поля, обладающих специальными ресурсами, целью которых является сохранение ранее принятых в обществе концепций (например, идеологических или технологических); $A(t)$ — количественная характеристика объема информации консервативного характера, противопоставленного распространению радикальных взглядов в информационном поле; $i(t)$ — показатель доли населения, лояльно относящейся к новым идеям, появляющимся в СМИ. Смысловые характеристики параметров модели представлены в табл.:

$\beta \geq 0$	показатель, характеризующий интенсивность распространения новой информации через СМИ
$\gamma \geq 0$	показатель, характеризующий возможность нейтрализации эффекта от появившейся информации после изложения противоположного по взглядам мнения
$\alpha \geq 0$	показатель, характеризующий интенсивность реакции в обществе на противостояние альтернативных точек зрения
$\mu > 0$	коэффициент, обратно пропорциональный времени работы дополнительно созданных органов информации
C_*	количество информационного ресурса, направленного для повседневной поддержки концепции, распространенной на данный момент в обществе
$\rho \geq 0$	средняя скорость появления новостей из одного органа информации C
$\eta \geq 0$	среднее количество информации A, направленное на нейтрализацию эффекта от сообщений N
$\lambda > 0$	коэффициент, обратно пропорциональный времени забывания информации A
$\sigma \geq 0$	показатель, характеризующий темп принятия новых взглядов, появившихся в СМИ
$\omega \geq 0$	показатель, характеризующий возврат в силу инерции мышления к имеющейся в обществе концепции

В системе (1) переменная $i(t)$ содержится только в последнем уравнении, поэтому исследование проводилось для системы меньшей размерности, переписанной в более удобном для изучения виде:

$$\frac{dC}{dt} = \alpha AN - \mu(C - C_*),$$
$$\frac{dA}{dt} = \rho C - (\lambda + \eta\gamma N)A, \tag{2}$$
$$\frac{dN}{dt} = (\beta - \gamma A)N,$$

с начальными условиями, в силу ее автономности:

$$C(0) = C_0 \geq 0,\ A(0) = A_0 \geq 0,\ N(0) = N_0 \geq 0. \tag{3}$$

В публикациях [1–5] подробно изложены этапы и результаты теоретической части [6; 7] процесса моделирования:

– выбор исходных теоретических положений на основе обобщения наблюдений и предложенной гипотезы;

– математическая постановка задачи, в которую входит собственно построение математической модели;

– проверка корректности модели, куда входит, в частности, контроль размерности, характера зависимостей, физического смысла, существования решений;

– выбор и обоснование метода исследования сформулированной задачи;

– проведение исследования модели на основе этого метода;
– анализ и интерпретация модели.

В публикации [8] был сделан первый шаг следующего этапа моделирования — проверка адекватности модели или оценка согласованности модели с реальными данными. Модель хорошо себя показала при анализе одного из резонансных информационных событий начала 2022 г. — освещения средствами массовой информации попытки переворота в Казахстане. Сравнение качественного поведения интегральных кривых модели и графиков, представленных системой мониторинга СМИ на временном промежутке наблюдения за событием, показало хорошую согласованность. Этот шаг является важным в том смысле, что получен *«образец»* траектории системы (2)–(3), который можно интерпретировать как успешный итог информационного противоборства для тех органов, что защищают принятые в обществе взгляды от нежелательных точек зрения, освещаемых в СМИ (рис. 1):

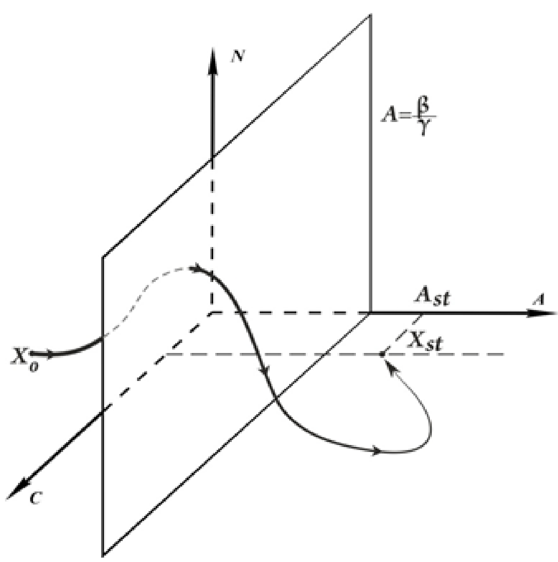


Рис. 1. Качественное поведение траектории системы (2) из точки $X_0 = (C_0; A_0; N_0;) = (10; 12; 68)$. $X_{st} = (C_{st}, A_{st}, N_{st}) = (C_*, \frac{\rho C_*}{\lambda}, 0)$ — асимптотически устойчивое стационарное решение, интерпретируемое как состояние общества с доминирующей определенной концепцией, для поддержки которой административный ресурс в количестве C_* задействует в СМИ достаточное с его точки зрения количество информации $\frac{\rho C_*}{\lambda}$.

Но такое поведение траектории соответствует только одному из многих сценариев, описанных в работе [5], а именно: при выполнении неравенств

$$\begin{cases} \gamma\rho C_* > \lambda\beta \\ \rho\alpha > \mu\eta\gamma + \beta\eta\gamma \end{cases} \tag{4}$$

любая траектория системы (2), начиная из произвольной точки множества $R_+^3 = \{(C, A, N) \in R^3 : C \geq 0, A \geq 0, N \geq 0\}$, стремится к асимптотически устойчивому стационарному решению $X_{st} = (C_{st}, A_{st}, N_{st}) = (C_*, \frac{\rho C_*}{\lambda}, 0)$.

В других случаях, в зависимости от соотношений параметров и начальных условий, поведение траекторий могут существенно отличаться [5] от представленного на рисунке. При этом фазовые портреты, описывающие динамику системы, будут иметь разные топологические свойства [9]. Таким образом, для благоприятного — с точки зрения содержательного смысла — исхода противостояния заинтересованным лицам необходимо управлять динамической моделью происходящего процесса. Это, например, позволит приблизить траекторию системы к *«образцовой»*. А, следовательно, с позиции консервативно настроенной части общества, обеспечит нужный исход в борьбе с нежелательной информацией в медиапространстве. В данной работе рассмотрен именно этот случай.

Систему (2), описывающую процесс информационного противоборства можно рассматривать как управляемую, если понимать под управлением воздействие на определенные параметры системы. В этом случае, исходя из системы неравенств (4), логично предположить, что для управления лучше всего подходит параметр ρ системы (2). Действительно, увеличивая его с учетом содержательного смысла и оставляя при этом неизменными остальные параметры, при определенных условиях можно добиться выполнения неравенств (4).

Постановка задачи

Предположим, что на медиаканалах началось активное обсуждение некоторого неординарного события, способного повлиять на определенные сформированные в обществе ценности. Используя возможности систем мониторинга электронных СМИ и алгоритм, описанный в [8], можно определить начальные условия (3) системы (2), описывающей движение информационных потоков, направленных на освещение этого события. Обозначим начало движения траектории системы при $t = 0$ точкой $X^* = (C^*; A^*; N^*)$

ISSN 2713-1734

фазового пространства системы (2). Будем считать, что за некоторое время удалось определить значения всех параметров этой системы. При этом если значение параметра ρ такое, что выполняется система неравенств (4), то успешный исход информационного противостояния для органов управления гарантирован. В противном случае, как показано в [5], сценарии информационной борьбы могут иметь весьма разнообразные результаты. Поэтому для успешного исхода необходимо провести коррекцию параметра ρ посредством адаптивного управления $u = u(t)$ [10]. Пусть дана функция управления $u = u(t)$, которая характеризует уровень увеличения параметра ρ системы (2) и удовлетворяет ограничениям

$$0 \le u(t) \le u_{\max},\ 0 \le t \le T, \tag{5}$$

где $u_{\max} \ge 0$ — максимальная степень увеличения средней скорости появления новостей из одного органа информации (согласно смысловой характеристике параметра), T — временной отрезок наблюдения за информационным событием. Предположим, что под воздействием управления параметр ρ системы (2) может меняться от значения ρ_0 до $\rho_{\max} = \rho_0\,(1 + u_{\max})$, где ρ_0 — значение параметра, установленного при идентификации с учетом мониторинга СМИ на начальном этапе, а $u_{\max}$ — такая величина, что соотношения параметров при $u = u_{\max}$ удовлетворяют неравенствам (4). Система (2) с учетом введенных величин будет иметь следующий вид:

$$\begin{gathered}
\frac{dC}{dt} = \alpha AN - \mu(C - C_*),\\
\frac{dA}{dt} = \rho(1 + u)C - (\lambda + \eta\gamma N)A,\\
\frac{dN}{dt} = (\beta - \gamma A)N.
\end{gathered} \tag{6}$$

Целью управления может служить обеспечение поведения траектории системы близкому к *«образцовому»*, то есть асимптотического стремления к точке $X = \left(C_*, \dfrac{\rho C_*}{\lambda}, 0\right)$. В рамках предложенной модели такой исход связан, в первую очередь, с динамикой объема новостной информации $N(t)$. Поэтому в качестве *«образца»* для управления найдем решение системы (6) при $u = u_{\max}$ с начальным условием $C(0) = C^*$, $A(0) = A^*$, $N(0) = N^*$ и выделим интегральную кривую $N^*(t)$. Для определения критерия управления рассматриваемым процессом на отрезке $[0; T]$ зададим равномерную сетку

$$\Xi = \left\{ t_i : t_i = i\Delta t,\ i = \overline{1, M};\ \Delta t = \frac{T}{M} \right\}, \tag{7}$$

на которой зафиксируем объем новостной информации, соответствующий *«образцовому»*:

$$N^*(t_i) = N_i^*, \; i = \overline{1, M}. \tag{8}$$

Будем считать, что для решения системы (6) условие

$$\left|N(u(t), t_i) - N_i^*\right| < \varepsilon, \; i \in I = \{r, ..., M\},$$
$$1 < k \le r < M, \tag{9}$$

с достаточно малым значением ε соответствует достижению успешного исхода информационного противоборства. Здесь k: t_{k-1} — момент начала управления, до которого предполагается провести идентификацию параметров системы (2) и, соответственно, (6). Условие (9) будем называть критерием дискретного адаптивного управления системой (6).

Таким образом, поставленная задача заключается в построении управления $u(t)$, $t \in [0; T]$, которое обеспечивает выполнение условия (9) решения системы (6) с начальными условиями (3) при ограничении (5).

Алгоритм построения адаптивного управления

Определим множество U следующим образом. Предположим, что на каждом промежутке $[t_{i-1}; t_i)$, $i = \overline{1, M}\,1$ функция $u(t)$ постоянна и удовлетворяет неравенствам (5). Таким образом, управляющая функция будет выбираться из множества кусочно-постоянных на отрезке $[0; T]$ функций. Следовательно,

$$U = \{u(t) : u(t) = u_{i-1} \in [0; u_{\max}], \; t \in [t_{i-1}; t_i),$$
$$i = \overline{1, M}, \; u(T) = u_{M-1}\}.$$

Будем считать, что при каждом допустимом управлении $u = u(t)$ система (6) при начальных условиях (3) имеет единственное решение $X(u(t), t) = (C(u(t), t), A(u(t), t), N(u(t), t))$, $u(t) \in U$, определенное при всех $t \in [0; T]$.

В соответствии с критерием (9) требуется построить управление $u(t) \in U$, удовлетворяющее условию:

$$\left|N(u_{i-1}, t_i) - N_i^*\right| < \varepsilon, \; i \in I.$$

Для построения управляющей функции $u(t) \in U$ предложен следующий алгоритм:

Сведем решение задачи к последовательному интегрированию системы (6) на отрезках $[t_{i-1}; t_i)$, $i = \overline{1, M}$, на каждом из которых при фиксированном значении $u_{i\text{-}1}$ неизвестными функциями являются только фазовые переменные, значение которых

ISSN 2713-1734

на правом конце являются начальным условием для следующего промежутка времени. Будем считать, что $u_0 = u_1 = ... = u_{k-2} = 0$. На отрезках $[t_{i-1}; t_i]$, $i \geq k$, обозначим

$$\Psi(u_{i-1}) = N(u_{i-1}, t_i) - N_i^*,$$

где $N(u_{i-1}, t_i)$ — значение функции $N(u(t), t)$ в точке t_i при фиксированном значении u_{i-1}. Множество (8) задается таким образом, что $N_i^* < N(0, t_i)$, $i \in I$ т.е. $\Psi(0) > 0$, $i \in I$. Возможны следующие варианты:

– если $N_i^* \leq N(u_{max}, t_i) < N(0, t_i)$, $i \in I$, то зафиксируем $u_{i-1} = u_{max}$;

– если $N(u_{max}, t_i) < N_i^* < N(0, t_i)$, $i \in I$ то для нахождения u_{i-1} решим нелинейное уравнение

$$\Psi(u_{i-1}) = 0, \; u_{i-1} \in [0; u_{max}]. \tag{10}$$

В силу непрерывной зависимости системы (2) от параметров и того, что $\Psi(0) > 0$, а $\Psi(u_{max}) < 0$, для решения уравнения (10) можно применить, например, метод деления отрезка пополам.

Таким образом, представляется возможным определить все непрерывные составляющие управляющей функции $u(t)$ и, следовательно, решить поставленную задачу. Тогда функцию управления можно представить следующим образом:

$$u(t) = u_0 + \sum_{k=1}^{M-1} \theta(t - t_{k-1})(u_k - u_{k-1}), \tag{11}$$

где $\theta(t)$— функция Хевисайда, определяемая по формуле

$$\theta(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0, \\ 0, & t < 0. \end{cases}$$

Численное решение задачи адаптивного управления

Численное интегрирование системы (6) произведено с использованием модуля solve_ivp библиотеки SciPy языка программирования Python. Модуль solve_ivp предоставляет мощный инструмент для решения систем дифференциальных уравнений при моделировании и исследовании различных процессов.

Так как модуль solve_ivp является частью библиотеки SciPy, он легко интегрируется с другими модулями и инструментами, такими как NumPy и Matplotlib, и предполагает выбор из нескольких численных методов решения сложных систем ОДУ[1] [11]. Одна из особенностей работы функции solve_ivp заключа-

[1] NumPy and SciPy Documentation (Документация по NumPy и SciPy). URL: https://docs.scipy.org/doc/.

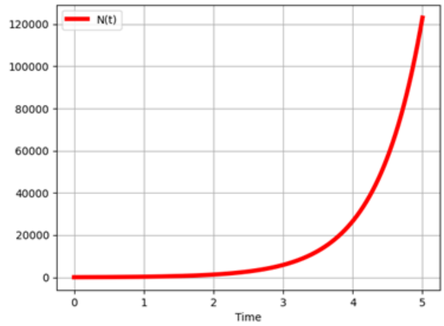
ется в том, что она возвращает массив численных значений решения системы уравнений в каждый момент времени из массива значений времени[2].

Для построения адаптивного управления рассмотрим ситуацию, описанную в работе [8]:

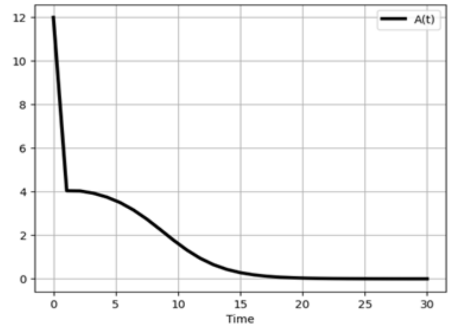
При проверке адекватности системы (6) для получения численных результатов при ее интегрировании с начальными условиями $C(0) = 10$, $A(0) = 12$, $N(0) = 68$ были, в частности, рассмотрены следующие значения параметров:

$$\beta = 1{,}9;\ \gamma = 0{,}1;\ \alpha = 0{,}09;\ C_* = 10;\ \mu = 0{,}3;\\ \rho = 5;\ \eta = 2{,}54;\ \lambda = 1{,}3. \qquad (12)$$

Динамика переменных $N(t)$ и $A(t)$ в этом случае имеют следующее представление (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Интегральные кривые N(t), а) и A(t), б) системы (2) с начальными условиями C(0) = 10, A(0) = 12, N(0) = 68 и значениями параметров β = 1,9; γ = 0,1; α = 0,09; C_* = 10; μ = 0,3; ρ = 5; η = 2,54; λ = 1,3

Для этих значениях параметров значение фазовой переменной $N(t) \to +\infty$ при $t \to +\infty$. С содержательной точки зрения это соответствует ситуации, когда появление в СМИ информации, направленной на смену концепции общества, может найти поддержку и привести к нежелательной для государственных структур угрозе традиционной системе взглядов. В этой связи необходимо определить способы управления, позволяющие изменить динамику факторов $N(t)$ и $A(t)$, которые являются показателями мониторинга общественной реакции на появляющуюся в СМИ информацию.

[2] Как работает odeint python // fortex-region.ru. URL: https://fortex-region.ru/kak-rabotaet-odeint-python.

Построим управляющую функцию $u(t)$, позволяющую изменить поведение интегральной кривой $N(t)$ так, чтобы $N(u(t), t) \to 0$ при $t \to +\infty$:

Набор параметров (12) не удовлетворяет соотношениям (4). Так как $\rho = \rho_0 = 5$, то можно определить $u_{max} = 0{,}2418$, откуда $\rho_{max} = \rho_0(1 + u_{max}) = 5(1 + 0{,}2418) = 6{,}209$. При значении параметра $\rho = \rho_{max}$ условия (4) выполнены, и соответствующая этому значению интегральная кривая $N^*(t)$ определяется как *«образцовая»*. График этой кривой представлен на рис. 3.

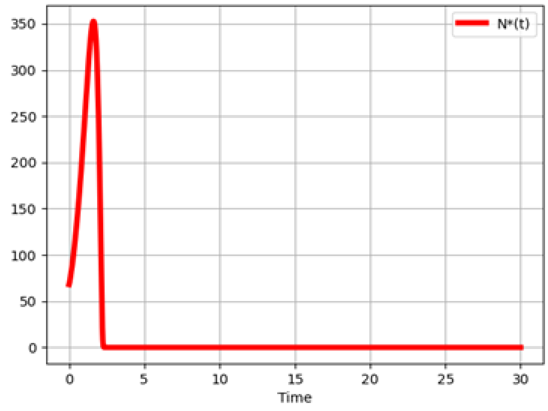


Рис.3 Интегральная кривая $N^*(t)$ системы (2) с начальным и условиями $C(0) = 10$, $A(0) = 12$, $N(0) = 68$ и значениями параметров $\beta = 1{,}9$; $\gamma = 0{,}1$; $\alpha = 0{,}09$; $C_* = 10$; $\mu = 0{,}3$; $\rho = 5$; $\eta = 2{,}54$; $\lambda = 1{,}3$

Пусть теперь в (7) $\Delta t = 3$, $M = 10$ (это соответствует отрезку наблюдения за информационным событием в [8]), а в (9) $k = 2$. Результаты интегрирования показывают, что до начала управления значения интегральных кривых $N(t)$ (рис. 2) и $N^*(t)$ (рис. 3) со временем отличаются все больше (рис. 4).

Объем новостной информации $N^*(t)$, соответствующий *«образцовому»*, представлен в табл. 1:

Таблица 1

Количество негативных сообщений $N^*(t)$

t	0	1	2	3	4	5	6	9	12	15	18	…	30
$N^*(t)$	68	235.135	228.409	2E-10	2E-10	2E-10	1E-10	1E-10	1E-10	1E-10	1E-10	1E-10	1E-10

Получена функция управления $u(t)$ (рис. 5) и соответствующая ей интегральная кривая $N(u(t), t)$, которая с течением времени все ближе стремится к *«образцовой»* кривой $N^*(t)$ (рис. 6).

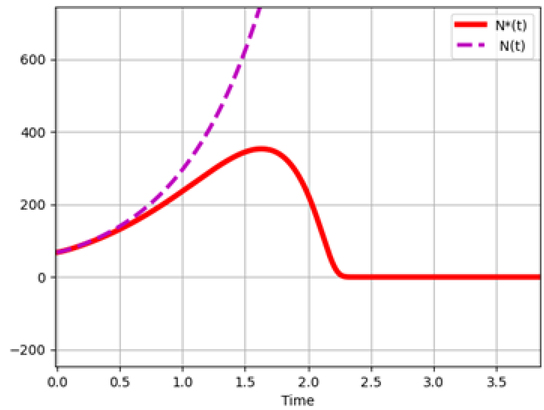


Рис. 4. Интегральные кривые N(t) и $N^*(t)$ до начала управления в момент времени $t_1 = 3$

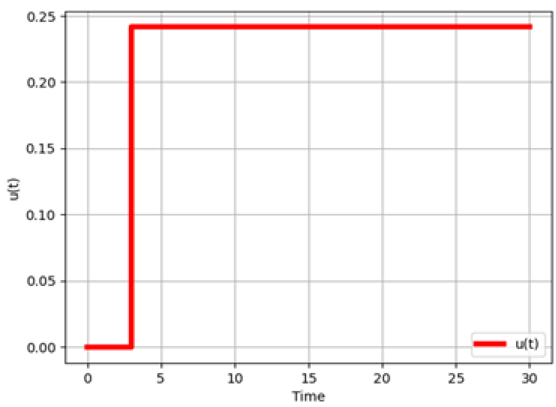


Рис. 5. Вид функции управления u(t) при адаптивном управлении с момента времени $t_1 = 3$

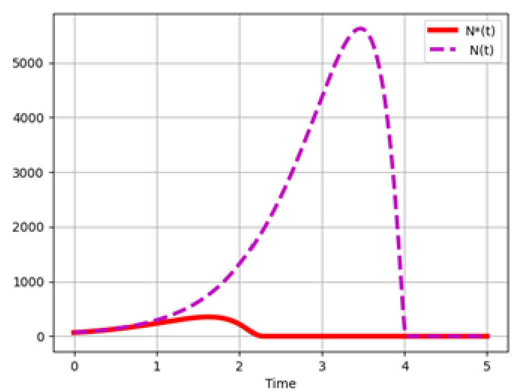


Рис. 6. Интегральные кривые N(u(t), t) и $N^*(t)$ после начала управления

В табл.2 показаны значения $\left|N(u(t),\ t)\ -\ N^{*}(t)\right|$ в некоторых точках, в том числе в точках сетки (7). Это соответствует выполнению критерия адаптивного управления (9) системой (6):

Таблица 2

Значения $\left|N(u(t),t) - N^{*}(t)\right|$ для проверки критерия адаптивного управления

t	0	1	2	3	4	5	6	9	12	15	18	…	30
$\left|N(u(t),\ t)\ -\ - N^{*}(t)\right|$	0	59.149	1080.38	4359.1	233.85	0	1 E - 10	1 E - 10	1 E - 10	1 E - 10	0	0	0

Заключение

В данной работе представлен алгоритм построения адаптивного управления системой дифференциальных уравнений, предложенной авторами в качестве математической модели информационного противоборства. Это противоборство всегда сопровождает появление и распространение в СМИ новой претенциозной информации, способной изменить устоявшиеся взгляды общества. Поэтому умение влиять на ситуацию может помочь одной из сторон стать победителем в противостоянии.

В статье рассмотрена ситуация, когда соотношения параметров модели после их идентификации не удовлетворяют условиям, гарантирующим желательное поведение фазовых траекторий исследуемой динамической системы. В этом случае возникает необходимость построить управляющую функцию, которая позволит траектории выйти на нужный режим. Для этого в пространстве параметров была выделена компонента, варьируя которую удалось получить *«образцовую»* интегральную кривую одной из фазовых переменных системы. Построенное по предложенному алгоритму дискретное адаптивное управление позволило через конечное число шагов обеспечить достаточно малое отклонение интегральной кривой фазовой переменной системы от *«образцовой»*.

Таким образом, теоретически получена и обоснована возможность влиять на противостояние заинтересованных сторон в продвижении своих интересов через средства массовой информации.

Список использованной литературы

1. Тимофеев С.В. Модель распространения новой информации в обществе / С.В. Тимофеев, А.П. Суходолов. — DOI 10.18721/JPM.12412. — EDN PFWXIH // Научно–технические ведомости СПбГПУ. Физико–математические науки. — 2019. — Т. 12, № 4. — С. 119–134.

2. Тимофеев С.В. Математическая модель распространения новой информации в обществе / С.В. Тимофеев. — DOI 10.17150/2308-6203.2020.9(1).5-17. — EDN LVAEVV // Вопросы теории и практики журналистики. — 2020. — Т. 9, № 1. — С. 5–17.

3. Тимофеев С.В. Модель информационного противоборства в СМИ: важный случай в пространстве параметров / С.В. Тимофеев, А.В. Баенхаева. — EDN XIJHQI // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2020. — Т. 2, № 4. — С. 44–52.

4. Тимофеев С.В. Математическое моделирование информационного противоборства / С.В. Тимофеев, А.В. Баенхаева. — DOI 10.18721/JPM.14113. — EDN WMXJXM // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. — 2021. — Т. 14, № 1. — С. 164–176.

5. Тимофеев С.В. Моделирование информационного противоборства: направления исследований и математические инструменты / С.В. Тимофеев, А.В. Баенхаева // Computing, Telecommunications and Control. — 2022. — Т. 15, № 2. — С. 63–75.

6. Самарский А.А. Математическое моделирование / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. — Москва: Наука, 1997. — 320 с.

7. Введение в математическое моделирование: учеб. пособие / под ред. П.В. Трусова. — Москва: Университетская книга, 2007. — 440 с.

8. Тимофеев С.В. Проверка адекватности динамической модели информационного противоборства на основе данных мониторинга электронных СМИ по освещению событий января 2022 в Казахстане / С.В. Тимофеев, А.Ю. Баенхаева, В.Р. Абдуллин. — DOI 10.17150/2713-1734.2023.5(2).153-171. — EDN SUAZNO // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2023. — Т. 5, № 2. — С. 153 —171.

9. Эрроусмит Д. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Качественная теория с приложениями / Д. Эрроусмит, К. Плейс. — Москва: Мир, 1986. — 243 с.

10. Фомин В.Н. Адаптивное управление динамическими объектами / В.Н. Фомин, А.Л. Фрадков, В.Я. Якубович. — Москва: Наука, 1981. — 447 с.

11. Титов А.Н. Решение задач линейной алгебры и прикладной математики в Python. Работа с библиотекой SciPy : учеб.-метод. пособие / А.Н. Титов, Р.Ф. Тазиева. — Казань : Изд-во Казанского научно-исследовательского технологического университета, 2023. — 124 с.

References

1. Timofeev S.V., Sukhodolov A.P. A Model of New Information Dissemination in the Society. *Nauchno-Tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Fiziko-matematicheskie nauki = St. Petersburg Polytechnic University Journal: Physics and Mathematics,* 2019, vol. 12, no. 4, pp. 119–134. (In Russian). EDN: PFWXIH. DOI: 10.18721/JPM.12412.

2. Timofeev S.V. A Mathematical Model of Distributing New Information in Society. *Voprosy teorii i praktiki zhurnalistiki = Theoretical and Practical Issues of Journalism,* 2020, vol. 9, no. 1, pp. 5–17. (In Russian). EDN: LVAEVV. DOI: 10.17150/2308-6203.2020.9(1).5-17.

3. Timofeev S.V., Baenkhaeva A.V. A Model of Information Confrontation in the Media: an Important Case in the Space of Parameters. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2020, vol. 2, no. 4, pp. 44–52. (In Russian). EDN: XIJHQI.

4. Timofeev S.V., Baenkhaeva A.V. Mathematical Modeling of Information Confrontation. *Nauchno-Tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Fiziko-matematicheskie nauki = St. Petersburg Polytechnic University Journal: Physics and Mathematics,* 2021, vol. 14, no. 1, pp. 164–176. (In Russian). EDN: WMXJXM. DOI: 10.18721/JPM.14113.

5. Timofeev S.V., Baenkhaeva A.V. Modeling information warfare: research directions and mathematical tools. *Computing, Telecommunications and Control*, 2022, vol. 15, no. 2, pp. 63–75. (In Russian).

6. Samarskii A.A., Mikhailov A.P. *Math modeling.* Moscow, Nauka Pub., 1997. 320 p.

7. Trusov P.V. (ed.) *Introduction to Mathematical Modeling*. Moscow, Universitetskaya kniga Publ., 2007. 440 p.

8. Timofeev S.V., Baenkhaeva A.V., Abdullin V.R. Verification of the Adequacy of the Dynamic Model of Information Confrontation Based on Electronic Media Monitoring Data on the Coverage of the Events of January 2022 in Kazakhstan. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2023, vol. 5, no. 2, pp. 153–171. (In Russian). EDN: SUAZNO. DOI: 10.17150/2713-1734.2023.5(2).153-171.

9. Arrowsmith D.K., Place C.M. *Ordinary Differential Equations*. London, 1982. 261 p. (Russ. ed.: Ehrrousmit D., Pleis K. *Ordinary differential equations. Qualitative theory with applications.* Moscow, Mir Publ., 1986. 243 p.).

10. Fomin V.N., Fradkov A.L., Yakubovich V.YA. *Адаптивное управление динамическими объектами*. Moscow, Nauka Publ., 1981. 447 p.

11. Titov A.N., Tazieva R.F. *Solving linear algebra and applied mathematics problems in Python. Working with the SciPy library.* Kazan, Kazanskii nauchno-issledovatel'skii tekhnologicheskii universitet Pudl., 2023. 124 p.

Информация об авторе

Тимофеев Сергей Викторович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математических методов и цифровых технологий, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: timofeevsv12@gmail.com.

Баенхаева Аюна Валерьевна — кандидат технических наук, доцент кафедры математических методов и цифровых технологий, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: ayunab2000@mail.ru.

Information about the Author

Sergey V. Timofeev — PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: timofeevsv12@gmail.com.

Ayuna V. Baenkhaeva — PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: ayunab2000@mail.ru.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Для цитирования

Тимофеев С.В. Математическая модель информационного противоборства: дискретное адаптивное управление системой / В.В. Тимофеев, А.В. Баенхаева. — DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(1).17-30. — EDN CIEOGI // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2024. — Т. 6, № 1. — С. 17–30.

For Citation

Timofeev S.V., Baenkhaeva A.V. A Mathematical Model of Information Confrontation: Discrete Adaptive Control of the System. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2024, vol. 6, no. 1, pp. 17–30. (In Russian). EDN: CIEOGI. DOI: 10.17150/2713-1734.2024.6(1).17-30.