

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОКАЛИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕГАТИВНЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРИРОДНЫХ СИСТЕМАХ

*Бурлибаев М.Ж., **Шведовский П.В., **Волчек А.А.
Казахстанское Агентство Прикладной Экологии,
г. Алматы, Казахстан,
Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Беларусь

В настоящее время достаточно полно исследованы особенности распространения большинства негативных процессов, обусловленных реализацией как целевых водохозяйственных и других народнохозяйственных мероприятий, так и их последствием и последствием. Активизирующиеся и активно проявляющиеся в последнее время некоторые негативные изменения в природных системах требуют поиска методов локализационного управления ими.

Бесспорно, наиболее простым решением проблемы является случай локализации области распространения негативных процессов, используя модель одной кривой L , удовлетворяющую следующим условиям:

- $x(0) = C_0$; $x(t) = \omega(x)$; $\omega(x) \in W(x)$;
- $x(\tau) \notin X_\tau$ для любого $\tau \geq 0$;
- существует $\tau > 0$ такое, что $x(\tau) = C_0$, при этом кривая L , определенная вектор-функцией $x(t)$, $0 \leq t \leq \tau$, содержит внутри себя x_0 и $x(t)$ и удовлетворяем заданной ориентации движения процесса;
- для любого $x \in L$ происходит изменение $v(x, \varphi) \equiv 0$.

Для заданных условий C_0 – начало локализации, $\omega(x, \varphi)$ – максимально возможная скорость локализации из заданной точки x в направлении φ .

Отсюда, задача оптимального локализационного управления может быть сформулирована в следующем виде: найти $\min_{L \in \{L\}} F(L)$ при параметрах $\{x_i\}, C_0, W(x)$, где F – некоторый числовой критерий на множестве локализованных кривых $\{L\}$.

Собственно решение этой задачи требует:

- установить существование решения, т.е. вектор-функцию $x(t)$, удовлетворяющую вышеуказанным условиям;
- выделить некоторое подмножество, в котором могут содержаться большинство оптимальных, по заданным функциям, решений;
- в выделенном подмножестве найти оптимальное решение.

В качестве исходных целесообразно принять следующие параметры: n – число локализационных кривых; C_0, \dots, C_n – начальные точки локализационных кривых; τ_0, \dots, τ_n – начальные моменты локализации; $W_1(x), \dots, W_n(x)$ – максимально допустимые скорости локализации; $\{G\}$ – множество ориентированных графов с числом вершин n . И, бесспорно, решение проблемы локализационного управления требует принятия критерия оптимизации, в качестве которых могут быть приняты:

$$F_n = \min_{G \in \{G\}} |G| \text{ – наименьшее число локализационных кривых;}$$

$$F_\tau = \min_{L \in \{L\}} \tau(L) \text{ – наименьшее время локализации;}$$

$$F_s = \min_{L \in \{L\}} S(L) \text{ – наименьшая площадь локализационного процесса.}$$

Наиболее характерным для большинства процессов распространения любых веществ и потенциалов является переход по нормали (рис. 1а), что определяет возможность поиска локализационных кривых с контурами равномерно расширяющейся окружности.

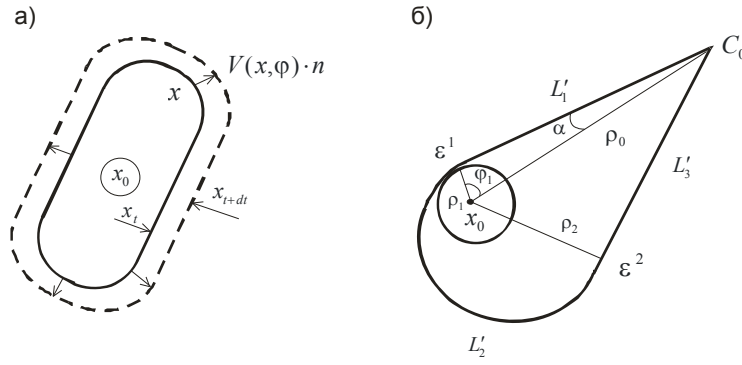


Рис. 1. Схема развития контуров кривых распространения негативных процессов (а) и взаимосвязи основных параметров локализационных кривых (б)

Расчетные параметры для данной схемы принимаем в виде:

$$\rho = \rho(\varphi); \quad \varphi \in [\varphi_1, \varphi_2]; \quad t \in [\tau^1, \tau^2]. \quad (1)$$

Тогда из условия, что для всех t все точки функции соответствующей L'_2 лежат на контуре процесса распространения $Z(x, t) = 0$ имеем:

$$\rho(u) = t \cdot v(u); \quad \frac{\partial Z}{\partial t} + v_u(x, u) \cdot |\text{grad} Z| = 0. \quad (2)$$

После соответствующих преобразований получаем дифференциальное уравнение вида –

$$\rho'(u) = p(\varphi) \frac{\alpha + \beta \sqrt{\alpha^2 - \beta^2 + 1}}{1 - \beta^2}, \quad (3)$$

где $\alpha = \alpha(\varphi) = \frac{v'(\varphi)}{v(\varphi)}$; $\beta = \beta(\varphi) = \frac{v(\varphi)}{\omega}$;

с решением –

$$\rho(\varphi) = \rho(\varphi_1) \exp \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi} f(z) \cdot dz \right) = \rho_1 \cdot l^{F(\varphi)}. \quad (4)$$

Очевидно, что особенности поиска оптимальной локализационной кривой будут связаны с выбором критерия оптимизации.

Для критерия F_n соответственно имеем, что число n заранее не фиксировано. Каждый граф из $\{G\}$ может быть записан в виде схемы следования локализационных кривых:

$$(\delta_1, \dots, \delta_k, \dots) \text{ и } (\delta_1, \dots, \delta_k, \dots, \delta_{n-1}, \dots, \delta_n), \quad (5)$$

где $\delta_i = 1$ соответствует движению по часовой, а $\delta_i = -1$ – против часовой стрелки.

Осуществляя индуктивное построение процесса распространения $(y^S)'$ по определенным значениям ориентации $\delta_{S+1} = 1$ получаем множество точек лежащих на внешней границе локализационной кривой, принадлежащей множеству $(\hat{y}^S)'$, и удовлетворяющей исходным четырем условиям.

Рассмотрим поиск локализационной кривой для случая равномерно-расширяющегося контура проявления негативного процесса. На рис.2 показаны схемы контуров и границы множеств допустимости $(\hat{y}^S)'$ процессов распространения большинства негативных процессов, а также наименьшее число локализационных кривых для сопряженных зон.

Так как $(\hat{y}^S)'$ должна включать в себя только те точки, которые могут быть достигнуты при использовании не менее S локализационных кривых (L_1, L_2, \dots, L_S) удовлетворяющих расчетной схеме следования, то оптимальное решение будет определяться достижением условия $c_0 \in (\hat{y}^P)'$, где P – число локализационных кривых и

$$P = \min_x (i(x) + j(x), i(c_0), j(c_0)); \quad (6)$$

$$i(c_0) = p_1; j(c_0) = p_2.$$

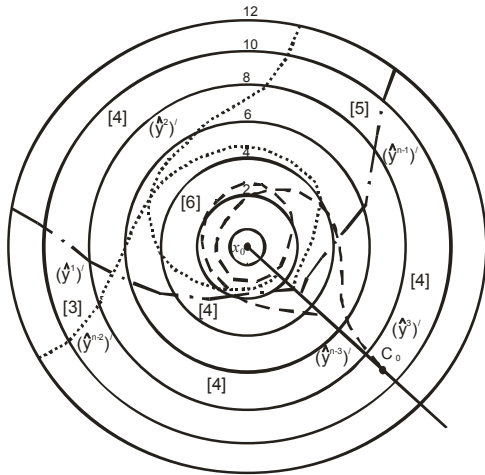
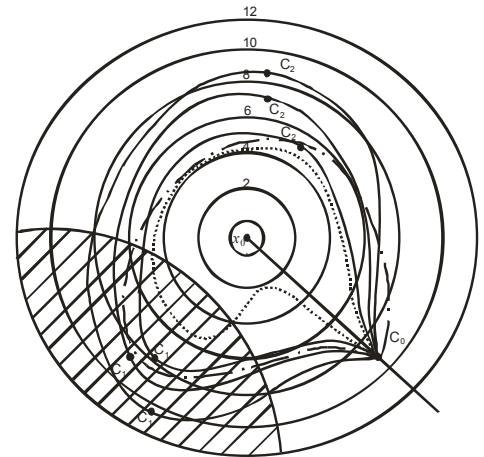


Рис. 2. Контуры процесса распространения $x_i=2,4,6,\dots$ и границы множеств допустимости $(\hat{y}^S)'$ и $(\hat{y}^{n-S})'$ для первой $(1,1,\dots)$, второй $(-1,-1,\dots)$ и третьей $(1,1,\dots,-1,-1)$ схем следования и наименьшее число локализационных кривых [3]

На рисунке 3 представлены локализационные кривые по принятым критериям оптимизации – F_n , F_τ и F_S . Следует отметить, что число локализационных кривых для всех критериев оптимизации может быть от 4 до 6 (рисунок 2). Однако это характерно только для типовых схем следования $(1,1,1,\dots)$ и $(\dots,-1,-1)$. Для схемы следования $(1,1,-1)$ число кривых не превышает 3, но для них существует общая обязательная площадь прохождения (на рис.3 заштрихована).

Рис. 3. Локализационные кривые по критериям оптимизации F_n (—), F_τ (---) и F_S (.....)

Для поиска локализационной кривой по критерию наименьшего времени локализации (F_τ , n фиксировано, схема следования $(\delta_1,\dots,\delta_k,\dots,\delta_n)$) и для всех процессов распространения введя дополнительные ограничения



$$\left. \begin{aligned} T_S(x) &\leq \tau \text{ для } \delta_S = 1; \\ \hat{T}_S(x) &\leq \tau \text{ для } \delta_S = -1. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

целесообразно использовать метод последовательных приближений, положив $\tau^1 = 0$, а $\tau^2 = \max \tau_i$. На рис.3 показана локализационная кривая F_τ для случая $L_i \in \{L\}$

$$\tau^2 - \tau^1 < 0,5.$$

Что касается поиска локализационной кривой по критерию наименьшей площади локализуемого процесса (F_S), то здесь условия по n и схеме следования аналогичны как и для F_τ , но траектория поиска должна обладать свойством граничности, т.е. $C_0 \notin \bigcup_{i=1}^{n-1} (y^i)'$ при $C_{n-1} \in (\hat{y}^{n-1})'$. На рис.3 показана локализационная кривая по критерию F_S для схемы следования $(1,1,1)$.

Однако следует отметить, что не для всех процессов может быть принята схема распространения по нормали. Распространение некоторых процессов может быть описано только через элементарные источники, т. е. путем построения огибающей к элементарным множествам (рис.4).

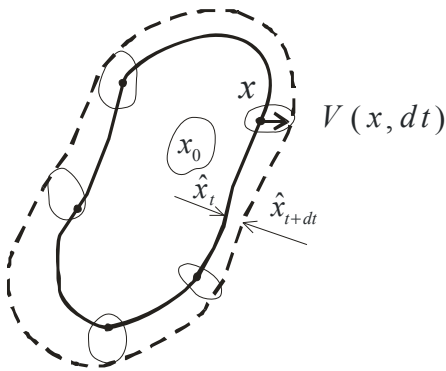


Рис. 4. Схемы развития контуров кривых распространения процессов по огибающим к элементарным множествам

Вместе с тем также следует отметить, что для некоторых процессов локализационная кривая может не удовлетворять условиям замкнутости (рис. 5а), начальная точка может не являться конечной точкой оптимальной локализационной кривой (рис. 5б) или появляется угловая точка связанная с взаимопроникновением контуров (рис. 5в).

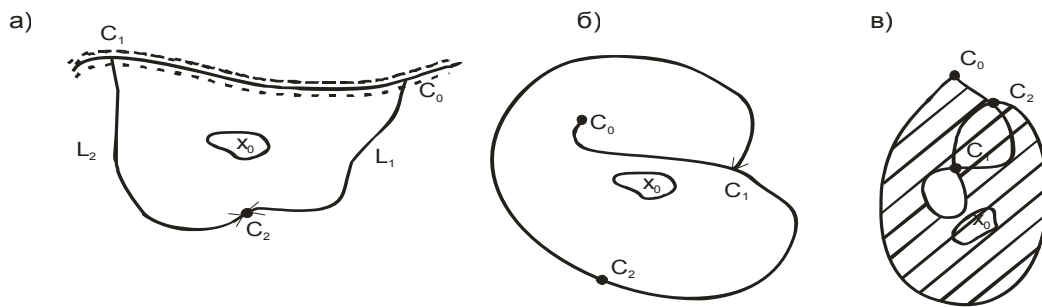


Рис. 5. Особые случаи поиска оптимальных локализационных кривых

Преодолеть эти проблемы можно используя метод перехода между точками, позволяющий для любых двух точек плоскости x, y определяя время перехода в виде

$$T(x, y) = \min_{L \in \{L(x, y)\}} T_L(x, y), \quad (8)$$

где $\{L(x, y)\}$ – множество гладких кривых, соединяющих точки x, y .

Поставив в соответствие каждому x множество точек

$$v(x, y) = \left\{ y \left(\rho(x, y) \leq \frac{1}{\tau(x, y)} \right) \right\}, \quad (9)$$

методами динамического программирования определяется траектория локализационной кривой для которой выполняется равенство

$$T(L, x, y) = T(x, y). \quad (10)$$

Рассмотрим задачу локализационного управления процессом распространения загрязнения подземных вод локальным источником загрязнения (очистные сооружения животноводческого комплекса в аварийном состоянии). В качестве критерия оптимизации примем наименьшее время локализации (F_τ). Условия формирования локализационной кривой – контуры равномерно расширяющейся окружности без граничных условий с переходом процесса по нормали.

$$\text{Имеем: } \tau^1 = \rho_1 = \frac{\rho_0}{1 + \omega^2}; \quad \sin \varphi = \frac{\omega}{\sqrt{1 + \omega^2}}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\omega};$$

$$\text{Для } \varphi > \varphi_1 \quad \rho(\varphi) = a \cdot \ell^{\gamma \varphi},$$

$$\text{где } \gamma = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 - 1}}; \quad a = \frac{\rho_1}{\ell^{\gamma \varphi_1}}.$$

Критерий оптимизации определяет необходимость выполнения неравенства –

$$\rho(2\pi) \leq \rho_0.$$

Тогда для $V(x) = 1, \omega = 4, \rho_0 = 10$ соответственно имеем:

$$\tau^1 = \rho_1 = 2,4; \varphi_1 = 1,33; \alpha = 0,24; \gamma = 0,258; a = 1,74;$$

$$\tau^2 = \rho(\varphi_2) = 7,7; \varphi_2 = 5,76; \rho_2 = 4,9; \tau' \approx 8,9.$$

Расчеты показывают, что для равномерно расширяющегося, со скоростью 1 м/сутки, источника загрязнения при скорости окружения 4 м/сутки локализовать его в зоне шириной до 10 м удастся только на 9 сутки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование процессов в природно-экономических условиях// Под ред. В.И.Гурмана и А.И.Москаленко. – Новосибирск: Наука, 1982. – 175 с.
2. Анохин Ю.А. Некоторые вопросы математического моделирования процессов, циркуляции веществ в природных геофизических средах. – В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 2, Л.; Гидрометеиздат, 1979. – С. 147-160.
3. Оптимальное управление природно-экономическими системами// Под ред. В.И.Гурмана. М.: Наука, 1980. – С. 42-66.
4. Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Шведовский П.В. Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических моделях и методах. Алматы, Каганат, 2003. – 532 с.

УДК 502.3:550.8.053+631.6

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В СТРУКТУРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Волчек А.А., *Шведовский П.В., *Лукша В.В. **Бурлибаев М.Ж.
*Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь,
 Казахстанское Агентство Прикладной Экологии, г. Алматы, Казахстан*

Изменения в динамике протекания многих природных процессов в последние десятилетия прошлого столетия привели к некоторому нарушению глобального равновесия, что и обусловило неопределенность состояния природной среды и соответственно стратегии и тактики в управлении ландшафтно-экологическими, водно-ресурсными и другими природными системами.

Высокая цена ошибочных решений при прогнозировании их изменений обуславливает необходимость совершенствования методологии системно-информационного анализа процессов и базирования прогнозов не на классических моделях, а на моделях, использующих аппарат производящих функций и принцип максимума неопределенности [1, 2, 3].

Принципиальным отличием катастрофических изменений природных систем от катастрофических изменений в большинстве эргономических и экономических процессов и систем, является неопределенность и искажаемость «массовой» информации о прогнозируемых условиях функционирования атмосферы, гидросферы и литосферы.

Концептуально система таких прогнозных исследований может быть описана следующим образом: известны начальные (A_1) и/или конечные (A_n) и/или последовательные состояния A_1, A_2, \dots, A_m системы и /или последовательность переходов $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_m$; нужно отыскать одно из неизвестных состояний, либо элементы системы a_1, a_2, \dots, a_m системы и ее структуру $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_m$.

Для этих прогнозных исследований в целом применимы следующие группы подходов: ситуационные, имитационные, системно-информационные, общесистемные, органоморфные, термодинамические и искусственного интеллекта. Особенности подходов определяют и множество имеющихся групп решений как теоретических, на базе математической логики, абстрактной алгебры, детерминированного дифференциального и интегрального исчисления, интегральной алгебры и теории ошибок, категорий, множеств и мер, нечетких множеств, мер и интегралов, так и модельных – графовых, логико-динамических, композиционных, стохастических, нейросетевых, категорных и тензорных.