средством учета уровня развития транспортных сетей в подходе к определению общей экономической стоимости полезностей леса.

Библиографические ссылки

1. Пунцукова С. Д. Эколого-экономическая оценка лесных ресурсов как основа устойчивого лесопользования // Вестник Бурятского государственного университета. – 2011. – № 4. – С. 38–43.

2. Майоров И. Г., Третьяков А. Г. Экономическая доступность лесных ресурсов и транспортная доступность // Экономика и управление. – М., 2014. – 10(119). – С. 24–28

3. Основы расчета и планирования устойчивого управления лесопользованием : монография / О. В. Болотов, Ю. М. Ельдештейн, А. С. Болотова и др.– Красноярск : СибГТУ, 2005. – 180 с.

4. Ковалев Р. Н., Гуров С. В. Планирование транспортных систем лесных предприятий в условиях многоцелевого лесопользования: монография. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. академия, 1996. – 250 с.

5. Оплетаев А. С., Чермных А. И. Повышение продуктивности лесов: учеб.-метод. пособие. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 28 с.

УДК 517.935

А. Ю. Вдовин, С. С. Рублева
(A. Yu. Vdovin, S. S. Rubleva)
УГЛТУ, Екатеринбург
(USFEU, Yekaterinburg)

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СВОЙСТВ ИНФОРМАЦИИ НА КАЧЕСТВО ПРИНИМАЕМЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ (МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

(ON THE INFLUENCE OF INFORMATION PROPERTIES ON THE QUALITY OF MANAGEMENT DECISIONS (MATHEMATICAL ASPECT)

На примере построения приближения управления в динамической системе показывается возможность оптимизации этого алгоритма в случае доступности информации о состоянии системы в опережающий момент времени.

Using the example of constructing a control approximation in a dynamic system, the possibility of optimizing this algorithm is shown if information about the state of the system is available at a leading time.

Рассматривается динамическая система, эволюция которой на заданном временном промежутке T осуществляется по некоторому закону, зависящему от момента времени t из этого промежутка, её состояний в эти моментых (t), а также от воздействия $u(t)$ (со значениями из некоторого компакта Q), оказывающего влияние на рассматриваемую систему в момент t.

Задача состоит в определении этого неизвестного воздействия. Подробнее остановимся на информации о системе: будем считать, что зависимость производной состояния $x'(t)$ (его скорости) от t, $x(t)$, $u(t)$ известна, т. е.

$$x'(t) = f(t, x(t), u(t)) \tag{1}$$

Более того, станем предполагать, что правая часть (1) линейна по $u(t)$:

$$f(t, x(t), u(t)) = f_1(t, x(t)) + f_2(t, x(t))u(t), \tag{2}$$

а функции $f_1(t, x(t))$ и $f_2(t, x(t))$ удовлетворяют условию Липшица по совокупности переменных:

$$\| f_i(t_2, x_2) - f_i(t_1, x_1) \|_i \le L\left(|t_2 - t_1| + |x_2 - x_1|\right), \quad \text{где } i = 1,2. \tag{3}$$

При этом если временной промежуток конечен: $T = [t_0; a]$, то решение $x(t)$ задачи Коши для (1) при фиксированном начальном условии $x(t_0)$ существует, единственно и при всех t из T, принадлежит некоторому компакту X. Для решения поставленной выше задачи очевидно необходима информация об упомянутом $x(t)$. Она может характеризоваться неполнотой, неточностью и неупреждаемостью. Неполнота состоит в том, что для каждого полуинтервала $[t_i, t_{i+1})$ разбиения временного промежутка T узлами $t_0 < t_1 < \ldots < t_m$ имеется информация лишь о значении $x(t_i)$, неточность – в том, что вместо $x(t_i)$ доступно значение x_i, при этом

$$|x(t_i) - x_i| \le h, \tag{4}$$

а неупреждаемость – в том, что x_i становится известным лишь в момент t_i. Далее без ограничения общности считаем, что $|t_{i+1} - t_i| = \Delta = const$. Неточность поступающей информации с необходимостью влечѐт возможность лишь приближѐнного определения искомого воздействия. Поэтому алгоритм построения приближения должен быть ***регуляризирующим*** и ***динамическим***. Первая характеристика означает, что ошибка приближения должна стремиться к нулю вместе с величиной h, вторая – что построение приближения на промежутке $[t_i;\ t_{i+1})$ должно быть закончено до момента t_{i+1}.

Впервые алгоритм с указанными свойствами был предложен в 1983 г. [1], при этом использовался аппарат управляемых моделей из теории позиционных дифференциальных игр и применялось согласование параметров метода $\Delta=\Delta(h)$; $\alpha=\alpha(h)$ с ошибкой h. Упомянутую управляемую модель на промежутке $[t_i;t_{i+1})$ было предложено выбирать по правилу

$$w_h(t)=w_h(t_i)+(f_1(t_i,x_i)+f_2(t_i,x_i)v_h(t_i))(t-t_i), \tag{5}$$

а приближение воздействия $v_h(t)$, как проекцию на компакт Q вектора, т. е.

$$f_2^T(t_i,x_i)\frac{(x_i-w_i)}{\alpha(h)}. \tag{6}$$

Использование (5), (6) позволяет строить приближение воздействия в режиме реального времени, а результат теоремы (из той же работы [1]) говорит о том, что построенный динамический результат является регуляризирующим при соответствующем выборе параметров.

Теорема 1. Пусть динамическая система (1), (2) функционирует на временном промежутке $[t_0,a]$, имеет место (3), значения $u(\cdot)$ принадлежат некоторому компакту $Q\subset R^q$. Параметры $\alpha(h),\dfrac{h+\Delta(h)}{\alpha(h)}$ стремятся к нулю вместе с h. Тогда $\lim\limits_{h\to 0}\|v_*(\cdot)-v_h(\cdot)\|_{L_2[a,b]}=0$, где $\|v_*\|=\min\|v(\cdot)\|_{L_2[a,b]}$.

Важным вопросом является получение оценки точности (в зависимости от погрешности измерения h), с которой можно построить приближение воздействия. Известно, что в общем случае такую оценку получить не удается, для этого нужны дополнительные ограничения (дополнительная информация) на воздействие $u(\cdot)$.

Теорема 2. Пусть помимо условий теоремы 1 выполняется $0\in Q$, $u(\cdot)$ обладает ограниченной вариацией на $[t_0,a]$, $f_2(\cdot)$ – матрица полного ранга.

Тогда существуют положительные константы C_1,h_1 такие, что при $h\in(0,h_1)$, $k\in N$:

$$\|v_*(\cdot)-v_h(\cdot)\|_{L_1[a,b]}\le C_1h^{\frac{k}{2k+1}},$$

это означает, что при $k\to\infty$ *асимптотический порядок* точности равен 1/2.

В следующем примере демонстрируется численная реализация алгоритма:

Пример 1. $\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}' = \begin{pmatrix} -t^2(x_1+2) \\ t^3 - x_2 + 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2 & 1 \end{pmatrix} u(t)$, с начальным условием $\begin{cases} x_1(0) = 1 \\ x_2(0) = 0 \end{cases}$. Выберем параметры $h = 0{,}0001$, $\Delta(h) = h = 0{,}0001$, $\alpha(h) = \sqrt{h}$

Построим приближение воздействия по правилам (5), (6). Обозначим через v_i-приближение i-й координаты воздействия $u(\cdot)$ (рис. 1).

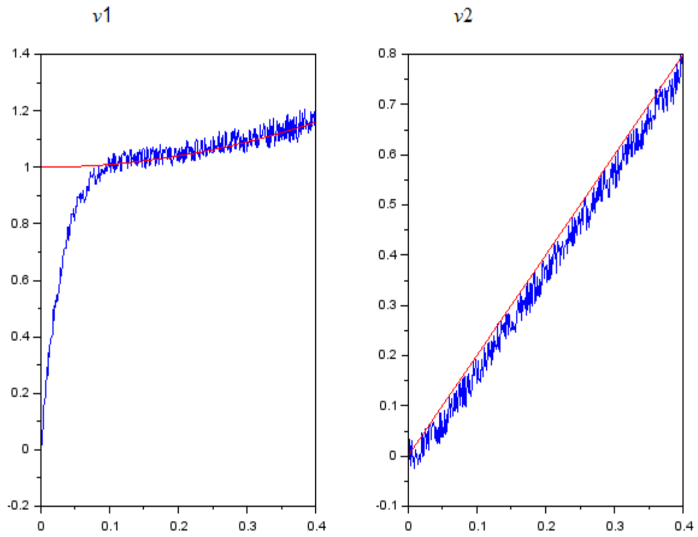

Рис. 1. Алгоритм, имеющий высокую зашумленность

На рис. 1 видно, что построенный алгоритм, обладающий оптимальным асимптотическим порядком точности, имеет высокую зашумленность. Оказалось, что её можно понизить, если обладать дополнительной информацией, т. е. знать, что будет происходить с $x(t_i)$ в следующий момент времени, то есть при $t = t_{i+1}$.

Рассмотрим модификацию алгоритма, пусть приближение воздействия строится по правилу:

$$v_2(t_{i+1}) = \left(\frac{\alpha}{\Delta} E + f_2^{\,T}(t_{i+1}, x_{i+1}) f_2^{\,T}(t_{i+1}, x_{i+1}) \right)^{-1}$$
$$f_2^{\,T}(t_{i+1}, x_{i+1}) \left(\frac{x_{i+1} - w_h(t_i)}{\alpha(h) + \Delta(h)} - f_1(t_{i+1}, x_{i+1}) \right), \tag{7}$$

с моделью:

$$w_h{}'(t_{i+1}) = \frac{x_{i+1} - w_h(t_i)}{\alpha(h) + \Delta(h)}, \tag{8}$$

тогда

Теорема 3 [3]. Пусть выполнены условия теоремы 2, приближение воздействия строится по правилу (7) с моделью (8). Тогда существуют положительные константы C_2, h_2 такие, что при $h \in (0, h_2)$ и выборе $\Delta(h) = \sqrt{h}$, $\alpha(h) = h$ для точности приближения справедлива формула

$$\|v_*(\cdot) - v_2(\cdot)\|_{L_1[a,b]} \le C_1 h^{\frac{1}{2}}.$$

Таким образом, предложенный алгоритм обладает оптимальным (уже неасимптотическим) порядком точности, к тому же его шаг на порядок больше, следовательно, этот метод менее трудозатратен.

Проиллюстрируем работу этого алгоритма для той же системы, что и в примере 1.

Пример 2. $\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}' = \begin{pmatrix} -t^2(x_1+2) \\ t^3 - x_2 + 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2 & 1 \end{pmatrix} u(t)$, с начальным условием $\begin{cases} x_1(0) = 1 \\ x_2(0) = 0 \end{cases}$. Выберем параметры $h = 0{,}0001$, $\Delta(h) = \sqrt{h}$, $\alpha(h) = h$.

Построим приближение воздействия по правилам (7), (8). Обозначим через v_i – приближение i-ой координаты воздействия $u(\cdot)$ (рис. 2).

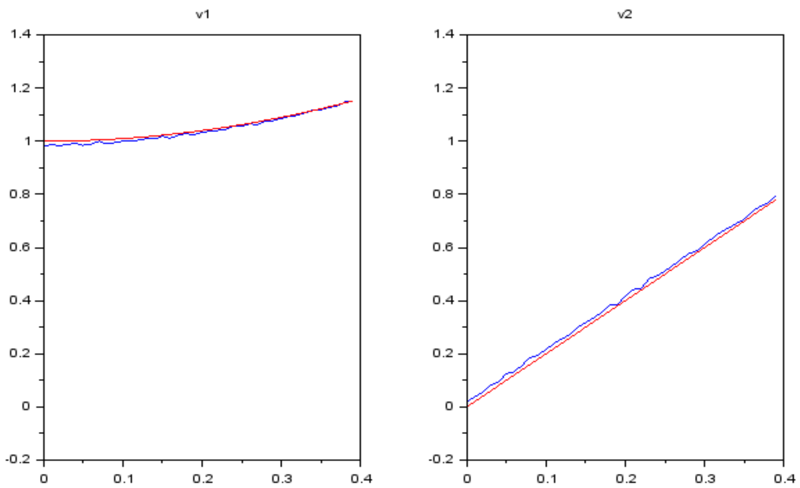

Рис. 2. Алгоритм снижения зашумленности

На рис. 2 видно, что удалось снизить зашумленность метода. При этом, как и в оригинальном методе, построение приближения нормального воздействия не требует нахождения псевдообратной матрицы, что делает метод привлекательным с точки зрения практического использования.

Библиографический список

1. Кряжимский А. В., Осипов Ю. С. О моделировании управления в динамической системе // Техн. кибернетика. – 1983. – № 2. – С. 51–60.

2. Вдовин А. Ю., Рублева С. С. О гарантированной точности процедуры динамического восстановления управления с ограниченной вариацией в системе, зависящей от него линейно // Мат. заметки. – 2010. – Т. 87. – Вып. 3. – С. 337–358

3. Вдовин А. Ю., Рублева С. С. О возможности получения оптимального порядка точности при восстановлении воздействия динамическим методом // Вестник Российских университетов. Математика. – Тамбов : ТГУ, 2020. – Т. 25. – № 130. – С. 147–155

УДК 378.14

М. В. Воробьева, И. А. Петрикеева
(M. V. Vorobyeva, I. A. Petrikeeva)
УГЛТУ, Екатеринбург
(USFEU, Yekaterinburg)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ
(ECOLOGICAL COMPONENT OF PROFESSIONAL TRAINING OF STUDENTS OF TECHNICAL UNIVERSITIES)

Объективная экологизация общества неизбежно проявляется в экологизации образования как одного из важнейших инструментов социального влияния. В современном мире у человека нет выбора: быть экологичным или не быть. Вопрос стоит не только о здоровье человека или качестве его жизни, но и о сохранении возможности жизни на Земле. Высшее образование может (и должно) участвовать в процессе экологизации жизни, деятельности и мышления современного человека.

The objective greening of society inevitably reveals itself in the greening of education as one of the most important social influence tools. In the modern world, a person has no choice: to be environmentally friendly or not. The question is not only about human health or the quality of life, but also about preserving the possibility of life on Earth. Higher education can (and should) participate in the process of greening of life, activity and thinking of a modern person.

Экологическое мышление в современном мире претендует быть одним из важнейших интегративных социальных факторов, который взаимо-