

ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОШАГОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В последнее время возрос интерес [1, 2] к специальным многошаговым или композитным системам, в которых каждое последующее состояние зависит помимо внешних управляющих воздействий также от состояний, которые реализовались на предыдущем шаге. Такого рода объекты возникают, например, во многих индустриальных и технологических процессах (линии металлопроката, химические реакции и др.). Дискретные версии таких моделей исследовались в [3]. В настоящей работе рассматривается конечный многошаговый процесс, который на каждом этапе задается системой линейных нестационарных дифференциальных уравнений. В данной работе развивается операторный подход к исследованию многошаговых распределенных процессов. Опираясь на понятие управляемых соответствий, разработанное для обыкновенных систем управления [4], получено описание области значений оператора, задающего систему управления. Предложенный операторный подход используется затем для решения задачи оптимизации квадратичного функционала на траекториях изучаемой системы управления. В данной работе получено представление оптимального управления через переменные двойственной системы управления, а также посредством фазовых переменных исходной системы.

Пусть система управления в пространстве R_n на отрезке времени $t \in [0,1]$ описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dx_k(t)}{dt} = A(t)x_k(t) + D(t)x_{k-1}(t) + B(t)u_k(t) + f_k(t), \quad k = 1, \dots, N \quad (1)$$

с граничными данными вида

$$x_0(t) = g(t), \quad t \in [0,1], \quad x_k(0) = c_k, \quad x_k(1) = d_k, \quad k = 1, \dots, N. \quad (2)$$

Здесь $A(t)$, $D(t)$ — матрицы с элементами из пространства измеримых квадратично суммируемых на отрезке $[0,1]$ функций, $B(t)$ — матрица, элементы которой ограничены в существенном, $u_k(t)$ — m -мерные функции управления из $L_2^m[0,1]$, c_k , d_k и $f_k(t)$, $g(t)$ — заданные n -векторы и n -вектор-функции соответственно. Обозначим через $H^n[0,1]$ гильбертово пространство абсолютно непрерывных n -вектор-функций $x(t)$, $t \in [0,1]$, $x(t) \in L_2^n[0,1]$. Введем еще пространство $W = (L_2^m[0,1])^N \cdot (R_n)^N \cdot (R_n)^N$ и $E = (H^n[0,1])^{N+1} \cdot (L_2^m[0,1])^N$. Рассмотрим ограниченный оператор $M: E \rightarrow W$, который определяется правой частью системы управления и граничными условиями. Введенный оператор играет важную роль при исследовании структурных характеристик рассматриваемой системы управления, в том числе для исследования задачи оптимизации квадратичного функционала качества вида

$$J(u) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N [(x_k(0), x_k(0)) + \int_0^1 [(\dot{x}_k(t), \dot{x}_k(t)) + (u_k(t), u_k(t))] dt] \rightarrow \min_{\{u_k(t)\}}$$

Источники

1. Гайшун, И. В. Устойчивость и управляемость композитных дискретных линейных систем // И. В. Гайшун, М. П. Дымков // Журн. вычисл. мат. и мат. физики. — 2001. — Т. 41, № 7. — С. 577–594.

2. Exponential stability of discrete linear repetitive processes / M. P. Dymkov [et al.] // *Int. J. Control.* — 2002. — V. 75, № 12. — Pp. 861–869.
3. Z-Transform and Volterra operator based approaches to controllability and observability analysis for discrete linear repetitive processes / M. P. Dymkov [et al.] // *Multidimensional Systems and Signal Processing.* — 2003. — V. 14, № 4. — Pp. 365–395.
4. Ландо, Ю. К. Об управляемых операторах / Ю. К. Ландо // *Дифференц. уравнения.* — 1974. — Т. 10, № 3. — С. 531–536.

*С. Ю. Елацков, аспирант
БГЭУ (Минск)*

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОСФЕРЕ: АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ

Продовольственная безопасность страны — важнейшая проблема любого государства. Основными угрозами продовольственной безопасности во многих странах в настоящее время являются: сокращение пахотных земель из-за эрозии почв, отток трудовых ресурсов из сельской местности в города, низкая материально-техническая база фермерских хозяйств и т.д.

Один из выходов — поднять урожайность земледелия путем так называемой цифровизации, т.е. новой стадии развития сельскохозяйственного производства на основе применения новейших технологий, начиная от интернета вещей (т.е. умных устройств, передающих и обрабатывающих текущие параметры каждого объекта посредством специального оборудования и датчиков, измеряющих параметры почвы, растений, микроклимат и т.д.). Все эти виды мобильных или онлайн-приложений при загрузке данных о поле (координаты, площадь, тип культур, прошлая урожайность) предоставляют точные рекомендации и последовательность действий и при этом непрерывно анализируют всю получаемую информацию.

Мировая практика показала, что средняя экономия затрат при землепользовании с применением цифровых технологий в целом в развитых странах мира составляет 11–14 %, а при дифференцированном внесении удобрений — 8–12 %. Благодаря так называемым системам параллельного вождения, применяемым в земледелии, средняя экономия затрат составляет 8–13 %. Комплексная цифровизация сельского хозяйства снижает производственные затраты на 23 %.

Внедрение цифровых технологий в сельское хозяйство в значительной мере зависит от объема полученных инвестиций. В 2010 г. общий объем инвестиций, направленных в мировую агросферу, составил 400 тыс. дол. США. Инвестиции в разные отрасли сельскохозяйственной сферы достигли 4,6 млрд дол. США. Наиболее активными странами, привлекающими инвестиции в свои агросферы, являются США, Китай, Индия, Канада, Израиль.

Одна из активно применяемых форм инвестирования — стартапы. В 2016 г. в мировое сельское хозяйство было проинвестировано свыше 1300 технологических стартапов, предусмотренных для внедрения цифровых технологий. За последние годы в мире ежегодно разрабатывается более 500 высокотехнологичных стартапов. В России инвестиции в цифровые технологии составляют менее 0,5 % от их общего числа в сельское хозяйство (7,7 трлн дол. США) и менее 3,5 % от всех мировых инвестиций. Это крайне мало для российского агросектора.

В настоящее время принята Государственная программа «Цифровое сельское хозяйство» (2019–2021 гг.), на основе которой прогнозируется что, цифровизация в сельском хозяйстве принесет суммарный экономический эффект в размере 4,8 трлн руб. в год, или 5,6 % прироста ВВП России.