ми техническими аграрными вузами. Дополнительно к фундаментальным и прикладным вопросам земледельческой механики следует добавлять научные направления, связанные с применением информационных и высоких технологий 6-го технологического уклада, без реализации и применения которых невозможно создание техники завтрашнего дня.

19.11.2015

Литература

1. Огородников, П.И. Основные направления научно-технического прогресса в сельском хозяйстве / П.И. Огородников, Е.П. Огородникова, Т.В. Кретова // Экономика региона. – 2008. – Приложение к № 2. – С. 194–199.
2. Титов, В.Н. Институциональный и идеологический аспекты функционирования науки / В.Н. Титов // Социологические исследования. – 1999. – № 8. – С. 66.
3. Калетнік, Г.М. Землеробська механіка – теоретична база сучасної сільскогосподарскоі технікі / Г.М. Калетнік, А.С. Заришняк, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков // Механізація та электріфікація сільського господарства: Міжвідомчний тематичний науковий збірник / ННЦ «ИМЭСХ»; редкол.: В.В. Адамчук [и др.]. – Глеваха, 2013. – Вип. 98. – Том 1. – С. 31–43.
4. Сыроватка, В.И. «Земледельческая механика» В.П. Горячкина – научная основа разработки машин и процессов механизации животноводства / В.И. Сыроватка // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 2. – С. 3–5.
5. Лінник, М.К. Пріоритетні напрями наукових досліджень з механізаціі сільского господарства / Г.М. Калетнік, А.С. Заришняк, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков // Механізація та электріфікація сільського господарства: Міжвідомчний тематичний науковий збірник / ННЦ «ИМЭСХ». – Глеваха, 2001. – Том Х. – С. 8–14.

УДК 631.319.06:004.4

В.И. Кравчук

(ГНУ УкрНИИПИТ
им. Л. Погорелого,
п.г.т. Дослидницкое, Украина)

РАЗВИТИЕ МЕТОДА БАЗОВЫХ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Введение

В процессе выполнения сельскохозяйственных работ машинно-тракторные агрегаты (МТА) реагируют на различные воздействия динамического характера, что влияет на качество технологического процесса, а также на энергетические показатели, производительность и топливную экономичность. Учитывая то, что комплексная оценка МТА зависит от множества частных критериев, возникает задача многокритериальной оптимизации сельскохозяйственных машин (СХМ) в условиях их адаптации и гарантированного управления.

Согласно принципу гарантированного результата [1–7], адаптированная система отвечает требованиям, если при наихудших условиях (которые, возможно, появятся в поле за время $t \in T$ оптимизации рабочих процессов при конкретно фиксированных случаях эксплуатации) за счет управления обеспечивает целевой эффективный результат выращивания продукции растениеводства (ВПР) и минимальные потери.

Следует подчеркнуть, что большинство практических задач не разрешается классическими методами [8]. Данная ситуация проблемна, так как трудности обусловлены: большой размерностью реального вектора состояния объекта; существенными значениями нелинейных зависимостей, которые не линеаризуются; значительным количеством ограничений и требований к координатам управления и фазовым координатам объекта; наличием многих локальных экстремумов и существованием компромиссных режимных ситуаций с неопределенными параметрами.

Основная часть

В работе обоснована целесообразность использования Р-моделей, адекватных уравнениям СХМ и МТА, представленных в форме векторного дифференциального уравнения [2–7, 9–11, 13–15]:

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = f(t, \vec{x}, A), \vec{x}(t_0) = \vec{x}_0, \tag{1}$$

где $\vec{x}$ – m-мерный вектор состояния динамической системы;

A – n-мерный вектор конструктивных параметров проектируемой динамической системы;

f – векторная функция обобщенных сил, действующая на динамическую систему;

t – время работы СХМ.

Будем рассматривать работу СХМ и МТА во временном интервале $t \in [0,H]$, считая, что $t_0 = 0$. Система I_j $j=\overline{1,r}$ частных критериев оценки эффективности работы динамической системы представлена в виде функционалов [2, 3]:

$$I_j = q_j\left[x(H, A), H\right] + \int_0^H \varphi_j(t, x, A)dt. \tag{2}$$

Для каждого частного критерия заданы допустимые пределы его измерения:

$$0 \le I_j \le I_{jm}, \; j = \overline{1,r}, \tag{3}$$

где I_{jm} – предельно допустимое значение отдельного критерия.

Заданные функции q_j и φ_j в функционалах (2) имеют непрерывные частные производные по x и A. Частные критерии (3) являются компонентами r-мерного векторного критерия $I = (I_1, I_2, ..., I_r)$... Область изменения векторного критерия определяется ограничениями (3). Каждая компонента векторного критерия I описывается функционалом (2), определенным при решении векторного дифференциального уравнения (1) и фиксированном значении вектора параметров A конкретной СХМ.

Многокритериальная оптимизация динамической системы (1) – это поиск оптимального значения вектора параметров, обеспечивающего минимум векторного критерия $A^0 = (a_1^0, a_2^0, ..., a_n^0)$, что позволяет минимизировать вектор критерия $I = (I_1, I_2, ..., I_r)$ при выполнении ограничений (3). Задача векторной оптимизации сводится к минимизации линейной формы компонента векторного критерия с постоянными коэффициентами:

$$I = \sum_{j=1}^{r} \alpha_j I_j, \tag{4}$$

где $\alpha_j > 0$, $\sum_{j=1}^{r} \alpha_j = 1$.

В случаях применения линейной свертки (4) частных критериев (2) возникает проблема выбора весовых коэффициентов α_j, $j = \overline{1, r}$ [16]. Основной недостаток минимизации формулы (4) состоит в том, что не учитываются ограничения на частные критерии. В результате этого оптимальное значение векторов параметра A^0 при выбранных α_j, $j = \overline{1, r}$ может дать частный критерий с допустимыми пределами. Методы учета ограничений (3) при оптимизации линейной формулы (4) значительно усложняют решение задачи и практически не применяются.

Известно о методе скалярной свертки частных критериев по нелинейной схеме компромиссов [2, 3], который гарантирует выполнение ограничений (3). Согласно этому методу, задача векторной оптимизации динамики СХМ сводится к минимизации интегрального скалярного критерия [2] вида

$$I(A) = \sum_{j=1}^{r} \frac{1}{\left[1 - \frac{I_j(A)}{I_{jm}}\right]} \tag{5}$$

при заданных дифференциальных связях (1). Скалярная свертка частных критериев по нелинейной схеме компромиссов (5) гарантирует выполнение ограничений (3), так как в случае приближения любого из частных критериев I_j к верхней границе допустимых значений I_{jm} выражение (5) реализует действие Чебышевского (минимаксного оператора) по этому частному критерию. В работе [3] показано, что скалярная свертка по нелинейной схеме компромиссов дает единственный минимум в пределах ограничений (3). Нелинейную схему компромиссов возможно представить в более общем виде:

$$J(A)=\sum_{j=1}^{r}\frac{\alpha_j}{\left[1-\frac{I_j(A)}{I_{j\max}}\right]^{G_j}}, \qquad (6)$$

где G_j – значение показателя степени функции частного критерия, которое отражает решения, принадлежит множеству Парето.

Задавая вектор $\alpha=(\alpha_1,\alpha_2,...,\alpha_r)$ приоритетности частных критериев, можно получить любую точку из множества Парето-оптимальных решений. В случае отсутствия какой-либо информации о приоритетности частных критериев целесообразно применение скалярной свертки (5). Это гарантирует выполнение ограничений (3), унимодальность функционала и не требует решения проблемы выбора вектора приоритетности α [16, 17]. Задача минимизации скалярного критерия (5) при дифференциальных связях (1) требует значительного объема вычислений при решении ее на ПЭВМ.

Решение задачи многокритериальной оптимизации динамических режимов СХМ и МТА можно значительно упростить. С этой целью предлагаем применить Р-преобразование [14, 15] и свести задачу к решению системы конечных уравнений. В результате получим математическую модель уравнения (1) в области изображений в виде рекуррентного выражения:

$$X(k+1,A)=\frac{H}{k+1}F\left[T(k),X(k),A\right],X(0)=x_0, \qquad (7)$$

где F представляет изображение оригинала функции f.

Последовательно присваивая целочисленные значения аргумента $k=0,1,2,\ldots$ в рекуррентном выражении (7) от начального условия $X(0)=x_o$, определяем $X(k,A)$. Обратное преобразование позволяет найти пороговое значение решения уравнения (1) при $t=H$:

$$x(H,A)=\sum_{k=0}^{\infty}X(k,A). \qquad (8)$$

На основе Р-преобразования функционалов (2) в функции вектора A параметров динамических режимов СХМ и МТА получим:

$$I_j(A)=q_j\left[x(H,A),H\right]+H\sum_{K=0}^{\infty}\frac{\Phi_j\left[T(k),X(k,A),A\right]}{k+1},\ \mathrm{j}=\overline{1,r}, \qquad (9)$$

где Φ_j представляет изображение оригинала функции φ_j,

$x(H,A)$ определяется по выражению (8).

Сворачиваем частные критерии (9) в скалярную функцию (5) или (6) по нелинейной схеме компромиссов. В результате задача свелась к оптимизации функции многих переменных вида (5) или (6), которые зависят от вектора A и конструктивных параметров СХМ. Систему конечных уравнений для определения неизвестных компонент вектора A_0 оптимальных конструктивных параметров адаптированной СХМ получаем в соответствии с необходимыми условиями оптимальности функции $I(A)$ вида (6):

$$\frac{\partial I(A)}{\partial \alpha_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}. \tag{10}$$

Если применить скалярную свертку (6) для определения оптимальных конструктивных параметров $A^0 = (a_1^0, a_2^0, ..., a_n^0)$ СХМ, то система конечных уравнений определяется условиями:

$$\frac{\partial J(A)}{\partial \alpha_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}. \tag{11}$$

Численные методы решения системы конечных уравнений (10) или (11) реализуем в системах математического и программного обеспечения любой современной ПЭВМ.

Выводы

1. Применение скалярной свертки по нелинейной схеме компромиссов и математического аппарата Р-преобразований свело задачу многокритериальной (практически до 5–7) оптимизации динамики сельхозагрегатов к решению системы конечных уравнений, размерность которой равна размерности вектора выборочных конструктивных параметров $(a_1, a_2..., a_n)$ проектируемой динамической системы.

2. Предложенный метод может быть реализован в аналитическом или численно-аналитическом виде. Учитывая то, что Р-преобразование является точным операционным методом, аналитическое решение задачи многокритериальной оптимизации дает возможность получить ее точное решение.

3. Если вектор критериев эффективности удовлетворяется, то адаптированная СХМ с регулятором $u = U^*(t)$ обеспечивает гарантированную результативность оперативного управления при самых влиятельных возмущениях. При благоприятных случаях эффективность будет еще выше за счет уменьшения объемов затраченных ресурсов. Адаптированные СХМ реализуют решения обобщенной многокритериальной вариационной задачи с учетом внутренних особенностей и внешних возмущений. СХМ, адаптированные согласно предложенному методу, одновременно обеспечивают качество функционирования, а также энерго- и ресурсосбережение.

19.08.2015

Литература

1. Булычев, Ю.Т. Системный подход к моделированию сложных динамических систем в задачах оптимизации с прогнозирующей моделью / Ю.Т. Булычев, И.В. Бурлай // АиТ. – 1996. – № 3. – С. 34–45.
2. Воронин, А.Н. Багатокритеріальний синтез динамических систем / А.Н. Воронин. – Киев: Наук. думка, 1992. – 160 с.
3. Векторная оптимизация динамических систем / А.Н. Воронин [и др.]. – К.: Техника, 1999. – 284 с.
4. Кравчук, В.І. Розрахункові моделі оптимізації конструктивних параметрів орного агрегату / В.І. Кравчук // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць УкрНДІПВТ. – Дослідницьке, 2003. – Вип. 6 (20). – С. 413.
5. Кравчук, В.І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин / В.І. Кравчук. – К: НАУ, 2005 – 208 с.
6. Кравчук, В.І. Метод розв'язання проблем багатокритеріальної оптимізації керованих робочих процесів сільськогосподарських агрегатів / В.І. Кравчук, Г.Л. Баранов // Науковий вісник НАУ. – К., 2001. – Вип. 41. – С. 201–209.
7. Кравчук, В.І. Методика розрахунків оптимальних програмних управлінь на базі дискретних моделей та синтезу замкнутих законів управління сільгоспмашинами та агрегатами / В.І. Кравчук, Г.Л. Баранов // Механізація виробничих процесів рибного господарства, промислових і аграрних підприємств: зб. наук. праць Керченського технол. ін-ту. – Керч: КМТІ, 2002. – Вип. 3. – С. 34–40.
8. Чураков, Е.П. Оптимальные и адаптивные системы / Е.П. Чураков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.
9. Василенко, П.М. Методика построения рабочих моделей функционирования механических систем / П.М. Василенко, В.П. Василенко. – К.: УСХА, 1980. – 135 с.
10. Василенко, И.И. Автоматизация процессов сельхозпроизводства / И.И. Василенко. – М.: Колос, 1972. – 574 с
11. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления / А.Б. Лурье [и др.]; под ред. А.Б. Лурье. – Л.: Колос. Ленинград. отд-ние, 1979. – 312 с.
12. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли; пер. с англ. А.С. Каменского; под ред. Ф.И. Ерешко. – М.: Агропромиздат, 1981. – 400 с.
13. Векторная оптимизация динамических систем / А.Н. Воронин [и др.]. – К.: Техника, 1999. – 284 с.
14. Пухов, Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Г.Е. Пухов. – К: Наук. думка, 1980. – 419 с.
15. Пухов, Г.Е. Приближенные методы математического моделирования, основанные на применении дифференциальных Т-преобразований / Г.Е. Пухов. – Киев: Наук. думка, 1988. – 216 с.
16. Ловейкин, В.С. Методы математического моделирования в формировании обобщенных критериев определения режимов движения и оценки механизмов, машин, роботов-манипуляторов / В.С. Ловейкин, Ю.В. Човнюк // Механізація сільськогосподарського виробництва: зб. наук. праць Нац. аграр. ун-ту. – К.: НАУ, 2000. – Т. VIII. – С. 33–40.
17. Ловейкин, В.С. Оптимизация режима движения манипуляционных систем-роботов по комплексному критерию / В.С. Ловейкин // Вестник машиностроения. – 1988. – № 2.