

## 1. Техническая характеристика машины МЖТ-6Ш

Грузоподъемность, т	6
Производительность (при дозе 40 т/га и расстоянии перевозки 1,5 км), за час эксплуатации времени, га/ч	0,2
Неравномерность внесения удобрений, %	±13,2
Рабочая ширина захвата, м	12
Рабочая скорость, км/ч	до 10
Транспортная скорость, км/ч	25
Глубина забора при самозагрузке (от опорной поверхности машины), м, не менее	2,5
Габаритные размеры машины в транспортном положении, мм, не более:	
- длина	7040
- ширина	2600
- высота	3500
Масса машины, кг	3800
Угол поперечной статической устойчивости, град., не менее	25
Дорожный просвет, мм	350
Ширина колеи, мм	1800
Обслуживающий персонал, чел.	1

ным способом применения жидких органических удобрений является поверхностное внесение мобильными агрегатами со штанговыми распределяющими системами.

2. Государственные приемочные испытания штанговой машины для внесения жидких органических удобрений МЖТ-6Ш показывают, что она равномерно вносит жидкий навоз (коэффициент вариации равен 13,2%) с постоянной шириной захвата непосредственно на поверхность поля без разбрызгивания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа возрождения и развития села на 2005-2010 годы. – Мн.: Беларусь, 2005. – 96 с.

2. Системы удаления, накопления и утилизации навоза / С.И. Назаров, И.А. Вороницкий, В.А. Удовеня. – Мн.: Ураджай, 1979. – 104 с.: ил.

3. Назаров С.И., Шаршунов В.А. Механизация обработки и внесения органических удобрений. Для с.-х. вузов по спец. «Механизация животноводства». – Мн.: Ураджай, 1993. – 296 с.: ил. – (Учеб. пособие для с.-х. вузов).

4. Степук Л.Я., Петровец В.Р., Подшиваленко И.Л. Механизация внесения жидких органических удобрений

– перспектива и реальность / Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный сборник. Выпуск 37, т. 1. Механизация земледелия. Минск, 2003.

5. Степук Л.Я., Подшиваленко И.Л. Обзор и анализ средств механизации внесения жидких органических удобрений / Актуальные проблемы механизации сельскохозяйственного производства: Материалы международной научно-практической конференции / БГСХА. – Горки, 2005.

6. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины. – 6-е изд., перераб. доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 527 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

7. Ключков А.В., Чайчиц Н.В., Буяшов В.П. Сельскохозяйственные машины. – Мн.: Ураджай, 1999. – 494 с.: ил. – (Учебники и учебные пособия для сельскохозяйственных высших учебных заведений).

8. Kowalewski H.H. Gülle in wachsendes Getreide. dlz 1997, Nr. 3. – S. 44-48.

9. Протокол приемочных испытаний опытного образца машины полуприцепной штанговой МЖТ-6Ш: № 47-2003/ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2003. – 33 с.

УДК 631.3-52

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 06.06.2006

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЦИФРОВЫХ ЭВМ

Ю.А. Сидоренко, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., В.А. Павловский, Е.С. Якубовская, инженеры (УО БГАТУ)

## АННОТАЦИЯ

Приведена методика идентификации объектов управления, описываемых дифференциальными уравнениями со сосредоточенными параметрами при детерминированных воздействиях. Дана общая блок-схема процесса идентификации,

*порядок идентификации, соображения о проверке гипотезы о линейности динамических характеристик, формирование гипотезы о структуре линейной и нелинейной моделей, идентификации параметров модели в рамках принятых гипотез и идентификации в рамках целостной задачи системного синтеза систем автоматического управления.*

*Сопровождено ссылкой на примеры практически выполненных работ по идентификации, давшие положительный результат при синтезе системы.*

Важнейшим этапом синтеза систем автоматического управления является получение математических моделей объекта управления и средств автоматизации (в дальнейшем объектов). При развитой теории объекта и достаточном объеме исходной информации математическая модель может быть получена аналитическим путем. На практике эти предпосылки часто не соблюдаются и приходится прибегать к идентификации объектов.

Под идентификацией понимают получение математической модели объекта на основании совместного анализа воздействий на объект и его реакции на эти воздействия.

Идентификация как получение математического описания объекта по результатам наблюдений является обширнейшей областью современной теории управления. Ввиду огромного разнообразия объектов и стоящих задач, при идентификации применяют большое количество математических методов, изложенных в разнообразной специальной литературе. Имеются и специально посвященные этой теме труды, в которых систематически изложены вопросы идентификации. К таким трудам следует отнести работы В.С. Болакирева, Е.Г. Дудникова, А.М. Цирлина, П. Эйкхоффа, Л. Льюнга [1, 2, 3] и др. В то же время на практике перед разработчиком системы автоматического управления стоит конкретная задача идентификации своего объекта управления в ограниченные сроки и ему трудно быстро сориентироваться во всем многообразии методов и применяемого при этом математического аппарата, чтобы начать практическую работу. По меткому замечанию автора фундаментального труда по вопросам идентификации Леннарта Льюнга «Практическое решение вопросов идентификации вносит в предмет «элемент искусства». Начинает играть важную роль опыт, интуиция и содержательные соображения» [1].

В статье предложена и кратко изложена методика идентификации объектов управления, описываемых дифференциальными уравнениями со сосредоточенными параметрами при детерминированных воздействиях. Именно такой случай является наиболее часто стоящей задачей при разработке замкнутых систем автоматического управления. При изложении материала упор сделан на простоту и краткость изложения, что, по нашему мнению, позволяет быстро перейти от изучения общих вопросов к практической работе. Изложение методики сопровождается ссылкой на практически выполненные работы по идентификации сложного сельскохозяйственного объекта, каковым является кормоуборочный комбайн как объект управления загрузкой его двигателя, которые дали положительный результат при синтезе системы управления. Заинтересованный

читатель может изучить эти примеры, что окажет ему большую помощь при решении его задач.

Принципиально существуют два пути получения математических моделей объектов – путем идентификации при детерминированных воздействиях и случайных воздействиях на объект.

Идентификация при детерминированных воздействиях, как правило, связана с активным экспериментом. Идентификация при случайных воздействиях – с пассивным экспериментом в условиях нормальной эксплуатации. Идентификация при случайных воздействиях основана на известной связи характеристик случайных процессов на входе и выходе объекта, дает хорошие результаты при линейных моделях и стационарных процессах на входе объекта. При выборе метода необходимо учитывать возможности, которые предоставляет идентификация с применением цифровых ЭВМ. А именно, цифровая ЭВМ позволяет вести идентификацию при произвольной форме воздействия, и, таким образом, в большинстве случаев свести ее к детерминированному методу.

Общая блок-схема процесса идентификации следующая приведена на рис.1.

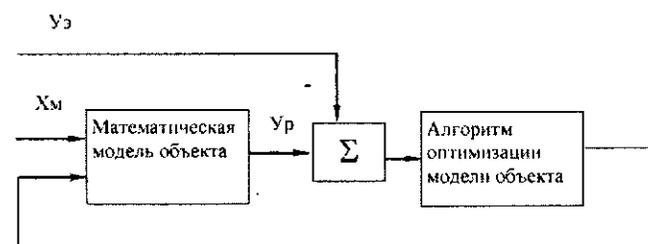


Рис. 1. Общая блок-схема процесса идентификации объекта:  $U_z$  – реакция объекта на воздействие;  $X_m$  – математическая модель воздействия;  $U_p$  – реакция математической модели

На первом этапе целесообразно получить статические характеристики объекта (однако это не всегда возможно). Получают статические характеристики в виде регрессионных моделей. Метод достаточно разработан [4,5]. Единственной особенностью является необязательность применения метода наименьших квадратов (МНК) при оценке параметров модели, поскольку на ЭВМ параметры могут быть получены одним из поисковых методов оптимизации. В последнем случае в качестве критерия оптимальности следует, как и в МНК, выбрать сумму квадратов отклонений экспериментального процесса от расчетного. Если статическую характеристику получить невозможно, то вопрос о ее форме решается в рамках системного подхода одновременно с идентификацией динамических характеристик.

А именно, формируются гипотезы о ее форме в рамках общей гипотезы о структуре модели.

### Идентификация динамических характеристик

#### 1. Проверка гипотезы о линейности динамических характеристик

Независимо от линейности или нелинейности статических характеристик, динамические характеристики могут быть линейны или нелинейны.

Причиной нелинейности динамических характеристик при линейных статических могут быть нелинейные операции с производными или наличие, например, существенных нелинейностей, последовательно соединенных с интегрирующими звеньями и охваченных отрицательными обратными связями. Примером может служить случай идентификации ходовой части комбайна [6]. Поэтому первым этапом должна явиться проверка динамических характеристик на линейность.

Наиболее просто это сделать путем исследования реакции объекта на ступенчатые воздействия различной величины и направленности. Если динамические характеристики объекта линейны, то переходные процессы являются подобными и имеет место постоянство отношений  $\Delta Y_{z,t} / \Delta Y_{z,t+1}$  для любых пар входных ступенчатых воздействий  $\Delta X_t$  и  $\Delta X_{t+1}$  для одних и тех же моментов времени. Для проверки могут быть выбраны несколько любых характерных сечений по времени. Если есть возможность поставить достаточное количество параллельных опытов, то для доказательства линейности следует проверить гипотезу о равенстве средних значений  $\Delta Y_{z,t} / \Delta Y_{z,t+1}$  в различных сечениях.

Если линейность доказана, то для идентификации может быть выбран переходный процесс для одного из наибольших воздействий.

Наиболее часто достаточное количество опытов провести или невозможно, или это требует больших затрат. Кроме того, ступенчатые воздействия вообще иногда невозможно подать на объект. В этом случае задачу идентификации следует решать как системную, тогда линейность динамических характеристик является одной из возможных гипотез.

#### 2. Формирование гипотез о структуре модели

Наиболее просто этот вопрос решается, если есть основания считать, что модель линейна.

В общем случае линейный объект может быть представлен следующей передаточной функцией:

$$W(P) = \frac{Y(P)}{X(P)} = \frac{K_0 + K_1 P + K_2 P^2 + \dots + K_m P^m}{T_n^n P^n + T_{n-1}^{n-1} P^{n-1} + \dots + T_1 P + 1} \cdot \frac{1}{P^k} \cdot e^{-\rho t}$$

На практике наиболее часто объект достаточно точно можно описать типовым статическим звеном или последовательным соединением типового статического звена с интегрирующим звеном с запаздыванием или без него.

Гипотезы о структуре объекта принимаются на основании вида переходного процесса и последовательно проверяются, начиная с наиболее простой по вышеприведенному алгоритму (рис. 1). Причем, при проверке каждой гипотезы, алгоритм оптимизации модели сводится

к алгоритму оптимизации ее параметров. Если достаточно точное представление объекта типовыми звеньями не достигнуто, то последовательно проверяется ряд гипотез с последовательным наращиванием порядка объекта. Как показывает опыт, подавляющее число объектов описываются передаточной функцией не выше 3-го порядка.

Наиболее простым случаем формирования нелинейной рабочей гипотезы является случай при линейной динамической характеристике и известной нелинейной статической характеристике. В этом случае математическая модель объекта может быть представлена последовательным соединением нелинейной статической части и линейной динамической. Гипотезы проверяются по вышеприведенной схеме.

В случаях, когда нелинейная статическая характеристика неизвестна, рассматривать объект как черный ящик уже не представляется возможным. При формировании гипотез следует привлечь максимум сведений о ее возможной форме, исходя из физической сущности объекта. Численные значения параметров статической характеристики могут быть получены при проверке гипотез путем оптимизации параметров модели.

Если динамическая характеристика нелинейна, то рассматривать объект только как черный ящик тем более не представляется возможным. Гипотезы об общей структуре объекта формируются на основании анализа процессов в конкретном объекте и проверяются при идентификации параметров. Примеры изложены в работе [6].

#### 3. Идентификация параметров моделей

При идентификации параметров моделей путем моделирования на ЦВМ целесообразно использовать экспериментальные поисковые методы. Хорошо себя зарекомендовал на практике [6] последовательный симплексный метод [5]. В качестве критерия оптимальности следует выбирать интеграл:

$$J = \int_0^t (Y_p - Y_s)^2 dt \rightarrow \min$$

где  $t$  — длительность экспериментального переходного процесса.

При моделировании на цифровых ЭВМ должен быть обоснован шаг дискретизации, поскольку от этого зависит точность расчета переходного процесса модели. Для обоснования шага дискретизации можно воспользоваться тем фактом, что при умножении шага, например в 10 раз, разность между расчетными значениями процессов с большим и меньшим шагами равна приблизительно погрешности при моделировании с большим шагом. Это позволяет подобрать шаг моделирования экспериментально путем пробных расчетов переходного процесса модели.

#### 4. Идентификация в рамках целостной задачи системного синтеза систем автоматического управления

Иногда на стадии идентификации не удается однозначно решить задачу выбора структуры и параметров

модели. Причиной могут быть недостаточная разработанность даже общей теории объекта или большие вариации параметров различных экземпляров объекта.

В таком случае целесообразно получить несколько моделей. Провести синтез системы с одной из моделей, полученных при максимальных для рассматриваемого объекта воздействиях. На последнем этапе проводится анализ системы с целью выявления влияния вариации моделей на качество системы. При синтезе замкнутых систем точность моделей может быть невелика и результат, как правило, оказывается положительным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователей: Пер. с англ./ Под ред. Я.З. Ципкина. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1991 – 432 с.

2. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления: Пер. с англ./ Под ред. Н.С. Ройбмана. – М.: Издательство «Мир», 1975. – 683 с.

3. Балакирев В.С. и др. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. – М.: Энергия, 1967. – 232 с.

4. РДМУ 109-77. Методические указания. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 64 с.

5. Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.

6. Сидоренко Ю.А. Повышение производительности самоходного кормоуборочного комбайна КСК-100 путем автоматизации управления загрузкой его двигателя: дис. канд. техн. наук: 05.12.83/ Ю.А. Сидоренко. – Минск, 1983. – 146 л.

УДК 631.363.7

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 18.05.2006

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОЧНОСТИ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ И РАЗДАЧИ КОРМОВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВОЙ СМЕСИ

**А.В. Китун, канд. техн. наук (УО БГАТУ); В.И. Передня, докт. техн. наук, профессор, (РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси»); Е.А. Мороз, студентка (УО БГАТУ)**

## АННОТАЦИЯ

Предложен вариант организации технологического процесса подготовки и раздачи кормов животным, обеспечивающий ритмичную работу всех производственных подразделений при минимальных издержках. Приведено обоснование того, что вероятность безотказной работы технологических линий, обеспечивающих приготовление кормовой смеси, будет возрастать с уменьшением числа входящих в них машин, а выдвинутый критерий выбора машин любой технологической линии позволяет определить преимущества и недостатки любого комплекта для подготовки кормов к скармливанию.

Комплексная механизация и автоматизация производственного процесса подготовки и раздачи кормов крупному рогатому скоту предполагает поточное выполнение ряда технологических операций, взаимосвязанных системой машин. При поточной организации производственного процесса продукт в результате работы предыдущей машины является исходным материалом для последующей. В этом случае операции выполняются на рабочих местах в промежутки времени, равный или кратный ритму потока. Нарушение потока в одном из звеньев может привести к значительным задержкам в последующих звеньях и, как следствие, к увеличению затрат во всем производственном процессе.

Для получения высокой стабильности всего про-

изводственного процесса подготовки и раздачи кормов животным необходимо рассмотреть его математическую модель. С точки зрения кибернетического моделирования технологический процесс можно представить в виде схемы (рис. 1), где выделены основные группы параметров, определяющих его протекание и характеризующих состояние в любой момент времени.

Из схемы, представленной на рис. 1, видно, что технологический процесс зависит от трех основных параметров – входных, возмущающих и управляющих, которые обуславливают его протекание и характеризуют состояние системы в реальных условиях, то есть определяют выходные параметры.

К входным параметрам системы относятся об-