



УДК 629.017

УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМИ МАШИННЫМИ АГРЕГАТАМИ КАК ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Лебедев А.Т. ¹д.т.н.,
Артёмов Н.П. ¹д.т.н.,
Шуляк М.Л. ¹к.т.н.,
Аюбов А.М. к.т.н.²

¹Харьковский национальный технический университет сельського хозяйства им. Петра Василенко

¹Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: 0619-421-265

Аннотация – предложено использовать физические модели многокомпонентного сложного (составного) движения для решения задач управления системой мобильных машинных агрегатов. Реализация предложенного метода возможна созданием систем автоматического управления подачей топлива в двигатели на основе сигнала линейных акселерометров.

Ключевые слова: мобильный машинный агрегат, управление, многокомпонентное сложное движение.

Постановка проблемы. Под системой мобильных машинных агрегатов понимается совокупность машин, не имеющих между собой жесткой механической связи, но совершающих согласованное относительное движение. В частных случаях это может быть последовательное перемещение нескольких машин либо по одной, либо по эквидистантным траекториям, а также – на встречных направлениях. Возникают задачи синхронизации движения элементов системы и управления изменением их взаимного расположения.

Анализ последних исследований. Сложным называется движение, при котором движение точки или твердого тела рассматривается одновременно по отношению к двум системам отсчета, из которых одна считается условно неподвижной, а другая определенным образом движется по отношению к первой. Движение, совершаемое при этом точкой (или телом), называется составным или сложным [1].

Движение подвижной системы координат относительно неподвижной получило название переносного движения, а траектория и параметры этого движения – траектории и параметров переносного



движения. К параметрам переносного движения относятся перемещение, скорости и ускорения контрольных точек подвижной системы координат относительно неподвижной [1]. Относительным движением точки или твердого тела является движение, рассматриваемое относительно подвижной системы координат. Относительно подвижной системы координат рассматриваются и траектория, перемещение, скорость и ускорение относительного движения точки или твердого тела. Параметры относительного движения получили название относительных перемещения, скорости и ускорения [1].

Движение транспортного потока в условиях напряженного городского цикла, движение автомобильной колонны по междугородней трассе, а также различные варианты совместного движения тракторов, тракторов и комбайнов, автомобилей и комбайнов при выполнении сельскохозяйственных работ можно считать движением системы мобильных машинных агрегатов. Отличие рассматриваемой системы от традиционной механической заключается в отсутствии жесткой механической связи между ее элементами (звеньями). В такой системе кинематические пары, которые в совокупности образуют кинематическую цепь, являются условными, поскольку связи между звеньями отсутствуют. В связи с этим отсутствуют и ограничения на относительное перемещение звеньев, что не соответствует положениям классической теории механизмов и машин [2].

Условные кинематические пары имеют визуальные, информационные или телемеханические связи, ограничивающие относительные перемещения звеньев системы. При проведении анализа эти связи, в первом приближении, можно считать неголономными. Систему мобильных машинных агрегатов можно рассматривать как систему точечных масс, в которой наложено ограничение на максимальное относительное перемещение звеньев (масс). В этом случае для управления движением элементов системы возможно использование законов, построенных на физической модели многокомпонентного сложного (составного) движения.

Цель и постановка задач. Разработка метода управления системой мобильных машинных агрегатов с использованием физической модели многокомпонентного сложного (составного) движения является целью исследования. В качестве примеров, иллюстрирующих предлагаемый метод, необходимо рассмотреть частный случай движения системы мобильных машинных агрегатов: синхронизация движения кормоуборочного комбайна и тракторного поезда.

Результаты исследования. Вопросы синхронизации движения тракторного поезда переменной массы и корнеуборочного комбайна рассмотрены нами ранее в работе [3]. Основное внимание в работе [3] было уделено определению взаимосвязи между изменением мощности

двигателя трактора и скоростью увеличения массы груза в тракторном прицепе по мере выполнения технологической операции. Однако задачу можно было решить иным способом. Движение комбайна [3] можно было представить, как сложное движение, причем переносным необходимо представить равномерное движение машины с заданной технологической скоростью (рис 1).



Рис. 1. Представление технологической операции в виде многокомпонентного сложного движения.

При установившемся движении относительная скорость комбайна будет колебаться относительно нуля с размахом (амплитудой) и периодом, определяемыми колебаниями тяговой силы и сил сопротивления движению. Таким образом, линейные скорость и ускорение комбайна можно представить в виде

$$\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r = \vec{V}_{\text{техн}} + \Delta\vec{V}(t); \quad (1)$$

$$\vec{V} = \vec{V}_r = \frac{d}{dt}[\Delta\vec{V}(t)], \quad (2)$$

где \vec{V}_e – переносная скорость комбайна, равная заданной постоянной технологической скорости $\vec{V}_{\text{техн}}$;



\vec{V}_r – относительная скорость комбайна, возникающая в результате случайных колебаний тяговой силы и сил сопротивления движения:

$$\dot{\vec{V}}_r = \Delta \vec{V}(t); \quad (3)$$

\vec{V}_r – относительное тангенциальное ускорение комбайна;

t – время.

Для одиночного комбайна следует говорить о стабилизации технологической скорости его движения. В этом случае целевой функцией управления будет следующая

$$\left. \begin{aligned} U = \Delta V(t) = 0 \\ \dot{U} = \Delta \dot{V}(t) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Реализовать закон управления (4) можно с использованием линейных акселерометров [3, 4], рекомендуемых рядом стандартов [5, 6] для оценки устойчивости движения транспортных средств. Реализация закона (4) представляет собой повышение устойчивости поступательного движения комбайна [7]. Таким образом, выражение (4) можно представить в виде

$$U = \int_0^{\Delta t} \dot{V}_r(t) dt = 0, \quad (5)$$

где Δt – время реакции системы стабилизации скорости движения комбайна при появлении относительного (в данном случае абсолютного) линейного ускорения.

Движение тракторного поезда также представим в виде сложного движения. В этом случае для стабилизации относительного положения двух машинных агрегатов нужно обеспечить равенство их линейных скоростей. При этом абсолютные скорость и ускорение тракторного поезда будут определяться из следующих уравнений

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_{1e} + \vec{V}_{1r} = \vec{V} + \vec{V}_{1r} = \vec{V}_{\text{техн}} + \Delta \vec{V}(t) + \vec{V}_{1r}; \quad (6)$$

$$\dot{\vec{V}}_1 = \dot{\vec{V}}_{1e} + \dot{\vec{V}}_{1r} = \dot{\vec{V}}_r + \dot{\vec{V}}_{1r} = \frac{d}{dt} [\Delta \vec{V}(t)] + \dot{\vec{V}}_{1r}, \quad (7)$$

где \vec{V}_{1e} , $\dot{\vec{V}}_{1e}$ – линейные переносные скорость и ускорение тракторного поезда;

\vec{V}_{1r} , $\dot{\vec{V}}_{1r}$ – линейные относительные скорость и ускорение тракторного поезда.

При загрузке корнеплодов из бункера комбайна на грузовую платформу прицепа [3] необходимо учесть отрицательное ускорение, обусловленное увеличением массы поезда. Это ускорение, названное в работе [3] поправочным, можно определить по формуле

$$\vec{V}_{\text{попр}} = -\frac{\vec{V}_1}{m} \cdot \frac{dm}{dt}, \quad (8)$$

где m – масса тракторного поезда в рассматриваемый момент времени;

dm/dt – скорость увеличения массы тракторного поезда (производительность комбайна).

Для тракторного поезда переменной массы

$$\vec{V}_1 = \frac{d}{dt} [\Delta \vec{V}(t)] + \vec{V}_{lr} + \vec{V}_{\text{попр}}. \quad (9)$$

В работе [3] предложена блок-схема системы автоматического регулирования синхронного движения комбайна и тракторного поезда (рис. 2).



Рис. 2. Блок-схема системы автоматического регулирования синхронного движения комбайна и тракторного поезда.

С учетом использования системы автоматического регулирования синхронного движения комбайна и тракторного поезда, приведенной на рис. 1, линейная скорость тракторного поезда может быть определена

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_{\text{техн}} + \int_0^{\Delta t} \left\{ \frac{d}{dt} [\Delta \vec{V}(t)] + \vec{V}_{lr} + \vec{V}_{\text{попр}} \right\} dt = \vec{V}_{\text{техн}} + \Delta \vec{V}(t) + \int_0^{\Delta t} \vec{V}_{lr} \cdot dt + \frac{1}{m} \int_0^{\Delta t} \vec{V}_1 dm, \quad (10)$$

где Δm – изменение массы тракторного поезда за время Δt .

Условием синхронизации движения комбайна и тракторного поезда в рассматриваемом случае (при $V_1 = V_{\text{техн}}$) будет



$$U = [\Delta V(t)]^2 + \left[\int_0^{\Delta} \vec{V}_{lr} dt + \frac{1}{m} \int_m^{m+\Delta m} \vec{V}_{техн} dm \right]^2 = 0. \quad (11)$$

Фактически уравнение (11) выражает условие равенства нулю суммы квадратов относительных ускорений многокомпонентного сложного движения системы машинных агрегатов – комбайна и тракторного поезда (аналог дисперсии отклонения скорости движения). При идеальном регулировании это дает возможность обеспечить равенство нулю суммы относительных скоростей движения.

Выводы. В результате проведенного исследования предложен метод управления движением системы мобильных машин с использованием физической модели многокомпонентного сложного (составного) движения.

Реализация предложенного метода возможна созданием систем автоматического управления подачей топлива в двигатели с использованием линейных акселерометров.

Литература

1. *Тарг С.М.* Краткий курс теоретической механики / *С.М. Тарг.* – М.: Наука, 1968. – 478 с.
2. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин / *И.И. Артоболевский.* – М.: Наука, 1975. – 640 с.
3. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / [*Артемов Н.П., Лебедев А.Т., Подригало М.А., Полянский А.С., Клец Д.М., Коробко А.И., Задорожня В.В.*]; под ред. М.А. Подригало. – Х.: Міськдрук, 2012. – 220 с.
4. Акселерометры низкочастотные линейные. Термины и определения: ГОСТ 18955-73. – [Введен в действие 1973-06-29]. – М.: Издво стандартов, 1973. – 11 с.
5. Электронные системы контроля устойчивости: ECE/TRANS/180/dd 8 – [Введены в глобальный реестр 2008-06-26] – Женева: Глобальный реестр. организация объединенных наций, 2008. – 116 с.
6. Federal Motor Vehicle Safety Standard №126 «Electronic Stability Control Systems», Office of Regulatory Analysis and Evolution, National Center for Statistics and Analysis, 2006. – 142 p.
7. Подригало М.А. Новое в теории эксплуатационных свойств автомобилей и тракторов / М.А. Подригало. – Х.: Академия ВВ МВД Украины, 2013. – 222 с.
8. *Подригало М.А.* Рациональне шикунання автомобільних колон внутрішніх військ за критерієм динамічності / *М.А. Подригало, Д.В. Абрамов, А.І. Нікорчук* // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України, 2013. – №2. – С. 61-66.



УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ МАШИННИМИ АГРЕГАТАМИ ЯК ДИНАМІЧНОЮ СИСТЕМОЮ

А.Т. Лебедєв, М.П. Артёмов, М.Л. Шуляк, А.М. Аюбов

Анотація – запропоновано використовувати фізичні моделі багатокомпонентного складного (складеного) руху для вирішення завдань управління системою мобільних машинних агрегатів. Реалізація запропонованого методу можлива створенням систем автоматичного управління подачею палива в двигуни з використанням лінійних акселерометрів.

OPERATING OF MOBILE MACHINE UNITS AS DYNAMIC SYSTEM

A. Lebedev, N. Artiomov, M. Shuljak, A. Aubov

Summary

It is proposed to solve the problems of mobile machine units system operating using of complex multi-component (composite) movement physical models. Implementation of the proposed method is possible by creating of automatic operating systems of fuel supply to the engines using linear accelerometers.