



УДК 629.017

## УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМИ МАШИННЫМИ АГРЕГАТАМИ КАК ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

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

<sup>1</sup>Харьковский национальный технический университет сельського хозяйства им. Петра Василенко

<sup>1</sup>Таврический 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:

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

$\vec{V}_r$  – 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

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

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

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

где  $\Delta t$  – 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

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

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

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).

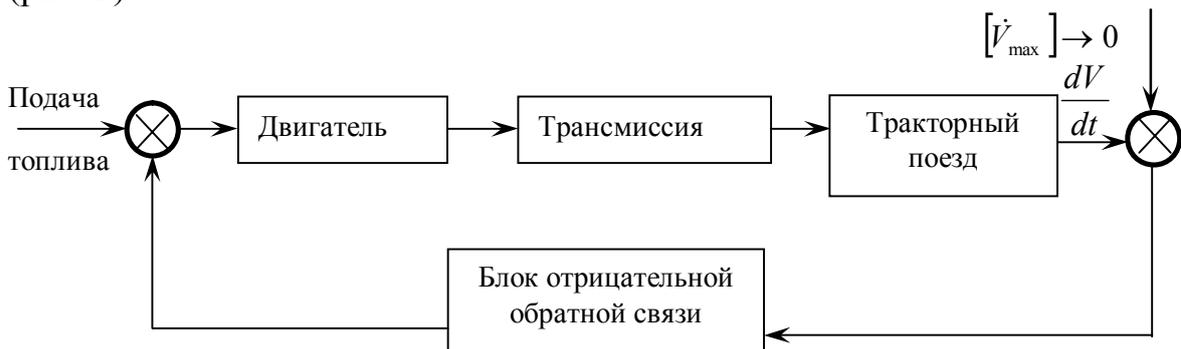


Рис. 2. Блок-схема системы автоматического регулирования синхронного движения комбайна и тракторного поезда.

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  $\Delta m$  – изменение массы тракторного поезда за время  $\Delta t$ .

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.**