



УДК. 631.354:001.891.3

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ АГРЕГАТА С ПЕРЕМЕННОЙ МАССОЙ

Леженкин А.Н., д.т.н.,

Григоренко С.М.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-68-74, 42-05-70

**Аннотация** – в статье рассмотрено движение уборочного агрегата с учетом его переменной массы. Составлено дифференциальное уравнение движения агрегата.

**Ключевые слова** – прицепной уборочный агрегат, очесывание растений, переменная масса, реактивная сила, дифференциальное уравнение, скорость движения.

*Постановка проблемы.* На сегодняшний день проблема уборки зерновых стоит наиболее остро. Парк зерноуборочных комбайнов изнашивается физически и морально. Полностью отсутствуют в эксплуатации прицепные комбайны. Выходом из создавшегося положения является создание модульной уборочной техники с рабочими органами очесывающего типа [1].

*Анализ последних исследований.* Многолетние исследования очесывающих устройств, проведенные в МИМСХ (ТГАТУ), доказали их высокую эффективность и технологическую надежность [2,3,4,5].

На основании анализа результатов [2,3,4,5], а также проведенных исследований физико-механических свойств зерновых [6,7] была разработана технологическая схема прицепного уборочного агрегата с рабочими органами очесывающего типа (рис. 1).

Уборочный агрегат (рис. 1.) включает в себя колесный трактор 1, прицепную уборочную машину с рабочими органами очесывающего типа 2 и прицеп для сбора очесанного вороха 3.

В качестве ограничений принимаем, что агрегат движется по ровному полю, заполнение прицепного средства осуществляется пневмотранспортированием вороха, изменение физико-механических свойств вороха не учитываются, изменение массы вороха и центра массы прицепа изменяется по вертикали.

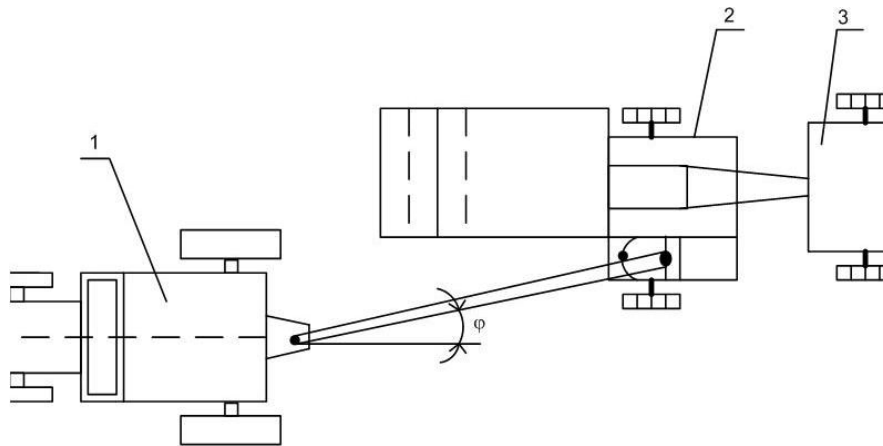


Рис. 1. Технологическая схема прицепного уборочного агрегата:  
1 – трактор; 2 – уборочная машина; 3 – прицеп.

В результате заполнения вороха масса прицепа увеличивается, следовательно, прицеп является телом с переменной массой. Поскольку прицеп является частью уборочного агрегата, то и агрегат тоже будет иметь переменную массу.

В этой связи встает проблема обоснования режимов устойчивого движения агрегата с учетом его переменной массы.

*Анализ последних публикаций.* Исследование динамики движения начал В.П. Горячкин. Предложенная им теория масс и скоростей машин связана с исследованиями динамики и устойчивости их движения [9].

Продолжил исследования в области динамики сельскохозяйственных агрегатов П.М.Василенко [10]. Применительно прицепных сельскохозяйственных агрегатов наиболее полно вопросы динамики и устойчивости их движения приведены в работах [11,12]. Вопросы динамики и устойчивости движения зерноуборочного агрегата приведены в работах [13,14,15].

Определение критической скорости движения прицепного уборочного агрегата рассмотрено в работе [16], однако агрегат рассматривался как трехзвенная система с постоянной массой. Теоретические основы динамики тел переменной массы заложены И.В. Мещерским [17].

*Формулирование целей статьи.* Рассмотреть движение прицепного уборочного агрегата с учетом переменности его массы и определить его скорость в общем виде.

*Основная часть.* Как известно, уравнение динамики точки с переменной массой имеет вид [17]

$$m \cdot \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{F} + \bar{\Phi}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса точки;

$V$  - скорость движения точки;  
 $F$  - главный вектор сил приложенных к точке;  
 $\Phi$  - реактивная сила, которая появляется за счет переменности масс.

Реактивная сила  $\Phi$  определяется из уравнения [17]

$$\bar{\Phi} = \frac{dm}{dt} \cdot (\bar{u} - \bar{V}), \quad (2)$$

где  $\frac{dm}{dt}$  – секундная подача присоединяющихся частиц;  
 $\bar{u}$  - скорость движения присоединяющихся частиц.

Уборочный агрегат можно рассматривать как механическую систему с переменной массой. Применим теорему о движении центра масс механической системы с переменной массой [2]

$$m \frac{d\bar{V}_s}{dt} = \bar{F} + \bar{R}_{кор} + \bar{R}' + \bar{\Phi} + m \frac{d\bar{V}_{Som}}{dt} + m \frac{dV_{скоп}}{dt}, \quad (3)$$

где  $\bar{F} = \sum_{k=1}^n F_k$  главный вектор внешних активных сил;

$\bar{R}_{кор} = \sum_{k=1}^n R_k$  - главный вектор кориолисовых сил;

$\bar{R} = \sum_{k=1}^{u-1} R_k$  - главный вектор вариационных сил.

$\bar{\Phi} = \sum_{k=1}^и \bar{\Phi}_k$  - главный вектор реактивных сил, связанных с присоединением частиц;

$\frac{d\bar{V}_{Som}}{dt}$  - относительное ускорения центра масс;

$\frac{d \cdot \bar{V}_{скоп}}{dt}$  - кориолисово ускорение центра масс.

Главный вектор внешних активных сил равен сумме сил сопротивления перекачиванию, движений силы трактора и силы сопротивления очесыванию растений.

Рассмотрим более подробно эти силы.

На передние колеса трактора действуют силы сопротивления перекачиванию  $\bar{S}_{A_1}$  и  $\bar{S}_{A_2}$ , их можно заменить главным вектором

сил сопротивления передних колес, который рамен  $\bar{S}_A = \bar{S}_{A1} + \bar{S}_{A2}$  (рис.2.)[18]. На задние колеса трактора действуют силы сопротивления перекачиванию задних колес  $\bar{S}_{B1}$  и  $\bar{S}_{B2}$ . Эти силы заменим главным вектором сил сопротивления перекачиванию задних колес  $\bar{S}_B = \bar{S}_{B1} + \bar{S}_{B2}$ . Общее сопротивление перекачиванию передних и задних колес трактора будет равно  $\bar{S}_T = \bar{S}_A + \bar{S}_B$ . Силы сопротивления перекачиванию уборочной машины равны  $\bar{S}_{L1}$  и  $\bar{S}_{L2}$ , заменим их главным вектором сил сопротивления перекачиванию  $\bar{S}_L = \bar{S}_{L1} + \bar{S}_{L2}$  (рис. 2.).

На передние колеса тележки действуют силы сопротивления перекачиванию  $\bar{S}_{N1}$  и  $\bar{S}_{N2}$ , главный вектор которых  $\bar{S}_N = \bar{S}_{N1} + \bar{S}_{N2}$ , а на задние колеса -  $\bar{S}_{K1}$  и  $\bar{S}_{K2}$ , при этом главный вектор сил сопротивления перекачиванию задних колес  $\bar{S}_K = \bar{S}_{K1} + \bar{S}_{K2}$ .

.Главный вектор сил перемещения прицепа будет равен  $\bar{S}_n = \bar{S}_N + \bar{S}_K$ .

При очесывании растений возникают силы сопротивления их очесыванию, главный вектор которых будет равен  $\bar{R}_o$  (рис. 2).

Для исследования движения уборочного агрегата примем следующие допущения:

- технологический процесс уборочного агрегата осуществляется при прямолинейном движении центра масс трактора;
- возможные изменения положения центра масс не учитываются;
- действием сил инерции при возможном относительном движении очесанного вороха внутри агрегата пренебрегаем;
- силами упругости шин, вызывающими их поперечный сдвиг пренебрегаем.

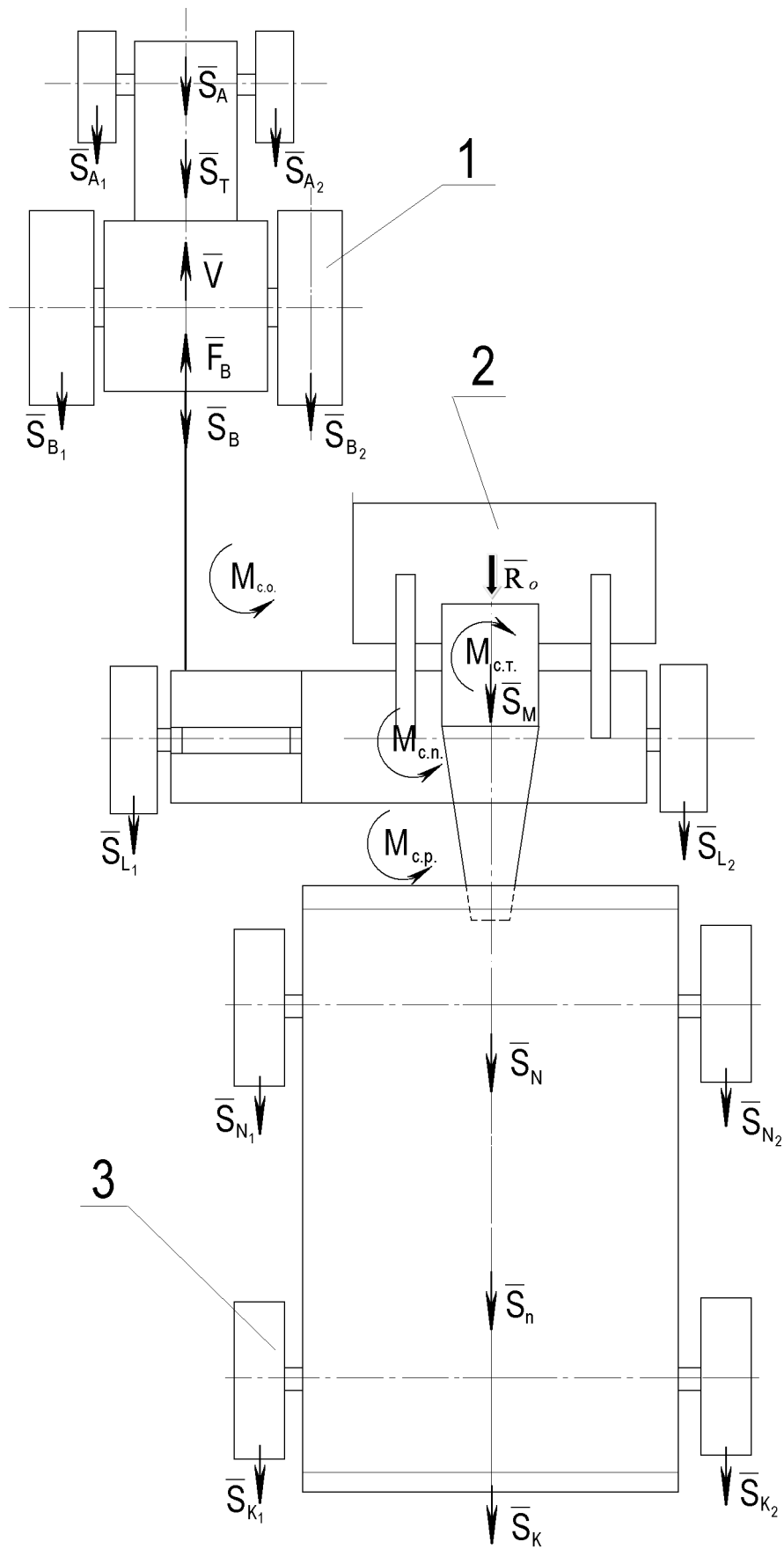


Рис. 2. Схема активных сил, действующих на уборочный агрегат

С учетом сделанных допущений получаем, что кориолисово ускорение центра масс  $\frac{d \cdot \bar{V}_{s\text{скоп}}}{dt} = 0$  и относительное ускорение центра

масс  $\frac{d\bar{V}_{S\text{Som}}}{dt} = 0$ , вследствие прямолинейности движения центра масс агрегата. Далее, главный вектор сил инерции относительного нестационарного движения частиц вороха с относительным ускорением  $\bar{a}$ , также равняется нулю ввиду сделанного допущения о пренебрежении действием сил инерции, тогда

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{F} + \frac{dm}{dt} (\bar{u} - \bar{V}), \quad (4)$$

где  $\frac{dm}{dt}$  – секундная подача, кг/с,

$$\frac{dm}{dt} = B \cdot \bar{V} \cdot Q \cdot k, \quad (5)$$

$k$  – коэффициент, учитывающий содержание соломы в ворохе;  
 $Q$  – урожайность зерна, кг/м<sup>2</sup>.

Подставим (5) в (4), получаем

$$m \frac{dV}{dt} = F + B \cdot V \cdot Q \cdot k u - BQV^2 k. \quad (6)$$

Анализ полученного уравнения дает возможность определить максимально допустимую скорость движения агрегата при изменяющейся массе транспортного средства.

*Вывод.* В результате получено дифференциальное уравнение движения агрегата с переменной массой, решение которого позволит определить критическую скорость движения уборочного агрегата.

### Литература

1. Кушнарев А.С. Энергосберегающая технология зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств /А.С.Кушнарев, А.Н.Леженкин/ перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. /ТГАТА – Мелитополь, 2003.- с.17-21.
2. Шабанов П.А. Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис. д-ра техн. наук /П.А.Шабанов; МИМСХ – Мелитополь, 1988 – 336 с.
3. Гончаров Б.И. Исследование рабочего процесса очесывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна: дис. канд. техн. наук/ Б.И.Гончаров. – М., 1982 – 217 с.

4. *Данченко И.Н.* Обоснование параметров щеточного устройства для очесывания метелок риса на корню: автореферат дис. канд. техн. наук/ И.Н.Данченко. – Челябинск, 1983. – 15 с.
5. *Голубев И.К.* Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очеса риса на корню: дис. канд. техн. наук/ И.К.Голубев; ВСХИЗО. - М., 1989. – 201 с.
6. *Леженкін О.М.* Дослідження вологості зернових культур в період прибирання / О.М. Леженкін, С.М.Григоренко//Праці/ТДАТА. – Мелітополь, 2006. – Вип.36. – с.25-28.
7. *Леженкін О.М.* Статистичний аналіз розмірно-масових характеристик зернових культур/ О.М. Леженкін, С.М. Григоренко // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2005. – Вип.26. – с.152-158.
8. *Леженкин А.Н.* Машина с очесывающим устройством/А.Н.Леженкин//Сел. Механизатор. – 2004. - №12 – с.2.
9. *Горячкин В.П.* Теория масс и скоростей сельскохозяйственных машин и орудий /В.П.Горячкин//Собрание сочинений. – т.1. – М:Колос, 1965. – с.431-465.
10. *Василенко П.М.* Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий/П.М.Василенко/ Сборник трудов по земледельческой механике. – М., 1954. – с.73-92.
11. *Гячев Л.В.* Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов/Л.В.Гячев – Ростов-на-Дону: РГУ, 1976. – 192 с.
12. *Гячев Л.В.* Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов/Л.В.Гячев. – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.
13. *Леженкин А.Н.* Устойчивость движения уборочного агрегата//Праці/ТДАТА. – Мелітополь,2007. – Вип.7, т.3 – с.77-85.
14. *Леженкин А.Н.* Динамика счесывающего агрегата при уборке зерновых культур/ А.Н.Леженкин// Механиз. и электриф. сел. хоз-ва. – 2004. - №12. – с.24-25.
15. *Леженкин А.Н.* Дифференциальные уравнения прицепного уборочного агрегата при прямолинейном и равномерном движении центра масс трактора /А.Н. Леженкин // Механизация и электрификация технологических процессов АПК/ Известия междунар. академии аграрного образования. – СПб, 2008. – Вып.6, т.1. – с.76-84.
16. *Леженкин А.Н.* К обоснованию максимальной критической скорости движения прицепного зерноуборочного агрегата очесывающего типа/ А.Н. Леженкин // Механиз. и электриф. сел. хоз-ва. – 2006. - №11. – с.29-32.
17. *Мещерский И.В.* Работы по механике тел переменной массы/ И.В.Мещерский. – М. – Л: изд. Техничко-теоретической литературы, 1949. – 275 с.
18. *Леженкин А.Н.* Методика расчета энергетических показателей уборочного агрегата для фермерских и крестьянских хозяйств/ А.Н.

Леженкин, С.М. Григоренко// Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин; Загальнодерж. міжвідомч. науково-техніч. зб. – Кіровоград, 2004. – Вип. 34. – с.167-174.

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ АГРЕГАТУ ЗІ ЗМІННОЮ МАСОЮ**

Леженкін О.М., Григоренко С.М.

*Анотація*

**В статті розглянуто рух збирального агрегату с урахуванням його змінної маси. Складено диференційне рівняння руху агрегату та на його розв'язанні отримано аналітичне вираження швидкості.**

## **MODELING OF MOVING IS PROCESS OF ASM WITH VARIABLE MASS**

*A. Lezhenkin, S. Grigorenko*

*Summary*

**Motion of collective asm to the accounts of his variable mass is considered in the article. Worked out a differential equation of motion of asm of and on his decision analytical expression of speed is got.**