

УДК 631.354:001.891.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ УБОРОЧНОГО АГРЕГАТА С ПЕРЕМЕННОЙ МАССОЙ

Леженкин А.Н., д.т.н.,

Рубцов Н.А., к.т.н.,

Григоренко С.М., инженер.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: +38(0619) 42-05-70

Аннотация – в статье приводится методика определения скорости движения прицепного уборочного агрегата с переменной массой.

Ключевые слова – прицепной уборочный агрегат, дифференциальное уравнение, очесывание растений на корню, скорость движения.

Постановка проблемы. В настоящее время уборку урожая осуществляют зерноуборочные комбайны. Однако комбайновый парк изнашивается физически и морально. Кроме этого многолетний опыт использования комбайнов в разнообразных условиях уборки позволил установить такие их недостатки, как низкая производительность на уборке влажных хлебов, зависимость качественных показателей уборки от погодных условий и большие потери зерна, половы и соломы.

К недостаткам сложившейся технологии уборки нужно отнести многократность пробега различных машин – жаток, комбайнов, автомобилей и тракторов на стерне. Их масса с каждым новым выпуском растет, а следовательно, увеличивается расход топлива на самопередвижение и разрушительное воздействие на почву их ходовых систем.

Существующие комбайны – сложные, материалоемкие, дорогостоящие машины. Пропорционально росту пропускной способности выпускаемых комбайнов уменьшается возможность их эффективного использования, что удорожает уборочный процесс.

Комбайновая технология не создает необходимых условий для повышения культуры земледелия.

Все эти недостатки вызвали необходимость разработки альтернативных технологий уборки зерновых. Наиболее эффективной из них на наш взгляд является технология уборки методом очесывания рас-

тений на корню. При этом приоритетным направлением является разработка стационарной технологии [1, 2, 3, 4]. В этом варианте уборки в поле убирается зерновая часть урожая, а на стационаре идет доработка очесанного вороха. Для сбора очесанного вороха разработана прицепная уборочная машина с рабочими органами очесывающего типа [5, 6, 7]. Уборочная машина агрегатируется трактором МТЗ-80, а сзади прицепляется прицеп для сбора очесанного вороха (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид прицепного уборочного агрегата.

При движении машины по полю очесывающее устройство очесывает растения. Воздушный поток, создаваемый очесывающими барабанами, направляет ворох в приемную камеру. Оттуда он скребковым транспортером подается в пневмотранспорт и под воздействием воздушного потока, создаваемого центробежным вентилятором, транспортируется в тележку. С течением времени масса тележки увеличивается, т.е. она является телом с переменной массой. Следовательно, весь уборочный агрегат тоже является телом переменной массы. Поэтому обоснование режимов движения уборочного агрегата с учетом переменности его массы является актуальным.

Анализ последних исследований. Теоретические основы устойчивости движения заложены Ляпуновым А.М. в работе [8]. Применительно к условиям сельскохозяйственного производства устойчивость движения агрегата рассмотрена Василенко П.М. в работе [9], а так же Гячевым Л.В. в [10, 11]. Динамика и устойчивость движения прицепного зерноуборочного агрегата приведена в [12, 13]. Критическая скорость движения прицепного зерноуборочного агрегата обоснована в работе [14]. Однако в этой работе не учитывается изменчивость массы агрегата. Основы динамики тел переменной массы заложены Мещерским И.В. [15]. В работе [16] трехзвенный агрегат рассматривается как тело переменной массы. В этой работе приведена математическая модель движения прицепного уборочного агрегата переменной массы в виде дифференциального уравнения первого порядка.

Формулирование целей статьи. Определить скорость движения прицепного уборочного агрегата переменной массы.

Основная часть. Рассмотрим дифференциальное уравнение движения уборочного агрегата [16]

$$m \frac{dV}{dt} = F + B \cdot V \cdot Q \cdot k \cdot u - B \cdot Q \cdot V^2 \cdot k, \quad (1)$$

где V – скорость движения уборочного агрегата, м/с;
 F – главный вектор сил, приложенных к уборочному агрегату, Н;
 B – ширина захвата очесывающего устройства, м;
 Q – урожайность зерна, кг/м²;
 k – коэффициент, учитывающий содержание соломы в ворохе;
 u – скорость движения присоединяющихся частиц, м/с².

Разделим левую и правую часть уравнения (1) на m

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} F + \frac{1}{m} \cdot B \cdot V \cdot Q \cdot k \cdot u - \frac{1}{m} \cdot B \cdot Q \cdot V^2 \cdot k. \quad (2)$$

Для упрощения уравнения (2) введем обозначения

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{m} \cdot B \cdot Q \cdot k, \\ a &= \frac{1}{m} \cdot F \end{aligned} \quad (3)$$

Подставляем в уравнение (2) выражения (3)

$$\frac{dV}{dt} = -bV^2 + b \cdot u \cdot V + a \quad (4)$$

Решим дифференциальное уравнение (4) для чего используем рекомендации [17].

Выполним алгебраические преобразования в правой части уравнения (4)

$$\frac{dV}{dt} = - (bV^2 - b \cdot u \cdot V - a) \quad (5)$$

Разделим переменные, для чего умножим левую и правую части уравнения (5) на dt

$$dV = - (bV^2 - b \cdot u \cdot V - a) \cdot dt \quad (6)$$

Разделим левую и правую части уравнения (6) на $(bV^2 - b \cdot u \cdot V - a)$.

$$\frac{dV}{bV^2 - b \cdot u \cdot V - a} = - dt \quad (7)$$

Проинтегрируем левую и правую части уравнения (7)

$$\int \frac{dV}{bV^2 - b \cdot u \cdot V - a} = - \int dt \quad (8)$$

В результате получим выражение

$$\frac{1}{b} \int \frac{dV}{V^2 - u \cdot V - \frac{a}{b}} = -t + c \quad (9)$$

Для интегрирования левой части уравнения (9) выполним в ней алгебраические преобразования

$$\frac{1}{b} \int \frac{dV}{V^2 - 2V \frac{u}{2} + \frac{u^2}{4} - \frac{u^2}{4} - \frac{a}{b}} = -t + c . \quad (10)$$

$$\frac{1}{b} \int \frac{dV}{\left(V - \frac{u}{2}\right)^2 - \left(\frac{u^2}{4} + \frac{a}{b}\right)} = -t + c . \quad (11)$$

$$\frac{1}{b} \int \frac{dV}{\left(V - \frac{u}{2}\right)^2 - \left(\sqrt{\frac{u^2}{4} + \frac{a}{b}}\right)^2} = -t + c . \quad (12)$$

Возьмем интеграл от левой части выражения (12)

$$\frac{1}{2b \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}} \cdot \ln \left| \frac{V - \frac{u}{2} - \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}}{V - \frac{u}{2} + \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}} \right| = -t + c . \quad (13)$$

$$\ln \left| \frac{V - \frac{u}{2} - \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}}{V - \frac{u}{2} + \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}} \right| = (c - t) \cdot 2b \cdot \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}} . \quad (14)$$

Потенцируем левую и правую части выражения (14)

$$\frac{V - \frac{u}{2} - \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}}{V - \frac{u}{2} + \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}} = e^{2b \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}} \cdot (c - t)} . \quad (15)$$

С целью упрощения выражения (15) введем следующие обозначения

$$n = -\frac{u}{2} - \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}} \\ l = 2b \cdot \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}} . \quad (16)$$

$$f = -\frac{u}{2} + \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}} .$$

С учетом обозначений (16) уравнение (15) принимает вид

$$\frac{V+n}{V+f} = e^{l(c-t)} . \quad (17)$$

Умножим левую и правую часть уравнения (17) на $(V + f)$

$$V + n = (V + f) \cdot e^{l(c-t)} . \quad (18)$$

В правой части уравнения (18) раскрываем скобки

$$V + n = V \cdot e^{l(c-t)} + f \cdot e^{l(c-t)} . \quad (19)$$

Выполним алгебраические преобразования выражения (19) и в результате определим скорость движения

$$V \cdot (1 - e^{l(c-t)}) = f \cdot e^{l(c-t)} - n$$

$$V = \frac{f \cdot e^{l(c-t)} - n}{1 - e^{l(c-t)}} \quad (20)$$

Находим постоянную интегрирования c , для чего используем начальные условия $t_0 = 0$, $V = V_0$.

$$V_0 = \frac{f \cdot e^{lc} - n}{1 - e^{lc}} \quad (21)$$

$$V_0 = (1 - e^{lc}) = f \cdot e^{lc} - n$$

$$V_0 - V_0 \cdot e^{lc} = f \cdot e^{lc} - n$$

$$V_0 + n = V_0 \cdot e^{lc} + f \cdot e^{lc}$$

$$e^{lc} (V_0 + f) = V_0 + n$$

$$e^{lc} = \frac{V_0 + n}{V_0 + f}$$

$$\ln e^{lc} = \ln \frac{V_0 + n}{V_0 + f}$$

$$l \cdot c = \ln \frac{V_0 + n}{V_0 + f}$$

$$c = \frac{1}{l} \cdot \ln \frac{V_0 + n}{V_0 + f} \quad (22)$$

В результате решения дифференциального уравнения (1) получаем выражение скорости движения

$$V = \frac{f \cdot e^{l(c-t)} - n}{1 - e^{l(c-t)}} \quad (23)$$

где

$$n = -\frac{u}{2} - \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}$$

$$f = \frac{u}{2} + \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}$$

$$l = 2b \cdot \sqrt{\frac{u^2 \cdot b + 4a}{4b}}$$

$$b = \frac{1}{m} \cdot B \cdot Q \cdot k$$

$$a = \frac{1}{m} \cdot F.$$

При $t_0 = 0$, $V = V_0$

$$c = \frac{1}{l} \cdot \ln \frac{V_0 + n}{V_0 + f}$$

Выводы.

1. Прицепной уборочный агрегат имеет переменную массу, которая увеличивается с течением времени, по мере наполнения прицепа тележки очесанным ворохом, поэтому для анализа его движения следует использовать динамику переменной массы.

2. В результате аналитических исследований получена теоретическая зависимость изменения скорости движения уборочного агрегата.

Литература.

1. *Леженкин А.Н.* Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств юга Украины/ *А.Н. Леженкин*//Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: междунар. науч. конф. – Ярославль, 2003.- 4-й.- С. 28-29.
2. *Леженкин А.Н.* Методика расчета состава и параметров уборочно-транспортного комплекса для фермерских и крестьянских хозяйств/ *А.Н. Леженкин*// Перспективы и технологии уборки зерновых культур, риса и семенников трав: сб. докл. междунар. науч. -техн. конф./ ТГАТА.- Мелитополь, 2003.- Вып. 13.- С. 171-180.
3. *Леженкин А.Н.* Уборка зерновых методом очеса/ *А.Н. Леженкин*// Сел. механизатор.- 2004.- №11. - 27 с.
4. *Леженкин А.Н.* Математические модели технологического процесса уборки зерновых культур/ *А.Н. Леженкин*// Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. Агроинженерия.- 2008.- Вып. 1(26).- С. 67-69.
5. *Леженкин А.Н.* Машина с очесывающим устройством/ *А.Н. Леженкин*// Сел. механизатор.- 2004.- №12.- С. 2-10.
6. *Леженкин О.М.* Аналіз виробничої перевірки збиральної машини для фермерських господарств/ *О.М. Леженкін, С.М. Григоренко*// Праці ТДАТА.- Мелітополь, 2007.- Вип. 7, т.2. – С. 194-202.
7. *Леженкин А.Н.* Результаты полевых испытаний уборочной машины для фермерских и крестьянских хозяйств/ *А.Н. Леженкин, С.М. Григоренко*// Техніка АПК.- 2007.- №3.- С. 30-32.
8. *Ляпунов А.М.* Общая задача об устойчивости движения/ *А.М. Ляпунов*.- М.: Гостехиздат, 1950.- 479 с.
9. *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.
10. *Гячев Л.В.* Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов/ *Л.В. Гячев*.- М.: Машиностроение, 1981.- 206 с.
11. *Гячев Л.В.* Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов/ *Л.В. Гячев*.- Ростов-на-Дону: РГУ, 1976.- 192 с.
12. *Леженкин А.Н.* Динамика очесывающего агрегата при уборке зерновых культур/ *А.Н. Леженкин*// Механиз. и электриф. сел. х-ва.- 2004.- №12.- С. 24-25.
13. *Леженкин О.М.* Стійкість руху причіпного збирального агрегату очісуючого типу/ *О.М. Леженкін*// Праці ТДАТА.- Мелітополь, 2005.- Вип.33.- С. 26-46.
14. *Леженкин А.Н.* К обоснованию максимальной критической скорости движения прицепного зерноуборочного агрегата очесывающего типа/ *А.Н. Леженкин*// Механизация и электриф. сел. х-ва.- 2006.- №11.- С. 29-32.

15. *Мещерский И.В.* Работы по механике тел переменной массы/ *И.В. Мещерский.*- М.- Л: Изд. технико-теоретической литературы, 1949.- 275 с.
16. *Леженкин А.Н.* Моделирование процесса движения агрегата с переменной массой/ *А.Н. Леженкин, С.М. Григоренко*// Науковий вісник ТДАТУ.- Мелітополь, 2012.- Вип. 2, т.2. - С. 80-86.
17. *Комке Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям/ *Э. Комке*; пер. с нем.- М.: Изд. физико-математической литературы, 1961.- 703 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ЗБИРАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ЗІ ЗМІННОЮ ШВИДКІСТЮ

Леженкін О.М., Рубцов М.О., Григоренко С.М.

Анотація

В статті наводиться методика визначення швидкості руху причіпного збирального агрегату зі змінною масою.

DETERMINATION OF MOVEMENT SPEED OF HARVESTING UNIT WITH VARIABLE-SPEED

A. Lezhenkin, N. Rubtsov, S. Grigorenko

Summary

The methods of determination of movement speed of the tractor-drawn harvesting unit with variable mass are described in the article.