

5. Ткаченко Д.И. Исследование тягово-сцепных качеств самоходного шасси класса 6кН.- Х.:1974-с.204.
6. ГОСТ 26953-86 Техника с-х мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву.- М.: Издательство стандартов, 1986.-с.15.
7. Довідник з агрономічного та агротехнічного стану ґрунтів України.- К.: Урожай, 1994.-с.333.
8. Ксеневич И.П. и др. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчёт.- М.: Машиностроение, 1991.-с.544.

#### **Анотація**

### **УТОЧНЕННЯ МЕТОДИКИ ТЯГОВОГО РОЗРАХУНКУ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА**

Ткаченко Д., Дищенко А., Колесник І., Кухаренко В., Гайдаш С., Проценко С.

*У статті на основі аналізу досліджень по негативному впливу рушіїв мобільних машин на ґрунт, запропоновано уточнену методику тягового розрахунку гусеничного просапної трактора.*

#### **Abstract**

### **REFINEMENT METHOD OF TRACTION CALCULATION CATERPILLAR**

D. Tkachenko, A. Dishchenko, I. Kolesnik, V. Kuharenko, S. Gaydash, S. Protsenko

*The article, based on analysis of studies on the adverse effects of propeller mobile machines on the ground, suggested improved technique for traction calculation crawler tractors.*

#### **УДК 631.31**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО УБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СИНХРОНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ АГРЕГАТОВ**

**Подригало М.А., д.т.н., проф.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

**Лебедев А.Т., д.т.н., проф., Кисель В. С., асп.**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенко*

*Получены уравнения движения машинно-тракторного агрегата с уборочным комбайном с применением метода парциальных ускорений.*

**Вступление.** Сахарная свекла в Украине является одной из основных культур сельскохозяйственного производства. Качество уборки сахарной свеклы имеет первостепенное значение в технологическом процессе в связи с

необходимостью получения высококачественного сырья для сахарной промышленности, которое значительно снизилось с применением энергонасыщенных уборочных комплексов.

**Анализ публикаций.** В технологическом процессе уборки сахарной свеклы машинами КС-6В, РКС-6 высота выгрузки корнеплодов транспортером в кузов транспортного средства составляет в среднем 1,5 – 2,0 м. Падая с большой высоты, 15 – 20% корнеплодов повреждается. При этом общая масса корнеплодов снижается на 1,5 – 2,5% [1]. Во время хранения поврежденные корнеплоды в первую очередь загнивают, в результате чего сахарная промышленность недобирает значительную часть сахара с свекловичного сырья. Поэтому повышение качества свекловичного сырья, которое доставляют на сахарный завод, приобретает особое значение. Часть корнеплодов, вследствие нарушения синхронности движения уборочного комплекса, а также разброса траекторий полета корнеплодов после схода их с транспортера, попадает за пределы кузова транспортного средства. Эти корнеплоды составляют безвозвратные потери. Решением этого вопроса является создание автоматических следящих систем, которые описаны в работах [2, 3, 4]. Влияние возмущающего воздействия изменения высоты горки корнеплодов в кузове транспортного средства на высоту выгрузки корнеплодов сахарной свеклы рассматривается в работах [5, 6].

**Цель и постановка задачи.** Задачей исследования является снижение потерь и повреждаемости корнеклубнеплодов при их погрузке уборочной машиной в кузов транспортного средства при синхронном движении уборочного комплекса.

**Решение вопроса.** При движении параллельным курсом элементов уборочного комплекса выгрузной транспортер корнеуборочного комбайна, перемещаясь в вертикальной плоскости, формирует насыпь корнеплодов в кузове транспортного средства до достижения определенной высоты. Периодически по мере необходимости транспортное средство перемещается вправо или влево относительно своего курса, увеличивая или уменьшая скорость своего движения. При этом кузов транспортного средства перемещается относительно выгрузного транспортера в поперечной или продольной плоскости. Во время маневра транспортного средства, на месте падения массы корнеплодов с выгрузного транспортера корнеуборочного комбайна образуются неровности, которые представляют собой тела близкие по форме к конусам. Распределение корнеплодов сахарной свеклы в кузове транспортного средства существенно зависит от маневренности, управляемости и навыков водителя транспортного средства.

Во время выгрузки корнеплодов (рис. 1) секции 3 выгрузного транспортера корнеуборочного комбайна 1 подняты достаточно высоко, чтобы транспортные средства 2 во время их смены могли свободно проезжать под ним. Транспортные средства сменяют друг друга без остановки корнеуборочной машины. Для этого кратковременно отключается привод ленты выгрузного транспортера, и корнеплоды накапливаются в бункере свеклоуборочного комбайна.

Корнеуборочный комплекс движется параллельным курсом. Выгрузной транспортер корнеуборочной машины является сепаратором и элеватором. Концевая часть транспортера может регулироваться по высоте с помощью двух гидроцилиндров (4).

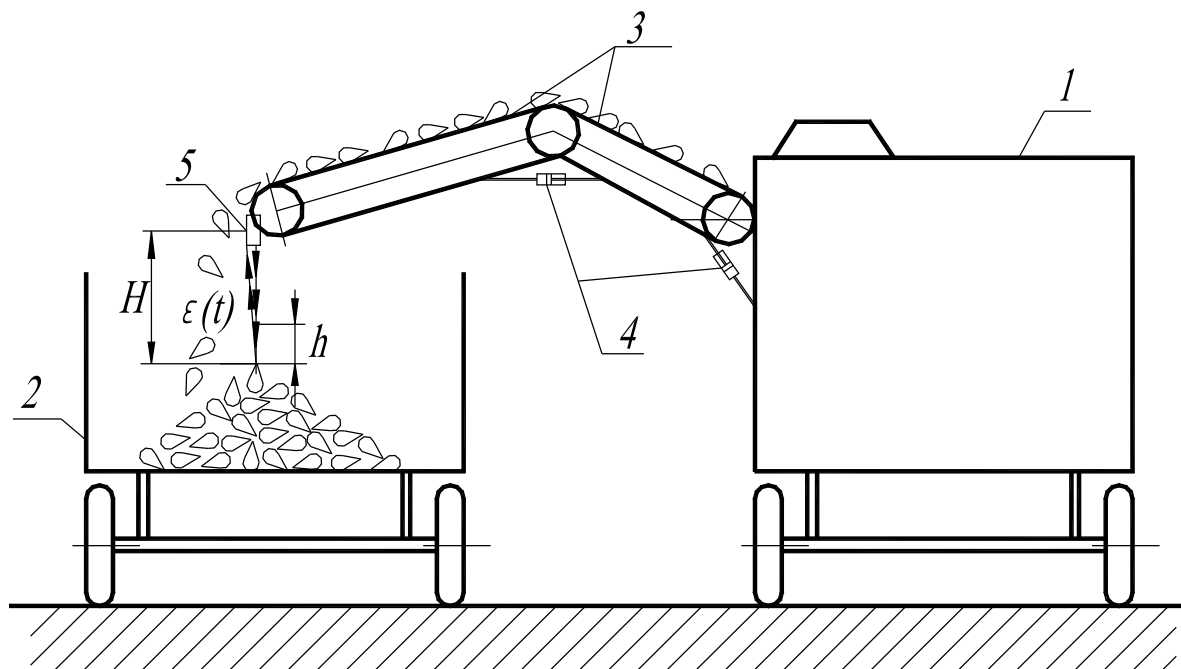


Рис. 1 – Корнеуборочный комплекс:

1 – корнеуборочный комбайн; 2 – транспортное средство; 3 – секции выгрузного транспортера; 4 – гидроцилиндры; 5 – датчик высоты.

Для автоматического регулирования высоты горки корнеплодов сахарной свеклы на концевой секции транспортера корнеуборочной машины в выгрузной части транспортера расположен датчик расстояния 5, измеряющий высоту расположения транспортера относительно дна кузова или поверхности корнеплодов, находящихся в кузове транспортного средства. При автоматическом режиме работы транспортера датчик измеряет высоту выгрузки  $H$  корнеплодов. При фактической высоте  $H_{\phi}$  больше заданной  $H_{\phi} > H_z$  секции транспортера опускаются в кузов транспортного средства до тех пор, пока фактическая высота выгрузки не будет равна заданной  $H_{\phi} = H_z$ . При этом идет постоянно подача корнеплодов выгрузным транспортером в кузов транспортного средства. Луч датчика высоты сканирует в горизонтальной плоскости кузова по закону  $\varepsilon(t)$  и измеряет высоту выгрузки до точки  $O$  поверхности корнеплодов, лежащих на оси луча датчика расстояния. Точка  $O$  перемещается в вертикальной плоскости с ростом горки корнеплодов со скоростью  $V_t$ .

Приращение объема горки корнеплодов определяется по закону

$$V_t = \frac{gt}{\gamma},$$

где:  $g$  – подача корнеплодов выгрузным транспортером, кг/с;

$t$  – время, с;

$\gamma$  – плотность вороха корнеплодов сахарной свеклы в кузове транспортного средства, кг/м<sup>3</sup>.

Поэтому мы имеем движение тела переменной массы.

Уравнение движения имеет вид:

$$\frac{d(mV)}{dt} = P_{\partial\partial} - P_c \quad (1)$$

где:  $m$  – общая масса машины,

$V$  – скорость движения,

$P_{\partial\partial}$  – движущая сила,

$P_c$  – суммарная сила сопротивления.

Отличие решаемой задачи заключается в том, что присоединяемые или отсоединяемые точки перемещаются в направлении перпендикулярном направлению движения машины.

Уравнение (1) преобразуем к виду:

$$V \frac{dm}{dt} + m \frac{dV}{dt} = P_{\partial\partial} - P_c \quad (2)$$

Из уравнения (2) определяем ускорение машины

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P_{\partial\partial}}{m} - \frac{P_c}{m} - \frac{V}{m} \frac{dm}{dt} \quad (3)$$

В выражении (3)

$$\frac{P_{\partial\partial}}{m} = \dot{V}_{\partial\partial}^{нар} - \text{парциальное ускорение, создаваемое движущей силой;} \quad (4)$$

$$-\frac{P_c}{m} = \dot{V}_c^{нар} - \text{парциальное ускорение, создаваемое силой сопротивления;} \quad (5)$$

$$-\frac{V}{m} \frac{dm}{dt} = \dot{V}_{nonp} - \text{поправка на величину ускорения, обусловленная изменением массы объекта} \quad (6)$$

Таким образом, выражение (3) с учетом (4), (5), (6) примет вид:

$$\frac{dV}{dt} = \dot{V}_{\partial\partial}^{нар} + \dot{V}_c^{нар} + \dot{V}_{nonp} \quad (7)$$

При  $\frac{dm}{dt} = 0$  величина  $\dot{V}_{nonp} = 0$

Парциальные ускорения при динамических испытаниях мобильных машин могут быть определены путем приращения действия отдельных сил.

Рассмотрим применение метода парциальных ускорений для экспериментального исследования движения машинно-тракторного агрегата (МТА) с уборочным комбайном. Скорость движения МТА должна быть синхронизирована со скоростью движения комбайна. По мере заполнения кузова прицепа корнеклубнеплодами (например, при уборке сахарной свеклы), масса прицепа и МТА возрастает. При этом сопротивление движению машины возрастает и для того, чтобы сохранить заданную скорость движения МТА необходимо увеличить движущую (тяговую) силу на ведущих колесах. Для этого необходимо увеличивать подачу топлива в двигателе, то есть повысить его эффективную мощность в процессе движения. Схема сил, действующих на тракторный агрегат приведена на рисунке 2.

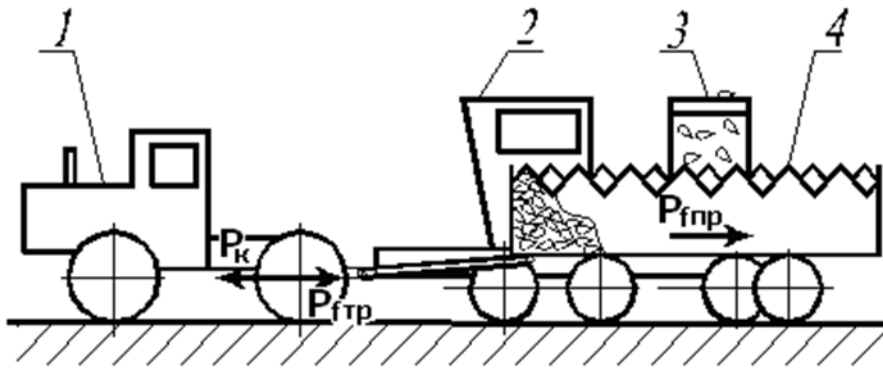


Рис. 2 – Схема сил, действующих на МТА при синхронном движении с корнеклубнеуборочным комбайном:

1 – трактор; 2 – свеклоуборочный комбайн; 3 – выгрузной транспортер; 4 – прицеп.

Уравнение движения тракторного агрегата.

$$\frac{d(mV)}{dt} = P_K - P_{fmm} - P_{fnn}, \quad (8)$$

где:  $P_K$  – тяговая сила на ведущих колесах трактора;  
 $P_{fmp}$ ,  $P_{fnp}$  – силы сопротивления качению колес трактора и прицепа;  
 $m$  – общая масса МТА,

$$m = m_{тр} + m_{пр} + m_{гр}, \quad (9)$$

где:  $m_{тр}$  – общая масса трактора,  
 $m_{пр}$  – снаряженная масса прицепа,  
 $m_{гр}$  – масса груза в прицепе.

Приведя преобразования зависимостей (8), аналогичные преобразованиям

соотношения (1), получим

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P_K}{m} - \frac{P_f}{m} - \frac{V}{m} \frac{dm}{dt}, \quad (10)$$

где:  $P_f$  – суммарная сила сопротивления качению МТА,

$$P_f = P_{fmm} + P_{fnn}, \quad (11)$$

Подставляя (9) в (10) и, учитывая, что

$$\frac{dm}{dt} = \frac{dm_{ep}}{dt} \quad (12)$$

и

$$m_{ep} = \frac{dm_{ep}}{dt} \cdot t, \quad (13)$$

получим

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P_K}{m_{mp} + m_{np} + \frac{dm_{ep}}{dt} \cdot t} - \frac{P_f}{m_{mp} + m_{np} + \frac{dm_{ep}}{dt} \cdot t} - \frac{V \frac{dm_{ep}}{dt}}{m_{mp} + m_{np} + \frac{dm_{ep}}{dt} \cdot t}, \quad (14)$$

Парциальное ускорение, создаваемое силой сопротивления качению равно всегда

$$\overset{\bullet}{V}_c^{nap} = - \frac{P_f}{m_{mp} + m_{np} + \frac{dm_{ep}}{dt} \cdot t} = -f \cdot g, \quad (15)$$

где:  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  
 $g$  – ускорение свободного падения,  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{P_K}{m_{mp} + m_{np} + \frac{dm_{ep}}{dt} \cdot t} - fg - \frac{dm_{ep}}{dt} \cdot \frac{V}{m_{mp} + m_{ep} + \frac{dm_{ep}}{dt} \cdot t} \quad (16)$$

Величина  $\frac{dm_{ep}}{dt}$  определяется производительностью

корнеклубнеуборочного комбайна и известна. Условием синхронного движения комбайна и МТА будет равенство нулю правой части уравнения (16). Определяем из этого условия

$$P_K = f_g \left( m_{mp} + m_{np} + \frac{dm_{ep}}{dt} \cdot t \right) + V \frac{dm_{ep}}{dt} \quad (17)$$

Или

$$P_K = f_g (m_{mp} + m_{np}) + \frac{dm_{zp}}{dt} \cdot (fgt + V) \quad (18)$$

Уравнение (18) определяет закон изменения тяговой силы на ведущих колесах трактора. Крутящий момент на валу двигателя, соответствующий получению требуемого условия  $P_K$  на ведущих колесах трактора:

$$M_e = \frac{P_K r_\delta}{\eta_{mp}} = \frac{r_\delta}{\eta_{mp}} \left[ fg(m_{mp} + m_{np}) + \frac{dm_{zp}}{dt} (gft + V) \right] \quad (19)$$

где:  $r_\delta$  – динамический радиус ведущих колес;  
 $\eta_{mp}$  – КПД трансмиссии,

$$\eta_{mp} = \eta_{mp}^{stat} \cdot \eta_{mp}^{din} \quad (20)$$

где:  $\eta_{mp}^{stat}$  – КПД трансмиссии статический, учитывающий потери энергии на трение;  
 $\eta_{mp}^{din}$  – КПД трансмиссии динамический, учитывающий потери энергии на разгон вращающихся масс трансмиссии и двигателя; при движении с постоянной скоростью  $\eta_{mp}^{din} = 1$ .

При экспериментальном исследовании процесса синхронного движения МТА с комбайном можно использовать датчики линейных ускорений. Тогда, при движении МТА накатом (с отключенным двигателем) и порожним прицепом можно определить парциальное ускорение, создаваемое силой сопротивления качению

$$\dot{V}_c^{nap} = \frac{dV}{dt} = -f' g, \quad (21)$$

где:  $f'$  – приведенный коэффициент сопротивления качению колес, учитывающий также потери на трение в трансмиссии трактора.

Тогда уравнение (18) с учетом (21) примет вид:

$$P'_K = \frac{dm_{zp}}{dt} \left( V - \dot{V}_c^{nap} \cdot t \right) - \dot{V}_c^{nap} (m_{mp} + m_{np}) \quad (22)$$

Величина  $P_K$  и  $P'_K$  связаны между собой соотношением

$$P'_K = \frac{P_K}{\eta_{mp}} \quad (23)$$

Поскольку при определении парциального ускорения  $\dot{V}_c^{nap}$  учитывались потери на трение в трансмиссии, следовательно, умножив левую и правую части уравнения (22) на скорость движения  $V$  получим требуемый закон

изменения эффективной мощности двигателя

$$N_e = V \left[ \frac{dm_{zp}}{dt} \left( V - \dot{V}_c^{nap} \cdot t \right) - \dot{V}_c^{nap} (m_{mp} + m_{np}) \right] \quad (24)$$

Определив парциальное ускорение  $\dot{V}_c^{nap}$  и скорость движения  $V$  с помощью измерительного комплекса, включающегося датчики линейных ускорений, а также зная  $m_{mp}, m_{np}$  и производительность комбайна  $\frac{dm_{zp}}{dt}$ , можно в каждый момент времени рассчитать потребленную мощность двигателя. Для реализации режима синхронного движения комбайна и МТА, возможно использовать программное устройство.

Выражение (16) с учетом (21) примет следующий вид:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P'_K}{m_{mp} + m_{np} + \frac{dm_{zp}}{dt} \cdot t} + \dot{V}_c^{nap} - \frac{dm_{zp}}{dt} \cdot \frac{V}{m_{mp} + m_{np} + \frac{dm_{zp}}{dt} \cdot t} \quad (25)$$

Учитывая, что:

$$P'_K = \frac{N_e}{V}, \quad (26)$$

Преобразуем выражение (25) к виду:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\frac{N_e}{V} - V \frac{dm_{zp}}{dt}}{m_{mp} + m_{np} + \frac{dm_{zp}}{dt} \cdot t} + \dot{V}_c^{nap} \quad (27)$$

**Вывод.** Полученные дифференциальные уравнения движения корнеклубнеуборочной машины с МТА могут служить основой для обоснования закономерностей процесса синхронного движения уборочного комплекса и выгрузки корнеклубнеплодов транспортером в конкретных условиях эксплуатации уборочной машины.

### Список использованных источников

1. Справочник по эксплуатации свеклоуборочных комплексов / А.М. Мазуренко, И.И. Русанов, В.И. Сухомлин и др.; Под ред. А.М. Мазуренко. – К.: Урожай, 1984. – 128 с.
2. С.Н. Никитин К.Б. Цаллагов С.К. Майрамуков Математическая модель автоматических манипуляторов для сортировки, сепарации и выгрузки картофеля на уборочном комбайне /Сб. научн. тр. Автоматизация технологических процессов в полеводстве, т. 10, ВИМ, М., 19785, – 176 с.
3. И.Б. Корчмарь, С.А. Лебедев, С. А. Поляшенко и др. Устройство



автоматического управления процессом загрузки кузова транспортного средства Пат. № 19940 Россия, МКИ А01В 69/00 "№ 4938674/15; Заявлено 24. 03. 91; Опубл. 30. 09. 94, Бюл. № 18

4. А.Т. Лебедев, С. А. Поляшенко Система автоматичного керування вивантажувальним транспортером коренеклубнезбиральної машини // Декл. пат. № 71849 Україна, МКИ А01В69/00, № 20031213156; Заявлено 30. 12. 2003; Опубл. 15. 12. 2004, Бюл. № 12
5. И.Б. Корчмарь Снижение повреждаемости корнеплодов сахарной свеклы в технологическом процессе уборки на основе автоматизации выгрузного транспортера корнеуборочной машины Автореферат диссертации... канд. техн. наук - Харьков, ХИМЭСХ, 1988, – 23 с.
6. С.А. Поляшенко Возмущающие воздействия технологического процесса уборки корнеплодов сахарной свеклы при погрузке их транспортером корнеуборочной машины, // Сб. науч. тр. Тракторная энергетика в растениеводстве - Харьков, ХГТУСХ, 1998, с. 324 – 328
7. Корн Г. Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) – М., Наука, 1973, – 831 с.
8. В.Д. Шеповалов Автоматизация уборочных процессов. – М., Колос, 1969, – 312 с.
9. Л.З. Румшинский Элементы теории вероятностей. – М., Наука, 1970, – 256 с.

#### **Анотація**

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗБИРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ НА ОСНОВІ СИНХРОНІЗАЦІЇ РУХУ АГРЕГАТІВ**

Подригало М., Лебедев А., Кисіль В.

*Отримані рівняння руху машинно-тракторного агрегату зі збиральним комбайном із застосуванням методу парціальних прискорень.*

#### **Abstract**

### **AN INCREASE OF EFFICIENCY OF WORK OF AGRICULTURAL COLLECTIVE COMPLEX IS ON THE BASIS OF SYNCHRONIZATION OF MOTION OF AGGREGATES**

M. Podrigalo, A. Lebedev, V. Kisel'

*Equalizations of motion of aggregate are got with a collective combine with application of method of partials accelerations.*