

**Поляшенко С.А.**

Харьковский национальный  
технический университет  
сельского хозяйства  
имени Петра Василенка,  
г. Харьков, Украина

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

УДК 621.436:004.8

*Самой трудо- и энергоемкой частью технологии машинного производства картофеля является процесс уборки, который осуществляется в основном комбайнами. Современные картофелеуборочные машины обеспечивают требуемые показатели эффективности в благоприятных условиях эксплуатации. В неблагоприятных условиях (которые, в первую очередь, характеризуются повышенной или пониженной влажностью почвы) полнота сепарации клубней от примесей снижается, а потери и повреждения продукции растут. Данная ситуация связана с несовершенством сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин. В процессе машинной уборки на сепарирующих рабочих органах отсеивается до 1000 тонн почвы с 1 га. Вследствие этого производительность картофелеуборочных комбайнов в целом определяется пропускной способностью их сепараторов. Учитывая тот факт, что каждый технологический элемент комбайна в процессе функционирования потребляет определенную мощность, можно говорить о формировании баланса мощности комбайна и возможности определения составных последнего.*

**Ключевые слова:** энергоемкость, самоходный картофелеуборочный комбайн, показатели работы, производительность

**Введение.** Технологический процесс самоходного картофелеуборочного комбайна считается оптимальным, если отсев мелкой фракции почвы заканчивается в конце сепарирующих органов (после третьего элеватора), а содержание крупных примесей (не способных разрушаться и отсеяться на сепарирующих органах) в оставшейся клубненоносной массе не превышает пропускной способности выгрузного транспортера.

Однако в условиях эксплуатации происходит отклонение выполняемого технологического процесса от оптимального, приводящее к снижению качественных показателей работы и производительности комбайна. Установим причины нарушений технологического процесса.

Причины, вызывающие неравномерность загрузки комбайна и ведущие к нарушению технологического процесса, многочисленны и разнообразны, они разделяются на внешние и внутренние. Внешние вызывают изменение затрат энергии комбайна на передвижение, подкапывание картофельных грядок и загрузку рабочих органов клубненоносной массой в процессе эксплуатации.

К ним относятся неравномерность подачи клубненоносной массы в комбайн, изменение ее физико-механических свойств, состава и др.

Главной специфической особенностью работы картофелеуборочных машин является широкая динамическая вариация почвенно-климатических и хозяйственных условий, вследствие чего такие показатели уборки, как производительность, потери, чистота, повреждения клубней могут значительно меняться (на порядок и более).

**Анализ последних публикаций по теме исследований.** Современные картофелеуборочные машины в общем виде представляют собой сложный технологический механизм, состоящий из отдельных технологических блоков, среди которых можно выделить подкапывающие, сепарирующие рабочие органы, устройства для накопления и выгрузки продукции и т.д.

Все многообразие и сложность конструкции является результатом научно-технического прогресса от ручного возделывания культуры до технологий и техники «умного земледелия» [1 – 3]. Причем эффективность работы всей системы непременно будет зависеть от слаженности функционирования каждого из приведённых выше отдельных технологических блоков.

В общем случае картофелеуборочный комбайн обеспечивает требуемые показатели эффективности функционирования при благоприятных условиях эксплуатации [1, 2]. В неблагоприятных условиях эксплуатации полнота сепарации клубней от примесей снижается, а потери и повреждения продукции растут [4].

Данная ситуация связана в первую очередь с несовершенством сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин [5, 6]. Так подавляющее большинство повреждений клубней возникает от взаимодействия с неупругими поверхностями рабочих органов, например, с жесткими боковинами рамы комбайна.

Причем ситуация усугубляется тем, что основная масса почвы отсеивается на первом элеваторе (до 90%), а на последующие – поступают преимущественно клубни с растительными примесями (повышая тем самым вероятность получения травмы клубнем) [6]. Кроме того, в зависимости от загруженности элементов комбайна, изменяется энергоэффективность последнего.

**Цель исследований:** Синтез теоретического метода определения составляющих баланса мощности картофелеуборочного комбайна.

**Основной материал.** Баланс мощности картофелеуборочного комбайна можно представить уравнением

$$N_e = (N_f + N_{кр})(1 - \tau_\sigma) + \sum_{\sigma=1}^m N_{mp} + \sum_{i=1}^n N_{po}, \quad (1)$$

где  $N_f$  – мощность, затрачиваемая на перекачивание, кВт;  $N_{кр}$  – мощность, затрачиваемая на подкоп грядки, кВт;  $\sum_{\sigma=1}^m N_{mp}$  – суммарная мощность, затрачиваемая на трансмиссию, кВт;  $\sum_{i=1}^n N_{po}$  – суммарная мощность, затрачиваемая на рабочие органы, кВт;  $\tau_\sigma$  – коэффициент, учитывающий потери от буксования движителя.

Рассмотрим более подробно составляющие уравнения (1).

Для самоходных машин, а картофелеуборочных в особенности, силы сопротивления перекачиванию, подкосу грядок и т.д. достигают больших величин, что приводит к необходимости учитывать потери на буксование. Тогда

$$N_f = 10^{-3} fmgV_\kappa(1 - \tau_\sigma). \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент перекачивания;  $m$  – масса комбайна, кг;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $V_\kappa$  – рабочая скорость движения комбайна, м/с.

Мощность, затрачиваемая на подкоп грядок [1], определяется уравнением

$$N_{кр} = 10^{-3} \kappa \left\{ \left[ (tg\varphi \cos\alpha) + \frac{\sin\psi \sin(\alpha + \varphi)}{\cos\varphi \sin(\alpha + \varphi)} \right] F\rho gl + \frac{F\rho V_\kappa^2}{2} \right\} V_\kappa, \quad (3)$$

где  $\kappa$  – количество подкапываемых грядок;  $F$  – площадь сечения подкапываемой грядки, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  – длина лемеха, м;  $\alpha$  – угол наклона лемеха, град.;  $\varphi$  – угол трения, град.;  $\psi$  – предельный угол скалывания, град.

Мощность, затрачиваемая на привод основных рабочих органов в самоходном картофелеуборочном комбайне

$$\sum_{i=1}^n N_{po} = N_{1з} + N_{2з} + N_{3з} + N_{\kappa} + N_{\delta n} + N_g + N_з + N_{\delta y} + N_c, \quad (4)$$

где  $N_{1з}$ ,  $N_{2з}$ ,  $N_{3з}$  – мощность, затрачиваемая соответственно на первый, второй, третий элеваторы;  $N_{\kappa}$  – мощность на привод комкочувствителей;  $N_{\delta n}$  – мощность на привод барабана подъемного;  $N_c$  – мощность на привод транспортера переборочного стола;  $N_g$  – мощность на привод выгрузного транспортера;  $N_з$  – мощность на привод транспортера загрузки;  $N_{\delta y}$  – мощность на привод ботвоудаляющего устройства.

Мощность на первом (основном) элеваторе расходуется на движение полотна элеватора и перенос технологической массы и их встряхивание, сообщение скорости технологической массе определяется по формуле

$$N_{1з} = 10^{-3} \left[ \frac{Q(V_1 - V_{\kappa})V_1}{V_{\kappa}} + (G_1 + G_2)l_1 E \cos \gamma v \tau \right] V_1 + \frac{Q(V_1 - V_{\kappa})^2}{2} + (m_1 + m_2)gL \sqrt{\frac{\cos \gamma}{\alpha}}, \quad (5)$$

где  $Q$  – загрузка комбайна технологической массой, кг/с;  $V_1$  – линейная скорость перемещения звеньев основного элеватора, м/с;  $G_1 = m'g$  – вес одного погонного метра технологической массы, Н/м;  $G_2 = m''g$  – вес одного погонного метра звеньев, Н/м;  $l_1$  – длина сепарирующей поверхности элеватора, м;  $v$  – коэффициент, учитывающий трение в подшипниках;  $\tau$  – коэффициент, учитывающий силы сопротивления звеньев при их перегибах на натяжной и направляющей звездочках;  $\gamma$  – угол наклона элеватора, град.;  $E$  – коэффициент сопротивления движению [2];  $m_1$  – встряхиваемая технологическая масса на длине  $L$ , кг;  $m_2$  – встряхиваемая масса звеньев на длине,  $L$  кг;  $\alpha$  – длина ударной части встряхивателя, м.

Мощность, расходуемая на рабочие органы типа элеваторов и транспортеров, рассчитывается по уравнению (5) с учетом изменения количества технологической массы (по закону сепарации) [3] и сил сопротивления.

Расход мощности на комкочувствители [3] складывается из мощности, затрачиваемой на затаскивание и уплотнение технологической массы, и мощности приведения в движение баллонов и определяется по формуле

$$N_{\delta} = 10^{-3} j \left\{ f_{mp} R \sqrt{\left[ \frac{E(a_1 - a_2)^2}{a_1} b \right]^2 + \left( E \frac{b}{a} R^2 \right)^2} \cdot \omega + \frac{1}{4} m_{\delta} (R^2 + r^2) \frac{10^2}{2t} \right\}, \quad (6)$$

где  $j$  – количество баллонов;  $f_{mp}$  – коэффициент трения;  $R$  – наружный радиус баллона, м;  $r$  – внутренний радиус баллона, м;  $m_{\delta}$  – масса баллона, кг;  $E$  – модуль упругости массы, Н/м<sup>2</sup>;  $a_1$  – толщина поступающего слоя, м;  $a_2$  – толщина выходного слоя, м;  $b$  – ширина баллона, м;  $t$  – время пуска баллонов, с;  $\omega$  – угловая скорость баллона, рад/с. Мощность, затрачиваемая на подъемный барабан, расходуется на преодоление сил сопротивления вращению ведущей звездочки и сопротивления загрузки технологической массой и определяется по формуле

$$N_{\delta n} = 10^{-3} \sqrt{\left[ \frac{n(m_3 m_4) g}{\cos \theta} \right]^2 + \left[ (m_3 + m_4) g H H_{np} + (m_3 + m_4) V_{\delta}^2 \right]} \cdot V_{\delta}, \quad (7)$$

где  $n$  – длина зацепления, м;  $m_3$  – масса барабана, приходящаяся на ведущую звездочку, кг/м;  $m_4$  – технологическая масса, поступающая на лопасти барабана в единицу времени, кг/м;  $f_{mp}$  – коэффициент трения;  $H$  – высота поднятия массы, м;  $\theta$  – угол между

нормалью к ведущей звездочке и вертикальной осью барабана, град.;  $V_6$  – линейная скорость барабана, м/с.

В качестве примера (как наиболее показательного) приведен расчет затрат мощности для первого элеватора при рабочей скорости движения комбайна 0,8 м/с, глубине подкопа грядок 0,20 м, влажности 14,9%, поверхностной плотности почвы 15,1 кг/см<sup>2</sup> (взято по данным агрооценки экспериментальных исследований).

Из литературы [3] известно, что при скорости 0,8 м/с загрузка комбайна массой с одной грядки составит 200 кг/с. Количество массы, приходящейся на 1 п.м., составит 100 кг, а звеньев 10 кг. Также, согласно [2] и [3] можно принять:  $\varepsilon = 1,1$ ;  $V = 0,7$ ;  $\xi = 0,75$ . Длина сепарирующей поверхности равна 1,95 м. Угол наклона элеватора 20°.

Подставив числовые значения в уравнение (5) (учтя, что самоходном комбайне две секции элеваторов), получим

$$N_{13} = 4 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{200(1,7 - 0,8) \cdot 1,7}{0,8} + (100 + 10) \cdot 9,8 \cdot 1,95(1,1 \cdot 0,93 + 0,34) \right] \cdot 0,7 \cdot 0,75 \cdot 1,7 + \frac{200(1,7 - 0,8)^2}{2} + (50 + 10)9,8 \cdot 1,0 \sqrt{\frac{0,34}{0,15}} = 17,2$$

**Выводы.** Из результатов экспериментальных исследований самоходного картофелеуборочного комбайна КСК-4 затраты мощности для первого элеватора составили 13,06 кВт.

Проведенные исследования показали возможность использования предлагаемых формул для расчета мощности, потребной на выполнение технологического процесса многорядными самоходными картофелеуборочными комбайнами, учитывая при этом потери мощности на буксование движителей и затраты мощности на встряхивание технологической массы.

### Литература:

1. Основные тенденции развития высокопроизводительной техники для картофелеводства / Н.Н. Колчин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – С. 46-51.
2. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин: учебное пособие / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, А.А. Сорокин [и др.]. – Рязань: Изд-во ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2005. – 282 с.
3. Голиков, А.А. Перспективные направления развития сепарирующих устройств корнеклубнеуборочных машин / А.А. Голиков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2013. - № 20. - С. 103-105.
4. Голиков А.А. Совершенствование технологического процесса и рабочего органа сепарации картофелеуборочных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Голиков. – Рязань, 2014. - 138 с.
5. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля [Электронный ресурс] / Г.К. Рембалович [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. – №88. - С. 509 – 518.
6. Успенский, И.А. Основы совершенствования технологического процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / И.А. Успенский. – М., 1997. - 36 с.
7. Лебедев А.Т. Динамічна модель ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів з пасивними робочими органами у складі енергетичного засобу зі здвоєними шинами / Лебедев А.Т., Калінін Є.І. // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС. – 2010. – Вип. 2(83). – С. 109 – 115.

8. Є.І. Калінін Динаміка коренезбиральної машини з системою підтримання глибини ходу робочих органів / Калінін Є.І., Поляшенко С.О., Єсіпов О.В. // Інженерія природокористування. – Х.: ХНТУСГ. – 2017. – №2(8). – С. 63-68

### Summary

#### S. Polyashenko Formation of energy intensity of potato harvesters

*The most labor-intensive and energy-intensive part of the technology of machine production of potatoes is the harvesting process, which is mainly carried out by combines. Modern potato harvesters provide the required performance indicators in favorable operating conditions. In unfavorable conditions (which, in the first place, are characterized by high or low soil moisture), the completeness of the separation of tubers from impurities decreases, and the losses and damage to products increase. This situation is related to the imperfection of the separating working organs of potato harvesters. In the process of machine harvesting, up to 1000 tons of soil per hectare are screened on the separating working organs. As a result, the productivity of potato harvesters is generally determined by the throughput of their separators. Taking into account the fact that each technological element of the combine harvester consumes a certain power in the process of operation, it is possible to talk about forming a balance of the combine's power and the possibility of determining the latter's composite.*

**Keywords:** energy intensity, self-propelled potato harvester, performance indicators, productivity

### References

1. Osnovnye tendencii razvitiya vysokoproizvoditelnoj tehniki dlya kartofelevodstva / N.N. Kolchin [i dr.] // Traktory i selhozmashiny. – 2012. – S. 46-51.
2. Principy i metody rascheta i proektirovaniya rabochih organov kartofeleuborochnyh mashin: uchebnoe posobie / N.V. Byshov, I.A. Uspenskij, A.A. Sorokin [i dr.]. – Rya-zan: Izd-vo FGBOU VPO RGATU, 2005. –282 s.
3. Golikov, A.A. Perspektivnye napravleniya razvitiya separiruyushih ustrojstv korne-klubneuborochnyh mashin / A.A. Golikov // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agro-tehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. - 2013. - № 20. - S. 103-105.
4. Golikov A.A. Sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa i rabocheho organa separacii kartofeleuborochnyh mashin: dis. ... k.t.n: 05.20.01 / A.A. Golikov. – Ryazan, 2014. - 138 s.
5. Povyshenie ekspluatacionno-tehnologicheskikh pokazatelej transportnoj i speci-alnoj tehniki na uborke kartofelya [Elektronnyj resurs] / G.K. Rembalovich [i dr.] // Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2013. – №88. - S. 509 – 518.
6. Uspenskij, I.A. Osnovy sovershenstvovaniya tehnologicheskogo processa i snizheniya energozatrat kartofeleuborochnyh mashin: avtoref. dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.20.01 / I.A. Uspenskij. – M., 1997. - 36 s.
7. Lebedyev A.T. Dinamichna model gruntoobrobnih mashinno-traktornih agregativ z pasivnimi robochimi organami u skladi energetichnogo zasobu zi zdvojenimi shinami / Le-bedyev A.T., Kalinin Ye.I. // Sistemi obrobki informaciyi. – H.: HUPS. – 2010. – Vip. 2(83). – S. 109 – 115.
8. Ye.I. Kalinin Dinamika korenezbiralnoyi mashini z sistemoyu pidtrimannya glibini ho-du robochih organiv / Kalinin Ye.I., Polyashenko S.O., Yesipov O.V. // Inzheneriya prirodokoristuvannya. – H.: HNTUSG. – 2017. – №2(8). – S. 63-68.