

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕПАРИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

*Шило И.Н., д.т.н., профессор; Романюк И.Н., к.т.н., доцент;  
Клавсуть П.В.*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск*

Картофель – важнейшая сельскохозяйственная культура, обеспечивающая питание населения и продовольственную независимость страны. В мировом производстве он занимает четвертое место среди продуктов питания после пшеницы, кукурузы и риса. Являясь ценным источником высококачественного протеина, витаминов, минералов и углеводов, картофель в некоторых странах является одним из главных продуктов питания растительного происхождения для человека [1].

В мировом производстве картофеля задействовано около 18 млн. га посадочных площадей. Большая часть этих площадей приходится на территорию бывшего Советского Союза – около 6,6 млн. га, на территорию Европы – около 5,3 млн. га, а также Азии – около 4,3 млн. га [1].

Значимость картофеля подчёркивают объёмы его потребления. Так, в Российской Федерации выращивается более 200 кг в год на человека, в Великобритании – 90, в Нидерландах – 150, во Франции – 100 [2], в Беларуси – 790–1125 кг [3].

Урожайность по Европе составляет в среднем около 20 т/га, в Великобритании – около 35, во Франции – около 30, лидирующее место занимают Нидерланды – более 40, в США – около 37 т/га [2].

Увеличение валового сбора картофеля и повышение эффективности производства (снижение себестоимости, повреждений и потерь клубней) крайне важно для Беларуси, где имеются благоприятные почвенно-климатические условия для его произрастания и большие перспективы развития сельского хозяйства и рынка сбыта выращенной продукции. Снижение себестоимости производимой продукции (картофеля), количества повреждений и потерь клубней можно добиться не только использованием новых сортов этой культуры, но и применением различных современных технологий и средств механизированной уборки.

Особенности произрастания картофеля осложняют механизированную уборку. Единственно возможным способом его извлечения из почвы является выкапывание клубней вместе с почвенным пластом, вес которого в 100 и более раз превышает вес содержащегося в нем картофеля, поэтому наиболее трудоемким этапом возделывания является уборка – 35–70%

всех трудозатрат и 40–60% энергозатрат. Перспектива роста урожайности картофеля до 40 т/га потребует высокой производительности всех рабочих органов картофелеуборочных машин, в том числе и сепарирующих, что приведет к необходимости их усовершенствования, а также к увеличению парка комбайнов [4, 5].

Современные картофелеуборочные машины, в особенности производства Российской Федерации, не обеспечивают выполнение агротехнических требований: чистоту клубней в таре 97–100 %, их повреждения до 5% и потери до 4–6% [5]. Основной выход из подобной ситуации – это разработка и внедрение высокопроизводительных и надежных рабочих органов, обеспечивающих минимальный уровень повреждений и потерь урожая, которые унифицированы с картофелеуборочными машинами, выпускаемыми отечественной промышленностью.

Прутковый элеватор является одним из важнейших рабочих органов картофелеуборочной машины. Он предназначен для перемещения подкопанной массы с одновременной сепарацией почвы. Элеватор представляет собой бесконечное решетчатое полотно, состоящее из расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга прутков, скрепленных цепями или ремнями. Верхняя (рабочая) ветвь полотна для интенсификации сепарации почвы встряхивается установленными под ветвью специальными устройствами – встряхивателями. Это позволяет перемещать компоненты технологического вороха (почва, почвенные комки, клубни, камни, ботва) в режиме с подбрасыванием. При соударении подброшенной почвы с полотном элеватора происходит ее разрушение на частицы, способные просеяться. При этом, однако, повреждение клубней картофеля на элеваторах с серийными встряхивателями традиционной конструкции может достигать 30% [6, 7]. Поэтому за показатели эффективности работы элеватора следует принять как интенсивность сепарации почвы, так и степень сохранности клубней.

Установлено, что эти показатели зависят от скорости соударения компонентов вороха с полотном. Отклонение скорости соударения от допустимого значения в сторону уменьшения вызывает ухудшение сепарации, в сторону увеличения – сопровождается существенным ростом повреждений клубней  $v_d = 2,2$  м/с [6, 7]. Рост повреждений может также вызываться встречным ударом – падением клубней на поднимающееся полотно [8]. Следовательно, за критерии работы встряхивателей могут быть приняты следующие соотношения:

1) скорость соударения  $v_c$  компонентов вороха с полотном должна быть приблизительно постоянна и соответствовать допустимому значению

$$v_c \approx v_d = \text{const}; \quad (1)$$

2) скорость полотна во время падения  $v_1$  близка к нулю или направлена вниз (встречный удар отсутствует)

$$v_1 \approx 0, \quad (v_1 < 0). \quad (2)$$

Выясним, каким образом можно добиться выполнения этих условий. Так как рабочая ветвь полотна может рассматриваться как гибкое звено, его колебания описываются уравнением

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v_e \frac{\partial v}{\partial x} - q^2(t) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0, \quad (3)$$

где  $v = v(x, t)$  – нормальная скорость рабочей ветви в сечении с продольной координатой  $x$  в некоторый момент времени  $t$ ;  $v_e$  – линейная скорость полотна элеватора;  $y = y(x, t)$  – нормальное перемещение полотна в сечении  $x$  в момент времени  $t$ ;  $q^2(t)$  – величина, пропорциональная натяжению полотна в момент  $t$ .

Пусть встряхиватель действует в некотором сечении  $x = x_r$ , сообщая полотну в этом сечении нормальные колебания со скоростью  $v_r(t)$ . Тогда из уравнения (3) следует

$$v(x, t) \approx v_r(t) + \frac{x_r - x}{t - t'} \frac{v_r(t) - v_r(t')}{v_e - q(t)}. \quad (t' < t). \quad (4)$$

Условие подбрасывания технологического вороха имеет вид [3]

$$\frac{dv_r}{dt} < -g \cos \alpha; \quad v_r > 0, \quad (5)$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $\alpha = 22 \dots 25^\circ$  – угол наклона элеватора.

Рассмотрим подбрасывание вороха на элеваторе с серийным встряхивателем в момент времени  $t$ . Так как величина  $v_r(t)$  непрерывно меняется, то в силу условия (5) имеет место  $v_r(t) < v_r(t')$ . Тогда из соотношения (4) следует

$$v(x, t) \neq v_r(t); \quad v(x_1, t) \neq v(x_2, t), \quad (x \neq x_r, \quad x_1 \neq x_2).$$

Следовательно, компоненты вороха, расположенные в зоне над встряхивателем и вне ее, подбрасываются с неодинаковой скоростью и находятся в полете различное время, их падение на полотно происходит не одновременно и с различными скоростями, что подтверждается и результатами исследований [9]. Так как нормальная скорость полотна  $v$  непрерывно меняется и при этом неодинакова по длине элеватора, исключить встречный удар затруднительно, а скорость соударения как функция времени представляет собой неуправляемый процесс.

Таким образом, для выполнения условия (1) необходимо, чтобы в течение некоторого промежутка времени  $[t', t'']$ , предшествующего подбрасыванию скорость колебаний полотна над встряхивателем была постоянна

$$v_r(t) = \text{const}, \quad t \in [t', t'']. \quad (6)$$

Тогда из формулы (4) следует

$$v(x_1, t'') = v(x_2, t'') = v_r(t'').$$

При  $t > t''$  величина нормального ускорения должна совершить скачок от нуля до значения, соответствующего условию (5)

$$\begin{cases} \frac{dv_r}{dt} = 0, & t \leq t''; \\ \frac{dv_r}{dt} < -g \cos \alpha, & t > t''. \end{cases} \quad (7)$$

Аналогично для выполнения условия (2) из формулы (4) вытекает необходимость существования промежутка времени  $[t_1', t_1'']$ , включающего момент падения вороха на полотно, в течение которого

$$v_r(t) = 0, \quad t \in [t_1', t_1'']. \quad (8)$$

Это влечет за собой

$$v(x, t_1'') = 0.$$

Таким образом, закономерности оптимального воздействия встряхивателя на рабочую ветвь описываются формулами (6)–(8).

Указанные закономерности выполняются на элеваторе со встряхивающим устройством (рис. 1), разработанным в БГАТУ.

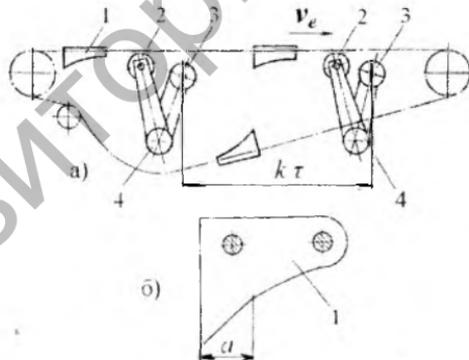


Рис. 1. Кулачковый встряхиватель: а – схема встряхивающего устройства; б – профиль кулачка: 1 – кулачки, 2 – поддерживающие ролики, 3 – встряхивающие ролики, 4 – оси

Устройство, которое в дальнейшем будем называть кулачковым встряхивателем, включает кулачки 1, закрепленные на прутках полотна, и ролики 2, 3, установленные попарно на осях 4 под рабочей ветвью. Ролики 2 смещены в сторону от линии движения кулачков и поддерживают рабочую ветвь на заданном уровне, ролики 3 расположены на линии движения кулачков. При движении полотна кулачки набегают на ролики 3, в резуль-

тате чего происходит одновременное встряхивание рабочей ветви по всей длине. Выполнение закономерности по формулам (6), (7) обеспечивается соответствующим рабочим профилем кулачка. Профиль состоит из двух участков, начальный из которых – эквидистанта параболы, а конечный – отрезок прямой. После схода кулачков с роликов 3 рабочая ветвь опускается до первоначального уровня, определяемого положением роликов 2.

В периоды движения кулачков между роликами 3 нормальная скорость близка к нулю. Для выполнения закономерности по формуле (8) расстояние между роликами 3 выбирается так, чтобы именно в эти периоды происходило падение вороха на элеватор. Интенсивность встряхивания по длине рабочей ветви регулируется посредством поворота оси 4, вследствие чего меняется расстояние по нормали между роликами 2 и 3 и, тем самым, изменяется амплитуда встряхивания.

Для проверки изложенных теоретических положений были проведены экспериментальные исследования на специальном стенде. Перемещения полотна в различных сечениях регистрировались посредством записи сигналов от потенциометрических датчиков на фотоленте осциллографа. За показатель синхронности нормальных перемещений полотна над роликами 3 и между роликами был принят коэффициент корреляции  $r$  между этими перемещениями. Факторами, которые влияют на величину  $r$ , являются расстояние между роликами  $kt$ , где  $t$  – шаг расположения прутков полотна, и длина конечного участка профиля кулачка  $a$  (мм), которая соответствует интервалу  $[t', t'']$  (формула (4)). В результате обработки результатов экспериментов была получена адекватная модель:

$$r = th(1.397 - 0.085k + 0.015a), \quad (k = 8 \dots 12, \quad a = 15 \dots 25). \quad (9)$$

Зависимость (9) представлена на рисунках 2, 3. Полагая в формуле (9) значение  $r = 0,7 \dots 0,8$  и используя условие падения частиц на полотно во время движения кулачков между роликами 3 (промежуток времени  $[t'_1, t'_2]$ ), можно определить расстояние между роликами по длине элеватора и размеры кулачка.

Стробоскопическая съемка движения по поверхности элеватора клубней и регистрация на фотоленту осциллографа воздействий на имитатор клубня с встроенным датчиком удара подтвердили, что скорость полета клубней близка к расчетной, а величина ударного импульса не превышает допустимого значения.

Полевые исследования кулачкового встряхивателя проводились в два этапа. На первом этапе сравнивалось влияние серийного и кулачкового встряхивателей на качество сепарации почвы на основном элеваторе комбайна, на втором – на качество сепарации почвы в комбайне в целом. За показатели кроме повреждения клубней  $P$  (% по массе) были приняты: для

элеватора – масса непросеянной почвы  $Q$  (кг), для комбайна – чистота картофеля на выходе  $\mu$  (%), определяемая по формуле

$$\mu = \frac{m_{kl}}{m_{kl} + m_p} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где  $m_{kl}$ ,  $m_p$  – соответственно масса клубней и почвы.

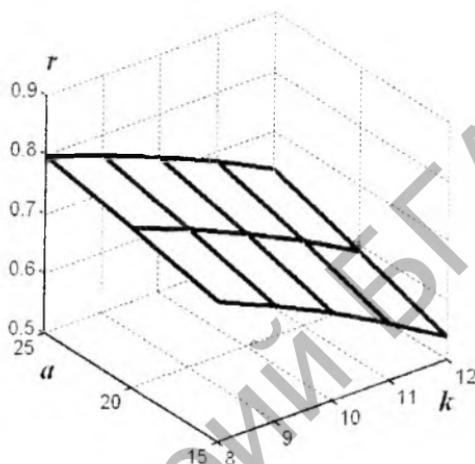


Рис. 2. Зависимость величины  $r$  от величин  $k$  и  $a$

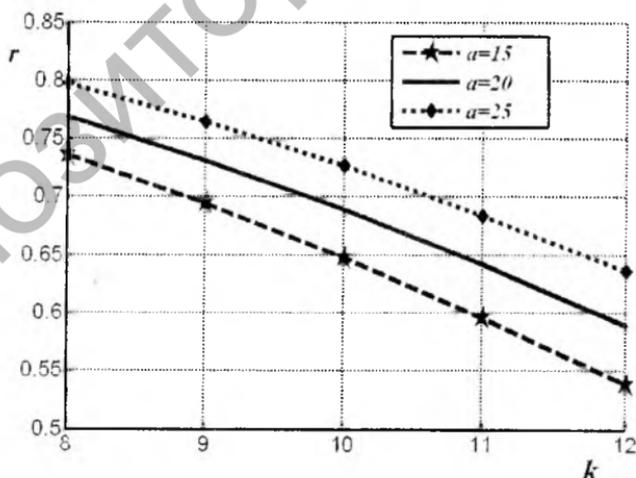


Рис. 3. Зависимость величины  $r$  от величины  $k$  при различных значениях  $a$

Опыты проводились на супесчаных, легко- и среднесуглинистых почвах при влажности 17–26% и твердости 0,9–2 МПа. Длина гона, проходимого при одном опыте, составляла 10 м. Результаты опытов (среднее значение ± стандартная ошибка среднего) в различных почвенно-климатических условиях представлены в таблицах 1. 2.

Статистический анализ [10] представленных данных показал, что применение кулачкового встряхивателя существенно улучшало качество сепарации.

**Таблица 1** – Показатели качества сепарации на основном элеваторе

№ серии опытов	Серийный встряхиватель		Кулачковый встряхиватель	
	Q, кг	P, % по массе	Q, кг	P, % по массе
1	214±7,0	6,2±0,67	171±5,7	3,7±0,33
2	505±29,8	5,0±0,36	326±18,3	2,8±0,39
3	127±14,1	6,8±0,50	98±6,5	4,4±0,28

**Таблица 2** – Показатели качества сепарации в комбайне

№ серии опытов	Серийный встряхиватель		Кулачковый встряхиватель	
	μ, %	P, % по массе	μ, %	P, % по массе
1	28,8±3,9	12,0±1,64	47,4±5,0	9,1±1,34
2	12,6±2,4	8,8±0,79	20,8±2,2	7,4±0,87
3	55,3±3,4	12,8±0,58	63,1±2,4	8,7±0,50

#### Выводы:

1. За показатели эффективности работы пруткового элеватора, который является одним из важнейших рабочих органов картофелеуборочной машины, приняты интенсивность сепарации почвы и степень сохранности клубней.

2. Режим работы пруткового элеватора описывается с помощью математических закономерностей (6) – (8).

3. Применение кулачкового встряхивателя позволяет улучшить качество сепарации почвы как на основном элеваторе, так и в комбайне в целом, при этом чистота картофеля увеличивается в 1,1...1,6 раза, повреждение клубней уменьшается в 1,2...1,5 раза.

#### Список использованных источников

1. Костенко, Н.А. Способ и устройство контроля технологического процесса картофелеуборочного комбайна по просеву почвы прутковым элеватором : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Н.А. Костенко. – Рязань, 2010. – 143 с.

2. Колчин, П. Почему нам не хватает картошки, если мы выращиваем её больше, чем надо / Н. Колчин, К. Пшеченков, Н. Верещагин // Российский фермер. – Май, № 14. – 1993. – С. 3.

3. Сельское хозяйство Беларуси / [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://b-srr.ru/selskoe-hozyaystvo-belarusi/211-kartofelevodstvo.html> Дата доступа: 23.02.2013.

4. Успенский, И.А. Анализ факторов, влияющих на повреждение клубней картофеля при механизированной уборке / И.А. Успенский, Н.В. Бышов, Н.Н. Лутхов // Сборник научных трудов по животноводству, механизации, экономике. – Рязань: РГСХА, 1995. – 168 с.

5. Горячкина, И.Н. Совершенствование технологии уборки картофеля с обоснованием параметров и режимов работы сепарирующего элеватора с интенсификатором активного типа : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / И.Н. Горячкина. – Рязань, 2010. – 212 с.

6. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. – М.: Машиностроение. 1984. – 320 с.

7. Кривоногов, Н.И. Исследование первичной сепарации почвы в картофелеуборочных машинах с целью обоснования параметров сепараторов с активным встряхивателем: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.И. Кривоногов. – М., 1968. – 26 с.

8. Бжезовская, А.И. Исследование сопротивления клубней картофеля механическим повреждениям, вызванным динамическими нагрузками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.И. Бжезовская. – Горки, 1971. – 19 с.

9. Сорокин, А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин / А.А.Сорокин. – М.: ВИМ, 2006. – 160 с.

10. Митков, А.Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А.Л. Митков, С.В. Карлашевский. – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с.

УДК 631.312

## **ПЛУГ-УДОБРИТЕЛЬ ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ**

*Шило И.Н., д.т.н., профессор; Романюк Н.Н., к.т.н., доцент;  
Агейчик В.А., к.т.н., доцент*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск*

Повышение эффективности производства сельскохозяйственных культур связано с интенсификацией процессов растениеводства на базе комплексной механизации и внедрения систем машин, отвечающих почвенно-климатическим условиям каждой зоны. Возможность комплексного использования машин и оборудования на основе передовых индустриальных технологий производства сельскохозяйственных культур представляет собой качество, присущее современной технике в растениеводстве. Комплексная механизация работ не возможна без научно обоснованной системы машин, обеспечивающей механизацию всех основных и вспомогательных операций возделывания сельскохозяйственных культур [1, 2].

Особое место в выполнении плана производства сельскохозяйственных продуктов занимает освоение научно обоснованных систем земледелия, направленных на повышение плодородия почвы и урожайности с учётом особенностей каждой природной зоны. Интерес ученых и специалистов сельского хозяйства вызывает проблема, касающаяся способов внесения удобрений, так как количество питательных веществ в почве является одним из основных факторов роста и развития сельскохозяйственных культур. Решение данной проблемы будет способствовать повышению уро-