

Разработка конструкции и оптимизация параметров устройства для сепарации корнеклубнеплодов

*И.Р. Сабирзянов, аспирант,
Р.Р. Камалетдинов, к.т.н., Башкирский ГАУ*

Выращивание картофеля, как в России, так и за рубежом, является одной из важнейших отраслей сельского хозяйства. Производство картофеля связано с большими энерго- и трудозатратами, причём до 60% из них приходится на уборку [1]. В связи с этим производство данной культуры в России крупными сельхозпредприятиями практически прекращено и сосредоточено в индивидуальных, крестьянских и фермерских хозяйствах на небольших площадях. Зачастую это объясняется тем, что существующие картофелеуборочные машины не могут обеспечить требуемое качество отделения клубней от почвенных комков, в особенности на преобладающих в России тяжёлых почвах, поэтому данная проблема остаётся на сегодняшний день практически нерешённой.

Наиболее перспективными для решения вопроса разделения могут быть устройства, работающие по принципу наклонной пальчатой горки. На рисунке 1 приведены схемы сепарирующих устройств,

производящих разделение по различию коэффициентов трения.

Основным недостатком предложенных устройств является то, что траектории движения клубней картофеля и почвенных частиц при сепарации пересекаются и используется лишь один разделяющий признак – коэффициенты трения качения компонентов вороха, имеющие значительный диапазон варьирования и существенные взаимные перекрытия, что не позволяет на данных устройствах обеспечить полное отделение корнеклубнеплодов от почвенных комков. Сюда следует также отнести механические повреждения клубней, получаемые во время сепарации, что негативно сказывается на дальнейшем хранении продукта примесей.

В определённой степени данных недостатков лишено предложенное нами устройство [2], схема которого приведена на рисунке 2. Оно позволяет использовать в процессе разделения на одной сепарирующей поверхности кинематические режимы необходимого диапазона при однонаправленной траектории движения компонентов, а также использовать эффект действия центробежных сил

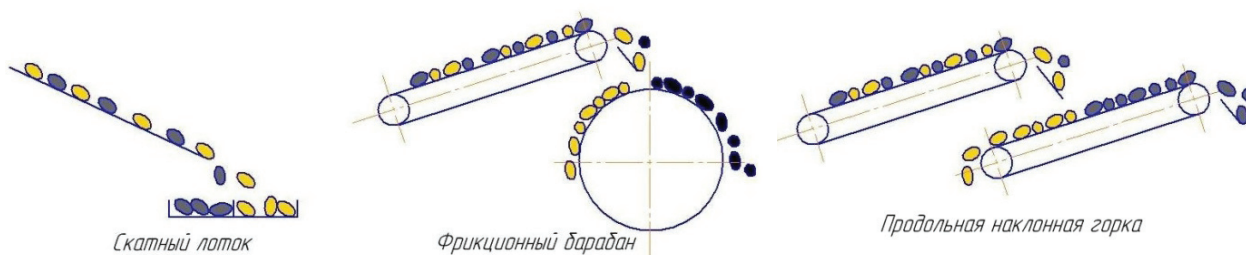
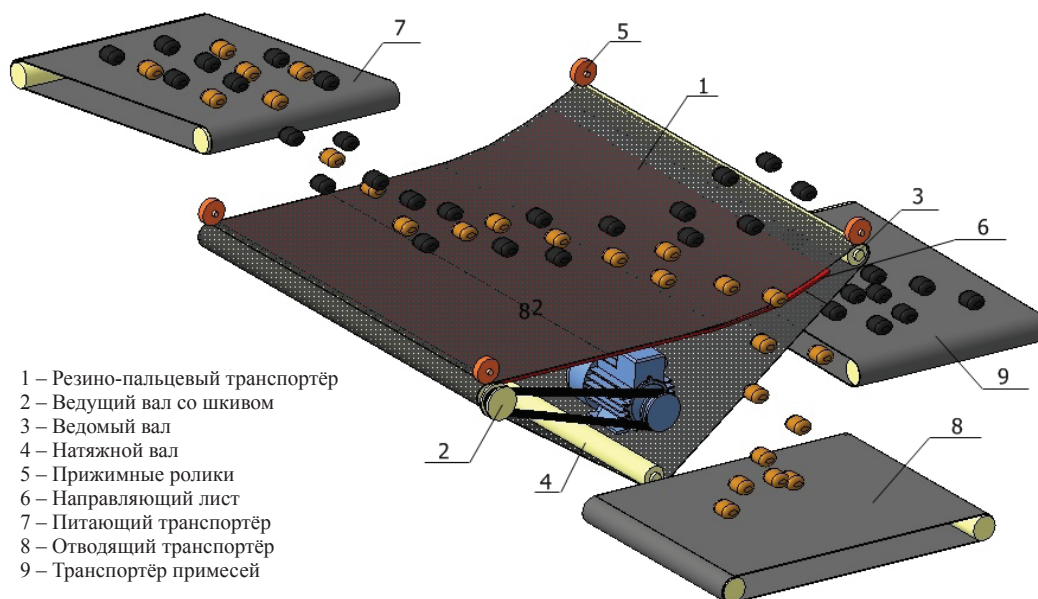


Рис. 1 – Сепарирующие устройства, производящие разделение по различию коэффициентов трения



- 1 – Резино-пальцевый транспортёр
- 2 – Ведущий вал со шкивом
- 3 – Ведомый вал
- 4 – Натяжной вал
- 5 – Прижимные ролики
- 6 – Направляющий лист
- 7 – Питающий транспортёр
- 8 – Отводящий транспортёр
- 9 – Транспортёр примесей

Рис. 2 – Фрикционный сепаратор корнеклубнеплодов с наружной сепарирующей поверхностью

для увеличения коэффициента трения качения почвенных частиц [3].

Предложенное устройство обеспечивает новый технический эффект – возможность отделения близких по размерным характеристикам почвенных комков от клубней картофеля в однонаправленном потоке, с выносом разделяемых компонентов: клубней с боковой, а почвенных комков с торцевой частей транспортера, по комплексу физико-механических показателей, преобладающими среди которых являются плотность и трение качения.

На первом этапе моделирования разработана трёхмерная каркасная модель, параметры которой были выбраны исходя из конструктивной целесообразности и предварительных опытов на лабораторной установке. На основе трёхмерной модели создана конечно-элементная модель сепарирующего барабана. При конечно-элементном анализе были определены индивидуальные реакции модели на нагрузки и граничные условия, определяющие степени свободы перемещения модели по осям координат как в линейном, так и в угловом режимах. При задании свойств конечно-элементной модели были учтены значения плотности, статические и динамические коэффициенты трения качения и скольжения, коэффициенты Пуассона, модули Юнга для клубней картофеля и почвенных комков. При машинных экспериментах использованы показатели картофеля сорта Невский: плотность

1,074–1,090, средняя масса клубня по сорту 57,6 г, форма эллиптическая. Выбрали следующие диапазоны коэффициентов: трения по резине скольжения – 0,7–0,75, опрокидывания – 0,43–0,53 и качения – 0,35–0,37. Значения коэффициентов трения качения по клубню составляют 0,5–0,6, а трения скольжения 0,8, коэффициент восстановления скорости клубней при ударе о резину – 0,7–0,76 [2]. На рисунке 3 приведён график перемещения клубней картофеля и почвенных комков по оси X, т.е. горизонтальной диаметральной оси резинопальцевого транспортера.

В программной среде MSC ADAMS проведён машинный анализ влияния скорости вращения сепарирующей ленты резинопальцевого транспортера на траекторию движения компонентов вороха, исходя из которого выбран оптимальный диапазон скоростей (9,5 до 11,5 с⁻¹) [4].

На рисунке 4 представлены результаты зависимости траектории движения компонентов вороха при различных скоростях вращения ленты транспортера, из которых следует, что изменение скорости вращения на траекторию перемещения картофеля влияет незначительно, в отличие от почвенных комков, которые совершают колебания, подъём и скатывание с более высокой частотой, а траектория движения носит волновой характер.

Вследствие этого для обеспечения наибольшей эффективности процесса сепарации необходимо,

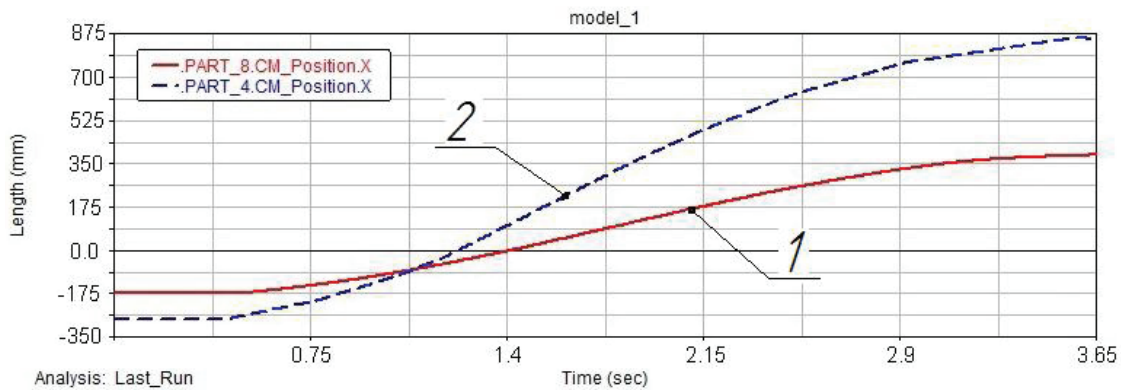


Рис. 3 – Перемещение компонентов вороха по оси X:
1 – клубней картофеля; 2 – почвенных комков

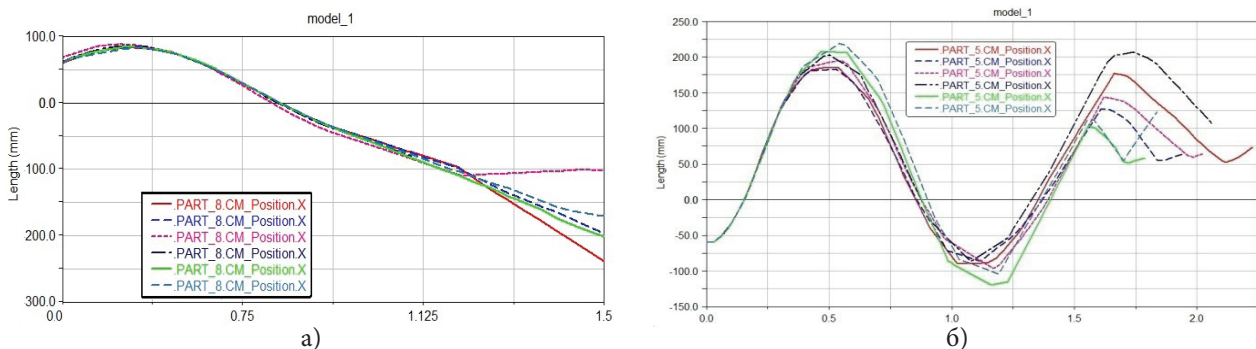


Рис. 4 – Зависимость траектории движения компонентов вороха при различных скоростях вращения барабана:
а) – клубней картофеля; б) – почвенных комков

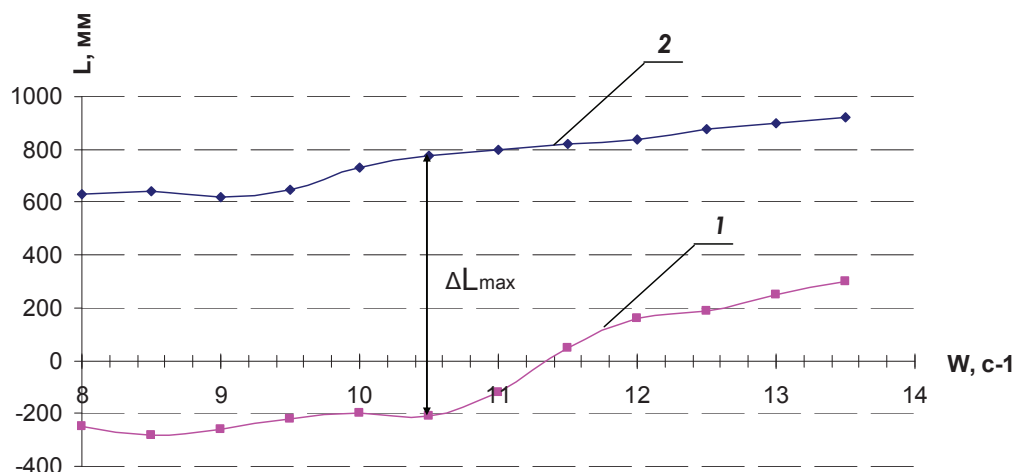
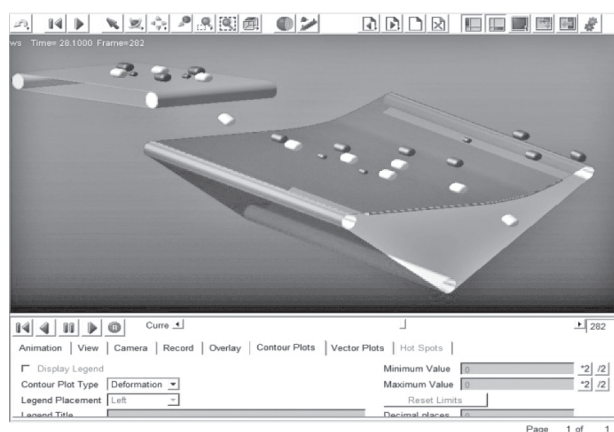
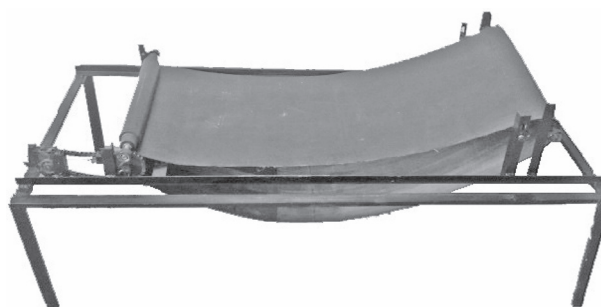


Рис. 5 – Зависимость координат точек схода почвенных комков (1) и клубней картофеля (2) при различных скоростях вращения барабана



а)



б)

Рис. 6 – Имитационная модель работы сепаратора (а) и экспериментальная установка (б)

чтобы траектории перемещения компонентов вороха не пересекались, а разница отклонений между клубнями и почвенными комками по оси X при сходе была максимальной.

На рисунке 5 представлены результаты зависимости координат схода почвенных комков и клубней картофеля при различных скоростях вращения барабана, из которого следует, что изменением скорости вращения барабана можно добиться максимальной разности точек схода клубней картофеля и почвенных комков.

Правомерность визуализированной имитационной модели (рис. 6а) была проверена на экспериментальной установке (рис. 6б).

Проведённые теоретические расчёты на имитационной модели и опыты на лабораторной установке позволяют рекомендовать следующие технологические и конструктивные параметры: необходимый диапазон наклона сепарирующей поверхности к горизонту $20\text{--}25^\circ$, максимальная скорость подачи клубней на вход устройства — не более

$0,5\text{ м/с}$ и длина боковой поверхности барабана — не более $1,1\text{ м}$, ограничиваются допустимой скоростью схода клубней, которая не должна превышать $1,5\text{ м/с}$. Длина рабочей плоскости резинопальцевого транспортера, исходя из урожайности 250 ц/га и обеспечения требуемой производительности при уборке одного ряда должна быть не менее $1,4\text{ м}$. Обороты барабана должны иметь плавный диапазон регулирования от $9,5$ до $11,5\text{ с}^{-1}$ исходя из условий необходимости подбора оптимального кинематического режима.

Литература

1. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. М.: Машиностроение, 1972. 399 с.
2. Камалетдинов Р.Р. Барабанный отделитель клубней картофеля от почвенных комков с внутренней сепарирующей поверхностью // Достижения науки — агропромышленному производству: матер. LI международной науч.-технич. конф. / под ред. докт. техн. наук, проф. Н.С. Сергеева. Челябинск: ЧГАА, 2012. Ч. IV. С. 102–106.
3. Грузенко И.П. Машины для возделывания и уборки картофеля. М.: Колос, 1981. 259 с.
4. Ануриев В.Н. Справочник конструктора-машиностроителя. М.: Машиностроение, 1967. 281 с.