

УДК 663.532:621.928.1

**В.Е. Зубков, профессор, д-р техн. наук***Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко**ул. Оборонная, 2, г. Луганск, Украина, 91011**E-mail: zubkov-viktor@mail.ru***ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ****КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ В БЛОКИРОВАННОМ ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ**

*В статье аналитическим и экспериментальным способом оптимизированы технологические параметры процесса сепарации корнеклубнеплодов в блокированном псевдоожигенном слое, выполненном на вращающейся цилиндрической поверхности.*

**Ключевые слова:** оптимизация, сепарация, корнеклубнеплоды, блокированный псевдоожигенный слой.

При механизированной уборке корнеклубнеплодов почвенные комки и камни выделяются из вороха частично на мобильных уборочных машинах, окончательно на сортировально-очистительных пунктах. В зависимости от условий уборки на каждую уборочную машину приходится от 4 до 6 рабочих-переборщиков [1].

Так как существенное различие корнеклубнеплоды, комки и камни имеют в плотности, то наибольшее внимание ученых и конструкторов привлекают способы и технические средства, реализующие различие именно в этом признаке.

Проведенный краткий обзор и анализ способов сепарации корнеклубнеплодов свидетельствует, что одной из перспективных систем для сепарации их от крупных тяжелых примесей является псевдоожигенный слой сыпучего материала. Он обладает способностью разделять тела по плотности подобно тяжелой жидкости. Применение способа разделения компонентов в зернистом псевдоожигенном слое сдерживается из-за нарушения состава среды и расхода наполнителя [2]. Соединение зерен твердой фазы в гирлянды и фиксация их у воздухораспределительной решетки позволило получить блокированный псевдоожигенный слой (БПС), который свободен от ряда недостатков, присущих зернистому [3].

Визуальные наблюдения процесса сепарации клубней картофеля от комков почвы и камней в БПС, размещенном на вращающейся поверхности барабана, показали, что тела в процессе движения ориентируются различными положениями относительно слоя, что оказывает влияние на эффективность процесса разделения тел.

*Целью исследований* является оптимизация параметров процесса сепарации корнеклубнеплодов от примесей в БПС.

Для детального изучения этого вопроса измерялась выталкивающая сила, действующая на клубни картофеля и почвенные комки, погружаемые в БПС различными положениями.

Клубни считаются по своей форме близкими к эллипсоиду вращения, а почвенные комки близки по размерам и форме к клубням, поэтому в качестве характеристик их размеров обычно принимают: максимальный – длину, средний – ширину и минимальный – толщину. Условимся, что тело, погружаемое в слой и сориентированное длиной параллельно гирляндам, будет погружаться торцом, тело, сориентированное шириной параллельно гирляндам, будет погружаться в слой ребром, а тело, сориентированное толщиной параллельно гирляндам, будет погружаться в слой плоскостью.

Определение эффективной плотности слоя (отношение величины выталкивающей силы к объему тела и ускорению свободного падения, имеющее размерность плотности) для клубней картофеля и комков почвы различных размеров показало, что для клубней картофеля предпочтительной является ориентация плоскостью и ребром. При такой ориентации клубни всплывают из слоя. В случае если клубень (особенно продолговатой формы) сориентирован торцом, он может не всплыть из слоя, что может привести к ошибке в работе сепаратора. Это следует иметь в виду при проектировании подающего устройства и догрузателя смеси, как это видно на рисунке 1. Необходимо, чтобы окружная скорость догрузателя

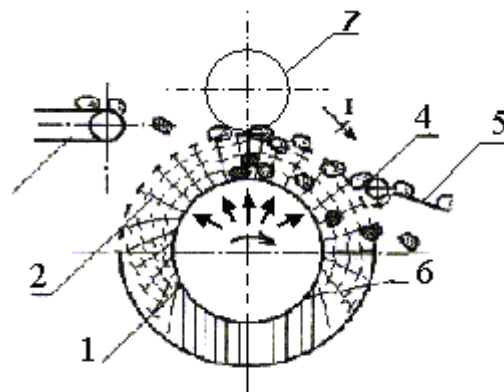


Рисунок 1 – Схема устройства для отделения клубней картофеля от примесей в БПС, размещенном на внешней поверхности барабана: 1 – цилиндрическая воздухораспределительная решетка; 2 – гирлянда; 3 – подающий транспортер; 4 – снимающий ролик; 5 – скат; 6 – экран; 7 – догрузатель

была несколько больше окружной скорости барабана отделителя, что позволит сориентированные торцом продолговатые клубни картофеля уложить либо ребром, либо плоскостью в слой. В тех случаях, когда отделитель будет работать без догрузателя, необходимо скорость воздушного потока в зоне загрузки материала в слой понизить, что позволит клубням картофеля, находящимся в слое торцом, легко выйти из этого неустойчивого положения и сориентироваться ребром или плоскостью – положениями более благоприятными для процесса разделения.

Эффективная плотность слоя при погружении в него почвенных комков также зависит от их ориентации, однако почвенные комки все тонут в слое.

По экспериментальным зависимостям эффективной плотности системы “слой – реальное тело” (клубень или комок почвы) нами определялся технологический запас эффективной плотности, представляющий собой разность между эффективной плотностью “слой – реальное тело” и его истинной плотностью. Полученные экспериментальным путем значения технологического запаса эффективной плотности для клубней и комков сведены в таблице 1.

Таблица 1 — Величины технологических запасов эффективных плотностей для клубней картофеля и почвенных комков

Ориентация	Номер клубня			
	1	2	3	4
плоскостью	375	500	690	770
ребром	225	300	370	370
торцом	75	100	150	100
Ориентация	Номер комка			
	1	2	3	4
плоскостью	250	70	130	200
ребром	400	220	390	350
торцом	830	440	460	400

Если допустить, что расположение тел в слое торцом маловероятно, то в качестве расчетных можно взять значения технологических запасов эффективных плотностей при расположении тел в слое плоскостью и ребром.

Для расчета можно принять минимальный запас эффективной плотности в неблагоприятных положениях для клубней – ребром, а для комков – плоскостью.

Технологический запас эффективной плотности определится как:

$$\Delta\rho_{\Sigma} = \Delta\rho_{\text{кл}} + \Delta\rho_{\text{ком}}, \quad (1)$$

где  $\Delta\rho_{\text{кл}}$  и  $\Delta\rho_{\text{ком}}$  – соответственно технологические запасы эффективных плотностей клубней картофеля и почвенных комков.

По экспериментальным данным он равен  $295 \text{ кг/м}^3$ .

Расчетные значения  $\Delta\rho_{\Sigma} = 267 \text{ кг/м}^3$ , что достаточно близко, с учетом принятых при расчетах допущениях.

Сумма технологических запасов эффективных плотностей клубней и комков представляют собой величину технологического коридора, в пределах которого необходимо настраивать сепарирующее устройство на эффективную плотность разделения.

Согласно экспериментальным данным среднее значение эффективной плотности клубней  $\rho_{\text{экл}} = 1425 \text{ кг/м}^3$ , а комков  $\rho_{\text{эком}} = 1340 \text{ кг/м}^3$ . Среднее значение между ними –  $\rho_{\text{эср}} = 1382 \text{ кг/м}^3$ .

Расширив это значение до величины "технологического коридора", получим расчетные значения эффективной плотности для клубней  $\rho_{\text{экл}} = 1157 \text{ кг/м}^3$ , для комков –  $\rho_{\text{эком}} = 1452 \text{ кг/м}^3$ , а истинные и наиболее близкие друг другу значения плотностей клубней  $\rho_1 = 1100 \text{ кг/м}^3$  и комков  $\rho_2 = 1600 \text{ кг/м}^3$ .

Задаваясь геометрическими и кинематическими параметрами барабанного сепарирующего устройства, мы построили траектории движения тел и определили величину и координаты технологического коридора.

Для чего было использовано решение дифференциального уравнения (1)

$$h = -\frac{1}{2}(A+B) \cdot \left( e^{-t\sqrt{L}} + e^{t\sqrt{L}} \right) + B \cos \omega t + A \quad (2)$$

При  $\omega = 1,05; 1,75; 2,09; 2,62; 3,14 \text{ 1/с}$ . Время  $t$  изменяется от 0 до 1 с. Полученные по результатам расчета, траектории движения клубней картофеля и почвенных комков представлены на рисунке 2.

Клубни картофеля, в данном рассмотренном случае, всплывают при углах поворота барабана примерно от 30 до 45 градусов.

Оптимальное место размещения съемника определяется интервалом углов после всплывания клубней и до всплывания из слоя почвенных комков, т.е. от 45 до 75 градусов.

Ввиду того, что БПС является непрозрачной средой, определить фактические траектории движения тел путем киносъемки не представляется возможным. В качестве экспериментального подтверждения нами получены результаты испытаний отделителя барабанного типа на реальном ворохе, а оптимальное место установки съемника определялось по показателю эффективности разделения смеси.

Размерно-массовая характеристика входящих в исходную смесь клубней, комков и камней, использованных при определении качественных показателей работы сепарирующего устройства, приведена в таблице 2.

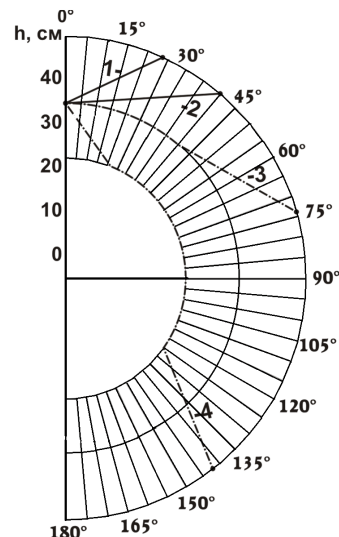


Рисунок 2 – Расчетные граничные траектории движения клубней картофеля и почвенных комков в БПС, выполненном на поверхности барабана:  
1–2 – траектории выхода клубней из БПС,  
2–3 – величина технологического коридора,  
3–4 – траектории выхода почвенных комков из БПС

Таблица 2 – Размерно-массовая характеристика исходного материала

Материал	Размеры, мм						Масса, г	
	Толщина		Ширина		Длина			
	min	max	min	max	min	max	min	max
Клубни	31	58	32	77	47	80	20	140
Комки	26	63	35	75	46	87	40	300
Камни	31	52	47	65	54	110	100	400

В качестве критерия оптимизации процесса сепарации использовался показатель эффективности [1]:

$$E = 100 - \left( \delta_{\Pi} + \frac{\delta_K}{\lambda} \right), \quad (3)$$

где  $\delta_{\Pi}$  – количество ошибочно отделенных примесей, шт. (%);  $\delta_K$  – количество ошибочно отделенных клубней, шт. (%);  $\lambda$  – показатель исходной засоренности вороха.

На основе результатов экспериментальных данных рассчитывался показатель эффективности сепарации, клубней и комков.

Для того чтобы определить оптимальные пределы установки догрузателя и съемника, были проведены опыты по определению показателя эффективности разделения в зависимости от изменения угла установки догрузателя от  $-15$  до  $+50^\circ$  и приемной части съемника от  $+20$  до  $+80^\circ$ . За нуль принималось вертикальное положение устройств.

Положительные углы отсчитывались в сторону вращения барабана, отрицательные – в противоположном направлении. Для каждого случая установки догрузателя и съемника определялся показатель эффективности разделения по четырем скоростям воздушного потока (оптимальное значение скорости воздуха при этом попадало в интервал выбираемых скоростей).

На рисунке 3 показаны углы  $\varphi_d$  и  $\varphi_c$ , при которых достигалось максимальное качество разделения. Из характера зависимостей  $\varphi_c = f(\epsilon)$  и  $\varphi_d = f(\epsilon)$  следует, что для оборотов барабана  $n = 22$  об/мин оптимальный угол установки догрузателя будет в пределах  $\varphi_d = 25 - 30^\circ$ , а оптимальный угол установки съемника, соответственно,  $\varphi_c = 60 - 70^\circ$ .

Как следует из сравнений полученных результатов, аналитические и экспериментальные значения углов установки съемника достаточно близки, что подтверждает правильность предложенной методики определения параметров расчетных траекторий движения тел в слое.

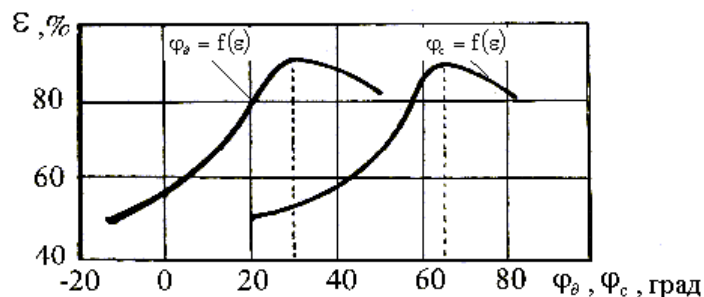


Рисунок 3 – Оптимальные значения показателя ( $\varepsilon$ ) в зависимости от углов установки догрузателя и сьемника (догрузатель роторный,  $n = 22$  об/мин):  $\varphi_{\delta}$  – угол установки оси вращения догрузателя;  $\varphi_{с}$  – угол установки приемной части сьемника

### Выводы

В результате оптимизации процесса сепарации корнеклубнеплодов установлено, что между траекториями движения разделяемых тел существует разрыв — „технологический коридор”, который и определяет оптимальное место установки приемной части сьемника. При данных параметрах установки оптимальные значения технологического коридора определяются интервалом углов поворота барабана от 45 до 75 градусов.

Перспективой дальнейшего развития данного исследования является повышение эффективности и производительности сепаратора путем оптимизации его аэродинамических и кинематических параметров.

### Библиографический список использованной литературы

1. Петров Г. Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. — М.: Машиностроение, 1984. — 320 с.
2. Зиновьев Ю.И. Об эффективной плотности псевдооживленного слоя / Ю.И. Зиновьев // ИФЖ. — 1976. — Т. 31. — № 5. — С. 13.
3. Зубков В.Е. Совершенствование процесса сепарации корнеклубнеплодов: монография / В.Е. Зубков. — Луганск : Изд-во Элтон-2, 2005. — 336 с.
4. Зубков В.Е. Технологические аспекты сепарации корнеклубнеплодов и примесей в блокированном псевдооживленном слое / В.Е. Зубков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. — 2009. — № 12. — С. 137–141.

Поступила в редакцию 19.04.2013 г.

### Зубков В.Є. Оптимізація параметрів процесу сепарації коренебульбоплодів у блокованому псевдозрідженому шарі

У статті аналітичним і експериментальним способом оптимізовано технологічні параметри процесу сепарації коренебульбоплодів у блокованому псевдозрідженому шарі, виконаному на обертаючій циліндричній поверхні.

**Ключові слова:** оптимізація, сепарація, коренебульбоплоди, блокований псевдозріджений шар.

### Zubkov V.E. Parameter optimization of the tuberous roots' separation process in the blocked pseudo-liquefied layer

In this paper technological parameters of the tuberous roots' separation process in a blocked pseudo-liquefied layer, carried out on a rotating cylindrical surface, were optimized by analytical and experimental method.

**Keywords:** optimization, separation, tuberous roots, blocked pseudo-liquefied layer.