

Л. П. БЕЗРУКИЙ,
аспирант

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ КЛУБНЕЙ ОТ ПОЧВЕННЫХ КОМКОВ И КАМНЕЙ В КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИНАХ

В настоящее время единственным методом уборки картофеля является метод подкапывания клубней вместе с пластом почвы, после чего клубни отделяются от почвы на сепарирующих органах картофелеуборочных машин. В результате такого подкапывания пласт распадается на почвенные комки. Основной задачей комбайна является отделение клубней от почвенных комков, а иногда и от камней. В условиях БССР и некоторых других районов страны отделение камней является не менее важным, чем отделение комков от клубней. Эта задача оказалась очень трудной и до конца еще не разрешена и теперь. В этом и состоит основная трудность создания работоспособной картофелеуборочной машины.

Трудность отделения клубней от комков почвы объясняется рядом неблагоприятных для сепарации почвы факторов. К ним относятся: а) сравнительно низкое процентное содержание клубней в поступающей общей массе и большая секундная нагрузка сепарирующих органов машины (до 200 кг/сек на 2-рядную машину); б) неблагоприятные для сепарации физико-механические свойства почвы; в) сильная восприимчивость клубней к механическим повреждениям.

Принципиально возможны два способа отделения почвенных комков от клубней: 1) разрушением комков до размеров меньших, чем размеры клубней, после чего почва может быть легко отсеяна на решетках (грохотах, прутковых элеваторах); 2) отделением без разрушения почвенных комков, используя различие в физических свойствах почвенных комков и клубней.

Следует заметить, что камни могут быть отделены от клубней только вторым способом.

В свою очередь возможны два способа механического разрушения почвенных комков — сжатием комков в статических условиях (медленно возрастающей нагрузкой) и динамическим воздействием (ударом).

Раньше широко применялся первый способ. В настоящее время

преимущественное применение получают механизмы, которые разрушают почвенные комки в динамических условиях (качающиеся и вибрационные грохоты, виброцентрифуги, швыряльные механизмы в сочетании с элеваторами и грохотами).

Вопросами изучения возможностей и условий применения обоих способов разрушения комков у нас в стране занимались В. С. Митрофанов, М. Е. Мацепуро и другие исследователи [1, 2].

Установлено, что возможность применения обоих способов зависит от прочности комков и повреждаемости клубней. Прочность комков в свою очередь зависит от физико-механических свойств почвы, главным образом от механического состава почвы и ее влажности, а также от наличия в почве органического вещества. Установлено также, что почвенные комки не могут быть разрушены без повреждений клубней в любых почвенных условиях, поэтому возникает необходимость создания и применения на картофелеуборочных комбайнах таких механизмов, которые бы обеспечили возможность отделения клубней от почвенных комков без разрушения последних.

В настоящее время отечественные комбайны не имеют таких механизмов (не считая опытных образцов), поэтому отделение примесей от клубней осуществляется в ряде случаев вручную, что значительно увеличивает затраты труда на уборку картофеля.

Экономический эффект от применения таких механизмов очень высок. Так, по данным Ю. И. Зиновьева [7], затраты труда на уборку 1 га картофеля при полной механизации всех операций уборки комбайном должны сократиться по сравнению с существующими способами (комбайновая уборка с отделением примесей вручную) в 2—3 раза.

Смесь клубней картофеля, почвенных комков и камней, как механическая, может быть разделена на составляющие части (компоненты) только в том случае, если физико-механические свойства этих компонентов различаются между собой.

Эти свойства определяют признаки разделения смеси. Таких признаков насчитывается в настоящее время 16 (табл. 1), однако не все они могут быть использованы для разделения смеси, причем не все признаки разделения достаточно хорошо изучены и обоснованы.

АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ И СПОСОБОВ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ НА КОМПОНЕНТЫ

Геометрические размеры и прочность тел. Данные табл. 1 показывают, что обеспечить разделение комков, клубней и камней по их размерам невозможно, так как размеры этих компонентов после подкопа пласта почти полностью перекрывают друг друга. Поэтому этот признак разделения может быть использован не в чистом виде, а в сочетании с таким признаком, как прочность тел. Различия в прочности тел, характеризующейся сопротивлением их разрушению под нагрузкой, не всегда благоприятны для разрушения ком-

Таблица 1

Признаки разделения смеси на компоненты

Признаки	Показатели физико-механических свойств		
	клубней	почвенных комков	камней
Геометрические размеры, <i>мм</i> ¹	Длина 33—83 Ширина 29—64 Толщина 27—56	Длина 55—160 Ширина 47—104 Толщина 32—83	Средний поперечный размер от 20—25 <i>мм</i> до 150 <i>мм</i> и более
Форма поверхностей (коэффициенты сопротивления качению по различным поверхностям)	Округлые, продолговато-округлые и произвольной округлой формы 0,08—0,26 ² 0,21—0,44 ³ 0,08—0,63 ¹	Округлые, продолговатые, пластинчатые и других самых разнообразных форм 0,29—0,63 ³ 0,25—0,80 ¹	Округлые, продолговатые, пластинчатые и других самых разнообразных форм 0,16—0,36 ²
Свойства поверхностей (коэффициенты трения скольжения по разным поверхностям)	Гладкие 0,10—0,91 ¹	Шероховатые 0,32—0,96 ¹	Гладкие (реже шероховатые)
Упругость (коэффициенты восстановления при ударе с поверхности): а) металлического листа б) струнной поверхности грохота в) резинового листа	0,55—0,60 ⁴ 0,60 ⁴ 0,72 ⁵	0,00—0,08 ⁴ 0,15—0,25 ⁴ —	
Пластичность		Зависит от типа почвы и ее влажности; песчаные и супесчаные почвы неэластичны. Число пластичности по Аттербергу 0—27	
Липкость	Отсутствует	Проявляется при влажности 17—18% и достигает максимума для легких почв при влажности 26%, а для тяжелых суглинков — при влажности 32%. Значение липкости достигает 100 <i>г/см</i> ²	Отсутствует

Признаки	Показатели физико-механических свойств		
	клубней	почвенных комков	камней
Твердость	Невысокая, значительно меньше твердости комков и особенно камней	Несколько выше твердости клубней и значительно меньше твердости камней	Очень высокая и значительно превышает твердость комков и клубней
Прочность:	50,5 - 108 ¹	1,2—15,6 ¹	
а) при сжатии в статических условиях—усилие разрушения, кг	Допустимая нагрузка без повреждения не выше 25 кг	До 60 ⁴	Значительно превышает прочность комков и клубней
б) при ударе о поверхность элеватора—высота сбрасывания с нулевой начальной скоростью и скорость соударения	Недопустимые повреждения клубней наступают при высоте сбрасывания 0,25 м. При этой высоте сбрасывания разрушается примерно до 8% комков	2—2,5 м (6,5—7 м/сек)	
Водопрочность	Водопрочны	В воде разрушаются	Водопрочны
Абсолютный вес, г	17—160 ¹	104—1072 ¹	70—472 ⁶
Сила инерции (инерционность тел)			
Удельный вес, г (для почвы дан объемный вес комков)	1,046—1,166 ¹ 1,12 ⁶ 1,056—1,13 ⁷	2,01—2,37 ¹ 1,145—2,735 ⁷	2,04—2,97 ⁶ (средний 2,5)
Аэродинамические свойства:			
а) критические скорости, м/сек;	26,5—38,3 ⁶		30,6—42 ⁶
б) коэффициенты сопротивления воздушному потоку	0,64 ⁶		
Электрические свойства		Сильно меняются в зависимости от механического состава почвы, наличия солей и влажности	0,6—1,0 ⁶
Поглощаемость γ-лучей		Сильно колеблется в зависимости от плотности почвы	
Цвет и блеск и отражение световых лучей			

¹ По данным М. Е. Мацепуро.² По данным Института с.-х. машин в г. Потсдам-Борним (ГДР).³ По данным В. С. Митрофанова.⁴ По данным Г. Д. Петрова.⁵ По данным В. И. Табачук.⁶ По данным Национального института с.-х. техники (Англия).⁷ По данным Н. Н. Колчина.

ков без повреждения клубней. Однако в ряде случаев при уборке на легких и средних почвах это возможно.

Для этой цели на современных картофелеуборочных машинах получили распространение следующие механизмы: 1) металлические и пневматические баллоны; 2) прутковые элеваторы со встравлятелями; 3) вибрационные лемехи и грохоты; 4) качающиеся грохоты; 5) барабанные грохоты; 6) швыряльные механизмы.

На элеваторах и грохотах разрушение комков происходит в динамических условиях (за счет эффекта удара). Баллоны разрушают комки в статических условиях (медленным сжатием).

Применение элеваторов и грохотов имеет то преимущество, что на них процессы разрушения комков, отсеивания почвы и транспортирования массы осуществляются одним и тем же рабочим органом (элеватором или грохотом), в то время как баллоны способны только разрушить комки и поэтому применяются в сочетании с элеваторами и грохотами. Из всех названных механизмов наиболее высокой эффективностью обладает гирационный (вибрационный) грохот. Барабанные грохоты имеют самую низкую сепарирующую способность.

В последние годы в науке и технике получил широкое распространение ультразвук. Теоретический анализ ультразвуковых явлений показывает, что использовать ультразвук для разрушения комков в картофелеуборочных машинах в настоящее время нельзя. При прохождении ультразвука в жидкостях, например в воде, образуются пустоты, при смыкании которых возникают очень высокие импульсы давлений. Это явление называется кавитацией и используется для разрушения различных материалов.

Но, во-первых, при использовании воды можно отделить комки и камни от клубней и без ультразвука (в почвенных суспензиях или соляных растворах), а во-вторых, очевидно, что при разрушении комков за счет кавитационных явлений будет повреждаться и клубни, а затраты мощности на разрушение камней ультразвуком очень велики.

Ультразвуковые колебания можно вызвать и в воздухе, однако в этом случае эффективность аппарата будет очень низкой.

Форма и состояние поверхностей разделяемых тел. Эти два признака разделения практически всегда используются одновременно. Как видно из табл. 1, коэффициенты сопротивления тел качению и коэффициенты трения скольжения по своей величине перекрывают друг друга для камней, комков и клубней, поэтому обеспечить полное разделение этих тел способами, основанными на различии в этих признаках, невозможно.

В зависимости от конструкции различают следующие рабочие органы этого типа: 1) горки продольные; 2) горки поперечные; 3) горки поперечные с делителем; 4) горки двойные; 5) системы горок; 6) фрикционные барабаны; 7) дисковые сепараторы.

Из перечисленных разновидностей этого типа рабочих органов

применение получили поперечные горки с делителями, системы продольных и поперечных горок и дисковые сепараторы.

Поперечная горка с делителем и дисковый сепаратор, как правило, являются одновременно и столами-переборщиками, на которых рабочие вручную корректируют процесс разделения тел. В зависимости от условий для получения чистых клубней в таре требуется от 2 до 6—7 рабочих.

Из сравнения продольной и поперечной горок предпочтительнее следует отдать поперечной горке. На рис. 1 показана сравнительная эффективность продольной и поперечной горок при сепарации клубней от камней [12].

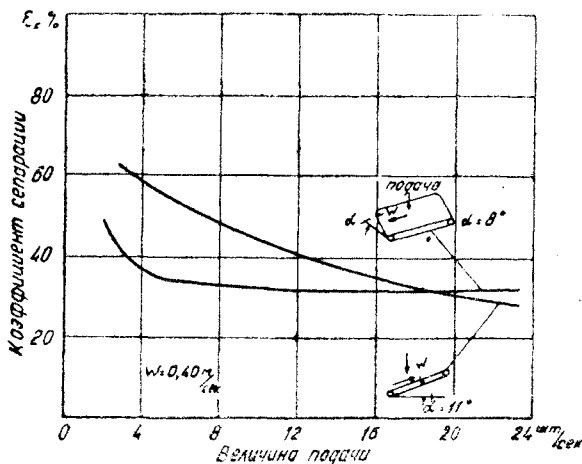


Рис. 1. Сравнительная эффективность продольной и поперечной горок

Несмотря на то, что горки не обеспечивают полного разделения смеси на компоненты, они получили широкое применение на картофелеуборочных комбайнах вследствие их конструктивной простоты. К тому же, как это будет видно из дальнейшего, в сочетании с другими признаками разделения эффективность их может быть повышена. Другим существенным недостатком

горок является их малая производительность (не более 8—10 кг/сек на метр ширины), так как масса должна двигаться в один слой. Поэтому они могут быть применены только в конце технологического процесса комбайна.

Форма, состояние поверхности и аэродинамические свойства тел. Подобное комбинированное использование этих признаков разделения осуществляется в устройствах, состоящих из поперечной горки и вентилятора (рис. 2). Испытания этого способа показали, что он обеспечивает лучшее качество сепарации, чем одна простая горка [12].

При скорости воздушного потока $V = 23$ м/сек и незначительном наклоне горки ($\alpha = 5^\circ$) значение коэффициента сепарации при разделении клубней и камней было доведено до 70%. Еще более высокие показатели были получены при сепарации комков от клубней.

Таким образом, этот способ является более эффективным, однако все-таки требует ручной корректировки.

Упругость разделяемых тел. Коэффициенты восстановления, которыми характеризуется упругость соударяемых тел, не перекрывают друг друга, поэтому теоретически полное разделение их возможно. Однако практически осуществить это оказалось затруднительным. Принципиально возможна схема разделения, показанная на рис. 3. Подобная схема устройства испытывалась в Английском национальном институте с.х. техники. Опыты, проведенные для отделения клубней от комков и камней, показали, что возможна только частичная сепарация.

Невозможность полного разделения тел на подобном устройстве объясняется тем, что траектории движения клубней, комков и камней частично перекрываются. Неопределенность траектории движения этих тел в свою очередь вызывается неопределенностью их формы. Кроме того, дополнительная трудность сепарации этим методом состоит в том, что почва, поступающая вместе с клубнями, представляет своего рода подстилку, гасящую скорость отскока клубней. Частично исключить это явление можно установкой под барабаном (рис. 3) специального чистика-скребка.

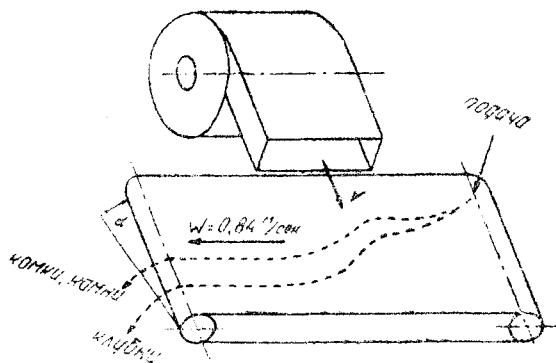


Рис. 2. Схема устройства, состоящего из поперечной горки и вентилятора

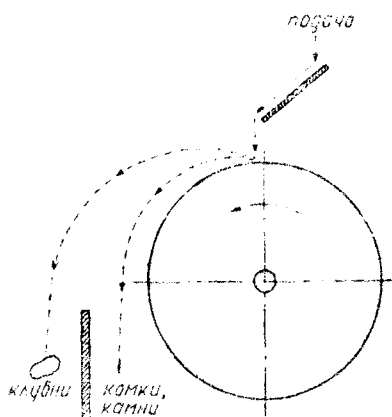


Рис. 3. Схема устройства для отделения клубней от комков и камней

что, если комки почвы, находящиеся на просеивающей решетке, подвергать определенному силовому воздействию, то можно «выжимать» почву через зазоры этой решетки. По данным Б. И. Максимова [8], усилие на продавливание почвы через зазоры решетки (20—25 мм) при влажности почвы от 23 до 33% находится

в пределах 2—6,5 кг. При таких усилиях клубни практически не повреждаются, что открывает возможность сепарации почвы этим способом.

Б. И. Максимовым были спроектированы и изготовлены специальные полевые установки — центрифуга и виброцентрифуга, которые показали исключительно высокую сепарирующую способность (96—99%).

Однако применение виброцентрифуги, как ясно из предыдущего, дает эффект только при уборке на тяжелых суглинистых и глинистых почвах при повышенной влажности (выше 23%).

Липкость — свойство почв при определенной влажности прилипать к другим телам и, в частности, к металлу. Липкость зависит от вида почв и их влажности.

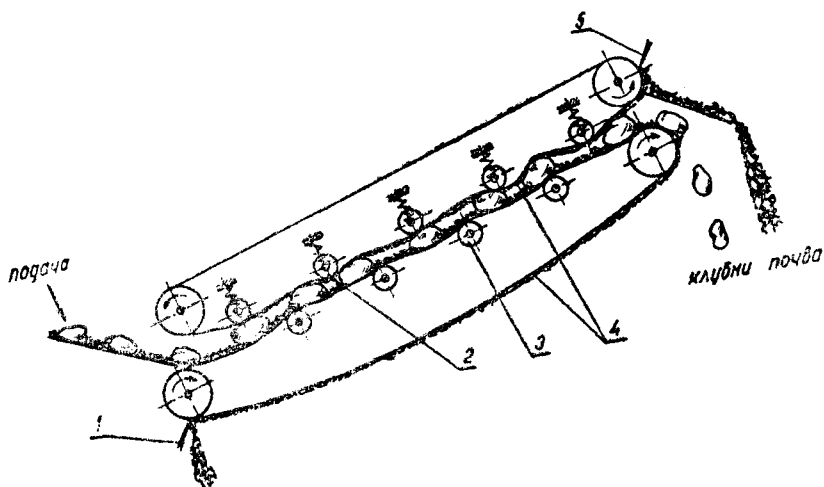


Рис. 4. Схема устройства для отделения липкой почвы от клубней:

1 и 5—скребки; 2—нажимной ролик; 3—опорный ролик; 4—бесконечные ленты.

До сих пор свойство липкости почвы изучалось только с точки зрения влияния его на залипаемость рабочих просветов сепарирующих органов. Например, по исследованиям О. А. Сафрасбеяна, сепарирующая способность элеваторов резко падает уже в начале появления липкости (около 5 г/см^2).

Использование свойства липкости в качестве признака разделения почвы и клубней не изучено.

Устройство для частичного отделения липкой почвы от клубней показано на рис. 4.

Однако ясно, что такой признак разделения может быть использован только при такой влажности почвы, при которой свойство липкости резко проявляется, т. е. при влажности выше 20%.

Твердость. Под твердостью понимается свойство клубней, комков и камней сопротивляться вдавлению посторонних тел.

Практически можно заключить, что твердость сухих комков и камней значительно превышает твердость клубней, поэтому этот

признак разделения может быть эффективно применен для отделения клубней от комков почвы и камней.

Опыты, проведенные в ФРГ [11], показали, что способ разделения камней и клубней по различию их твердости является эффективным и обеспечивает полное разделение тел.

Рабочий орган, предназначенный для этой цели, состоит из двух вращающихся навстречу друг другу барабанов, один из которых снабжен острыми шипами, а другой покрыт микропористой резиной. Клубни, накальваясь на шипы, относятся в сторону и снимаются отражателем, а камни проходят между барабанами и падают под щель. Подача массы должна осуществляться в один слой. Очевидно, при этом клубни получают механические повреждения, что, естественно, ставит под вопрос целесообразность применения подобного устройства. Однако учитывая высокую качество разделения и простоту механизма, этот способ может получить применение в крупных картофелеводческих хозяйствах, обслуживающих сырьем предприятия легкой и пищевой промышленности. Целесообразность применения подобного механизма в качестве сменного рабочего органа должна быть подвергнута изучению.

Абсолютный вес. Как видно из табл. 1, значения абсолютных весов комков, клубней и камней перекрывают друг друга, поэтому полное разделение по этому признаку невозможно.

Сила инерции (инерционность тел). Так как разделяемые тела могут иметь разную массу, то при одном и том же ускорении сила инерции их будет различна, это обуславливает различную дальность перекачивания тел по различным поверхностям или полета их в воздухе. На перемещение тел по какой-либо поверхности будет оказывать влияние не только сила инерции, но и сила сопротивления качению. Поэтому этот признак разделения используется в сочетании с различиями в форме тел или другими признаками.

Кстати, хотя этот признак разделения и является производным от признака разделения по абсолютному весу тел, однако способ использования его выгодно отличается от способа использования различия в абсолютных весах, ибо механизмы, разделяющие тела по различию в их инерционности, более просты и надежны. Наиболее удачная схема устройства показана на рис. 5. Правда, полного разделения тел она не обеспечивает, так как разделение

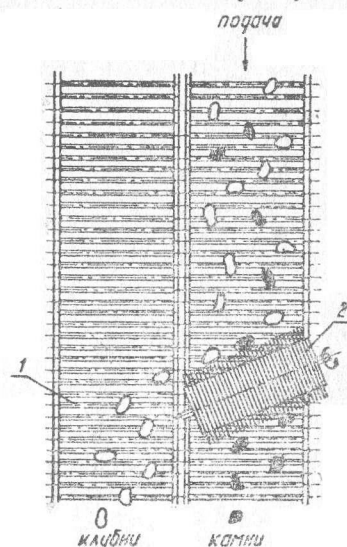


Рис. 5. Устройство для отделения камней и комков от клубней, основанное на различии в инерционности и форме тел:

1—прутковые транспортеры; 2—щеточный валик

происходит по различию в инерционности и форме тел, а оба эти признака для камней, комков и клубней перекрываются. Кроме того, для обеспечения процесса разделения смесь должна подаваться в один слой, поэтому производительность устройства невысока. Перед горками такие устройства преимуществ не имеют.

Удельный вес. Как видно из табл. 1, значения удельных весов комков, клубней и камней сильно различаются между собой и не перекрывают друг друга. Поэтому, используя различие в значениях удельных весов, можно обеспечить 100-процентное разделение смеси на компоненты.

Разделение тел по различию их удельного веса может происходить в различных рабочих средах: в воздухе, жидкости, в минеральной или почвенной суспензии или во взвешенном слое мелкозернистого материала. Для полного разделения смеси на компоненты удельный вес неподвижной рабочей среды (по отношению к разделяемым телам) должен иметь промежуточное значение, т. е. должно соблюдаться следующее неравенство:

$$\gamma_{кл} < \gamma_c < \gamma_k, \quad (1)$$

где γ_c — удельный вес рабочей среды;
 γ_k — удельный вес комков или камней;
 $\gamma_{кл}$ — удельный вес клубней.

Способ разделения клубней картофеля и почвенных комков и камней в почвенной суспензии был применен в английском картофелеуборочном комбайне «Шотболт». Большая работа по исследованию этого способа разделения была проведена в ВИСХОМе [6]. При испытании экспериментальных отделителей было получено практически полное отделение клубней от почвенных комков и камней.

В последние годы в ВИСХОМе исследован способ разделения клубней, комков и камней во взвешенном слое мелкозернистого материала [7]. В результате проведенных опытов было установлено, что слой мелкой почвы, приведенный с помощью вертикального воздушного потока во взвешенное состояние и получающий при этом встряхивание в горизонтальной плоскости, является средой для полного отделения клубней картофеля от почвенных комков и камней по их удельному весу, причем взвесь мелкой почвы сохраняет разделяющую способность при повышении влажности почвы до 26—27%.

Способ разделения тел во взвешенном слое мелкозернистого материала имеет перед суспензионным отделителем преимущество в том, что для его работы не требуется вода, а потери рабочей среды (почвы) могут быть легко восстановлены прямо на поле.

Упругость и форма поверхности тел. Сочетание этих двух признаков разделения дает более высокие результаты, чем их раздельное использование. В настоящее время известно несколько типов устройств, в которых для разделения тел одновременно используются различия как в упругости, так и коэффициентах сопротивления тел качению. Наиболее удачной как по качеству разде-

ления, так и по простоте является конструкция такого устройства, применяемая на английском комбайне «Уайтсед» (рис. 6). Смесь, состоящая из клубней, комков и камней, подается на транспортер, на поверхности которого имеются упругие (резиновые) шипы.

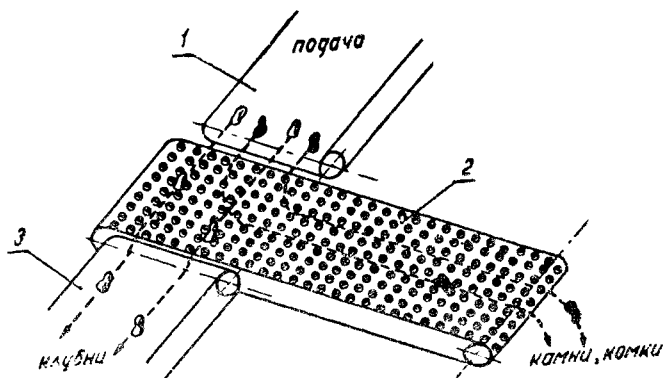


Рис. 6. Схема устройства для отделения почвенных комков и камней от клубней, основанного на различии в упругости и форме тел:

1 — подающий транспортер; 2 — транспортер с резиновыми шипами; 3 — транспортер, отводящий клубни

Более упругие клубни отскакивают от выступов (шипов) и перекатываются по ним, а комки и камни задерживаются транспортером и уносятся в сторону. Подача должна осуществляться в один слой. Полного разделения этим способом достичь невозможно, поэтому эти устройства перед горками преимуществ не имеют.

Аэродинамические свойства тел (о возможностях использования воздушного потока для разделения тел в картофелеуборочных машинах). Изучение аэродинамических свойств тел как признака для разделения смеси в картофелеуборочных машинах началось лишь недавно, и сведений по этому вопросу в литературе очень мало. Некоторые авторы [5, 7, 8] делают вывод о нецелесообразности использования воздушного потока для разделения клубней, комков и камней в картофелеуборочных машинах, однако эти выводы сделаны без достаточного теоретического и экспериментального обоснования.

Внимательное изучение некоторых зарубежных источников [10, 11] показывает, что такой вывод не является правильным. Действительно, в этих источниках мы находим вывод о невозможности полного разделения тел за счет действия воздушного потока при одноступенчатой сепарации.

Что же касается целесообразности его применения, то такого вывода сделать нельзя. Наоборот, использование воздушного по-

тока для целей разделения смеси в картофелеуборочных машинах весьма целесообразно, поскольку воздух исключает повреждение клубней. Вот почему у нас в стране и за рубежом предпринимаются попытки использовать воздушный поток для сепарации комков и камней в картофелеуборочных машинах.

Отдельные такие попытки дали неплохие результаты. Так, применение воздушного потока в сочетании с поперечной горкой значительно улучшает качественные показатели работы горки.

Однако в целом условия применения воздушного потока пока не установлены.

Разделение смеси воздушным потоком на составные части основано на различии в силах сопротивления, которые оказывают тела движению воздуха. Так, если обдуть смесь, лежащую на решетке, воздушным восходящим потоком, то тела, имеющие большие аэродинамические сопротивления на единицу веса, могут быть подняты, а тела с меньшими сопротивлениями останутся на решетке.

Аэродинамические сопротивления тел зависят от характера воздушного потока и для турбулентного движения воздуха определяются по известной формуле Ньютона

$$R = k \cdot F \cdot \rho v^2, \quad (2)$$

где k — коэффициент аэродинамического сопротивления тел;

F — площадь Миделева сечения (площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную воздушному потоку);

ρ — плотность среды;

v — скорость относительного движения воздуха.

Чем больше разница между силами сопротивления клубней и комков или камней, тем больше вероятность их разделения. На значение силы сопротивления при постоянной скорости воздуха оказывают влияние две величины: коэффициент аэродинамического сопротивления и площадь Миделева сечения.

Поэтому разделение тел воздушным потоком происходит на основе сложной взаимозависимости между такими признаками разделения, как удельный вес, площадь Миделева сечения и аэродинамические коэффициенты сопротивления, которые в свою очередь зависят от формы и состояния поверхностей тел. Для тел, гладких и приближающихся по форме к шару, они меньше и наоборот.

Для шара коэффициент аэродинамического сопротивления не является величиной постоянной и зависит от критерия Рейнольдса, который вычисляется по формуле

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3)$$

где v — скорость относительного движения воздуха;

d — диаметр или поперечный размер канала;

ν — кинематическая вязкость среды.

В пределах $Re = 1000 - 300000$ коэффициент k приблизительно постоянен и равен 0,47. При $Re \geq 300000$ происходит резкое уменьшение величины k с 0,47 до 0,22, причем последнее значение k уже больше не меняется.

Для тел неправильной формы коэффициент сопротивления определяется по эквивалентному диаметру. Диаметр эквивалентного шара, т. е. шара того же объема, что и транспортируемые тела, может быть определен по формуле

$$d_s = \sqrt[3]{1,24 V}, \quad (4)$$

где V — объем тела, m^3 .

Однако для такого эквивалентного по объему шара нельзя применить те же коэффициенты сопротивления, что и для шара геометрически правильной формы с гладкой поверхностью.

Для тел неправильной формы и с шероховатой поверхностью коэффициент аэродинамического сопротивления вычисляется по формуле

$$k = k_{ш} k_{ф}, \quad (5)$$

где $k_{ш}$ — коэффициент аэродинамического сопротивления для геометрически правильного шара с гладкой поверхностью;

$k_{ф}$ — коэффициент формы.

Значения коэффициента формы для тел различной формы приведены в табл. 2, взятой из книги С. Е. Бутакова «Воздухопроводы и вентиляторы», 1958.

Таблица 2

Форма тела	Коэффициент формы
Округлая	2,5
Продолговатая	3,0
Пластинчатая	5,0

Данные табл. 2 показывают, что при всех прочих равных условиях тела неправильной формы будут подниматься воздушным потоком раньше тел более правильной формы.

Скорость восходящего воздушного потока, необходимая для поддержания тела в воздухе во взвешенном состоянии, называется критической скоростью. Эта скорость равна конечной скорости падения тел в воздухе. Очевидно, что при этом будет соблюдаться условие

$$R = G, \quad (6)$$

где G — вес тела.

$$G = V\delta,$$

где V — объем тела;

δ — удельный вес тела.

Значит, $V\delta = k\rho Fv_0^2$.

Отсюда
$$v_0 = \sqrt{\frac{V\delta}{k\rho F}}. \quad (7)$$

Подставив в последнее выражение значения V и F , выраженные через эквивалентный диаметр тела, получим

$$v_0 = \sqrt{\frac{2d_s \delta}{3k\rho}}, \quad (8)$$

где v_0 — критическая скорость тела.

Тела разного удельного веса, но обладающие одинаковыми критическими скоростями, называются равнопадающими, а отношение диаметров равнопадающих тел называется коэффициентом равнопадаемости.

Запишем для двух равнопадающих тел:

$$v_{0_1} = \sqrt{\frac{2d_{s_1} \delta_1}{3k_1 \rho}}, \quad v_{0_2} = \sqrt{\frac{2d_{s_2} \delta_2}{3k_2 \rho}}.$$

Приравняв эти выражения, получим

$$\frac{d_{s_1} \delta_1}{k_1} = \frac{d_{s_2} \delta_2}{k_2}.$$

Отсюда коэффициент равнопадаемости будет

$$e = \frac{d_{s_1}}{d_{s_2}} = \frac{\delta_2 k_1}{\delta_1 k_2}. \quad (9)$$

Проанализируем это выражение, приняв обозначения с индексом 1 для клубней, а с индексом 2 для комков и камней.

А. Анализ возможностей отделения комков от клубней. Примем на основании данных табл. 1 значения удельных весов:

$$\delta_1 = 1,1;$$

$$\delta_2 = 2,0.$$

Поскольку комки более шероховаты, чем клубни, то значение k_1 будет несколько меньше k_2 , т. е.

$$\frac{k_1}{k_2} < 1.$$

Численное значение этого отношения можно определить только опытным путем. Влияние шероховатости на величину коэффициента k сказывается незначительно, поэтому можно с достаточной для практики точностью допустить, что

$$\frac{k_1}{k_2} \approx 1 \text{ (для тел одинаковой формы).}$$

Тогда

$$e = \frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{2,0}{1,1} = 1,83.$$

Коэффициент равнопадаемости показывает, что полное, 100-процентное разделение смеси, состоящей из комков и клубней округлой формы, возможно в том случае, если эквивалентные диаметры клубней превышают эквивалентные диаметры комков не более чем в 1,83 раза.

Данные табл. 1 показывают, что это отношение размеров клубней и комков значительно больше. Это значительно усложняет возможность применения воздушного потока для разделения смеси, так как при $e > 1,83$ полное разделение невозможно. Этот вывод подтверждают опыты Английского национального института с.-х. исследований [10]. По результатам этих опытов можно судить, что при одноступенчатой сепарации удавалось надежно отделить до 42% комков от клубней.

Полностью или частично преодолеть трудность полного разделения смеси на компоненты можно следующими способами:

Разделением всей смеси на несколько классов по размерам. Анализируя данные табл. 1, можно рекомендовать разделение всей смеси на два класса, а именно: 1-ый класс—комки и клубни с поперечными размерами от 27 до 46 мм; 2-ой класс — от 46 до 83 мм. При больших размерах клубней может возникнуть необходимость деления смеси на три класса.

При таком разделении смеси на классы в пределах каждого класса, как это нетрудно убедиться, теоретически возможно полное отделение клубней от комков. Что касается способов разделения смеси на классы, то наиболее подходящим из них является разделение на гирационном или на колеблющемся грохоте. Грохот должен работать на режиме, исключающем повреждение клубней и обеспечивающем хорошее качество разделения. Такая схема механизма будет обеспечивать не только полное отделение примесей от клубней, но и сортирование картофеля на фракции.

Провести селекционную работу по выведению таких сортов картофеля, которые бы отличались устойчивостью размерных признаков и формы.

В воздушном потоке легче отделить клубни продолговатой формы от комков. Попутно следует заметить, что, наоборот, клубни круглой формы легко отделяются от комков на горках, т. е. по различию в коэффициентах сопротивления качению.

Из табл. 2 следует, что коэффициент формы для тел продолговатой формы составляет $k_{\Phi_n} = 3$, а для тел круглой формы $k_{\Phi_k} = 2,5$.

Отношение

$$\frac{k_{\Phi_n}}{k_{\Phi_k}} = \frac{3,0}{2,5} = 1,2$$

Это означает, что коэффициент равнопадаемости может быть увеличен, как это вытекает из формулы (9), в 1,2 раза. Так, если

для клубней и комков округлой формы он равен, как это было раньше подсчитано, 1,83, то для клубней продолговатой формы и комков округлой формы $e=1,83 \times 1,2=2,2$, т. е. на 20% выше. Практически это означает, что условия отделения клубней от комков воздушным потоком значительно улучшаются.

Опыты, проведенные Английским национальным институтом с.-х. техники, подтверждают этот вывод [10].

Б. Анализ возможностей отделения клубней от камней.

$$\delta_1 = 1,1;$$

$$\delta_2 = 2,5 \text{ (среднее значение).}$$

а. Камни и клубни округлой формы

$$e = \frac{\delta_2 k_1}{\delta_1 k_2} = \frac{2,5 \cdot 1}{1,1 \cdot 1} = 2,27.$$

Это означает, что полное разделение клубней и камней возможно в том случае, если их размеры превосходят друг друга не более чем в 2,27 раза.

Действительные размеры клубней могут превышать размеры камней в большее число раз. Например, клубень может иметь максимальный размер эквивалентного диаметра

$$d_3 = \sqrt[3]{83 \cdot 64 \cdot 56} = 67 \text{ мм.}$$

Минимальный эквивалентный диаметр камня $d_3 = 25$ мм (не просеявшийся на грохоте). Тогда $\frac{d_{31}}{d_{32}} = \frac{67}{25} = 2,68 > 2,27$, т. е. и в этом случае невозможно 100-процентное разделение смеси, однако качество разделения будет значительно выше, чем в случае разделения комков и клубней.

При полном отделении камней от клубней в клубни попадет некоторое количество камней размером от 25 до $\frac{67}{2,27} = 29,6$ мм, т. е. самых мелких, которые не просеиваются на элеваторах и грохотах. Процентное количество их будет зависеть от разбросанности ряда камней, встречающихся на поле, по размерной характеристике.

б. Камни округлые, клубни продолговатые.

$$e = \frac{\delta_2 k_1}{\delta_1 k_2} = \frac{2,5}{1,1} \cdot 1,2 = 2,73 > 2,68.$$

Это означает, что теоретически в этом случае возможно полное отделение клубней от камней и без разделения смеси на классы.

Приведенные рассуждения показывают возможность применения воздушного потока в чистом виде для отделения клубней от комков и камней. Таким образом использование воздушного потока для отделения клубней от камней позволит создать картофеле-

уборочную машину (комбайн) для механизированной уборки картофеля без применения ручного труда на легких почвах, засоренных камнями. Известно, что в условиях Белоруссии и в некоторых других районах страны наличие в почве большого количества камней является основной трудностью в создании картофелеуборочного комбайна с полной механизацией всех операций уборки, сбором чистых клубней в тару.

Электрические свойства разделяемых тел. Для обеспечения электрической сепарации тел необходимо, чтобы разделяемые тела имели различные электрические свойства. К таким свойствам относятся диэлектрическая проницаемость, электропроводность, способность к поляризации, к восприятию и отдаче заряда. Все эти свойства сильно изменяются в зависимости от влажности, формы, механического и химического состава, пористости, размеров и т. д., т. е. от таких факторов, которые для компонентов смеси при уборке картофеля не являются постоянными. Для обеспечения процесса сепарации, кроме того, необходимо, чтобы разделяемые тела не слипались между собой. Однако эти условия не могут быть обеспечены при уборке картофеля, поэтому электрическая сепарация не может быть применена для отделения клубней от камней и почвенных комков.

Особые физические свойства (поглощение γ -лучей и рентгеновских лучей). Использование γ -лучей и рентгеновских лучей основано на том, что рассеивание (или поглощение) их зависит от химического состава и плотности тел. Рассеивание увеличивается с увеличением атомных весов элементов, входящих в состав тел, а также и с увеличением плотности тел. Известен, например, опыт отделения угля от породы этим способом.

Ввиду того, что разделяемые тела должны подаваться в один слой, производительность этого способа невелика.

Применению этого способа препятствует также высокая стоимость электронных устройств, трудность сохранения работоспособности электронной аппаратуры при эксплуатации картофелеуборочных машин и необходимость высокой квалификации обслуживающего персонала. Это дает основание сделать вывод, что в настоящее время γ -лучи и рентгеновские лучи для разделения тел в картофелеуборочных машинах не могут быть применены.

Цвет и блеск тел и отражение световых лучей. Теоретически возможно использование этого признака разделения тел, отличающихся цветом и блеском. Различия в цвете и блеске в конечном итоге сводятся к различиям в интенсивности отражения световых лучей. Этот признак разделения может быть эффективно применен для сортировки плодов и овощей, которые в зависимости от степени зрелости обладают различной отражательной способностью. Степень отражения световых лучей для незрелых плодов больше, чем для зрелых. В США предпринята попытка использования этого признака для сортировки персиков. Опыт дал положительные результаты.

Известен также способ отделения угля от породы, основанный на этом признаке.

Применение этого признака для целей сепарации смеси в картофелеуборочных машинах осложняется тем, что на поверхности клубней во многих случаях остается некоторое количество земли, что сводит к минимуму различия в отражательной способности клубней и комков почвы. Кроме того, этот способ имеет такие же недостатки, как и способ разделения, основанный на различиях в поглощении γ -лучей. Поэтому в настоящее время этот способ разделения также не может быть применен.

Какие же можно сделать выводы:

Теоретическим анализом физико-механических свойств клубней картофеля, почвенных комков и камней установлено, что имеется 16 признаков разделения механической смеси, состоящей из клубней, комков и камней, на компоненты.

Все признаки разделения могут быть разделены на две группы: а) признаки, обеспечивающие полное 100-процентное разделение; б) признаки, использование которых может дать только частичное разделение смеси.

К первой группе относятся такие признаки: пластичность¹, твердость, водопрочность, удельный вес, отражение γ -лучей и рентгеновских лучей.

Ко второй группе относятся все остальные признаки.

Из признаков разделения второй группы наиболее широкое применение на производственных машинах получили: геометрические размеры и прочность тел, форма и свойства поверхностей тел. Теоретические исследования показывают, что для сепарации смеси на картофелеуборочных машинах может быть эффективно применен воздушный поток.

Признаки разделения первой группы пока применяются только на экспериментальных образцах машин.

Анализ производственных и экспериментальных рабочих органов (механизмов) для сепарации почвенных комков от клубней показывает, что все они могут быть разделены по производительности на две большие группы: а) основные; б) вспомогательные, или дополнительные, сепараторы.

К основным сепараторам относятся устройства, которые могут справляться с сепарацией почвы сразу после подкopa пласта. По принципу действия эти сепараторы в свою очередь делятся на две основные подгруппы: устройства, отделяющие почву отсеиванием (грохоты, элеваторы и другие механизмы); устройства, отделяющие почву отмыванием (гидравлические сепараторы). К этой же группе можно отнести суспензионные и центробежные сепараторы.

Все остальные устройства относятся к дополнительным сепараторам, которые, как правило, отделяют от клубней поч-

¹) Этот признак может обеспечить полное разделение только в том случае, когда комки имеют высокую влажность.

венные комки без предварительного разрушения последних. Они имеют весьма ограниченную производительность (до 10 кг/сек на метр ширины захвата машины) и могут использоваться только для окончательной сепарации после основного сепаратора. Камни целесообразно отделять на дополнительном сепараторе.

Из всех основных сепараторов наиболее приемлемыми для картофелеуборочных машин являются элеваторы, грохоты и швыряльные устройства. Они отличаются простотой конструкции, универсальностью применения, сравнительно невысокой стоимостью изготовления и эксплуатации, простотой обслуживания. Их основной недостаток — слабая сепарирующая способность, особенно в тяжелых почвенных условиях. Кроме того, они не могут отделить камни от клубней.

Гидравлические и суспензионные имеют самую высокую сепарирующую способность, однако на картофелеуборочных машинах применены быть не могут из-за большого расхода воды, в то же время эти сепараторы являются перспективными для применения на стационарных установках.

Центробежные сепараторы не отличаются своей универсальностью и имеют другие недостатки.

Таким образом, элеваторы, грохоты и швыряльные устройства являются в настоящее время основными сепараторами, которые могут быть применены на картофелеуборочных машинах. Наиболее реальным и действенным путем улучшения картофелеуборочных агрегатов является совершенствование элеваторов, грохотов, швыряльных устройств и других видов механических активных органов (например, битеров) с целью улучшения сепарирующих качеств картофелеуборочных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мацелуро М. Е. Технологические основы механизации уборки картофеля. Минск, 1959.
2. Митрофанов В. С. Физико-механические свойства картофеля. «Теория, конструкция и производство с.-х. машин»; т. V. Сельхозгиз, 1940.
3. Летошнев М. Н. Сельскохозяйственные машины и орудия. М.—Л., 1955.
4. Петров Г. Д. Изыскание и исследование рабочих органов для сепарации тяжелых почв на картофелеуборочных комбайнах. Диссертация. М., 1954.
5. Колчин Н. Н., Максимов Б. И., Зиновьев Ю. И. Изыскание новых рабочих органов картофелеуборочных машин. Рукопись. М., 1958.
6. Колчин Н. Н. Изыскание и исследование новых рабочих органов для отделения клубней картофеля от тяжелых почв при их пониженной влажности. Диссертация. М., 1957.
7. Зиновьев Ю. И. Отделение клубней картофеля от почвенных комков и камней во взвешенном слое мелкой почвы. Диссертация. М., 1959.
8. Максимов Б. И. Изыскание и исследование нового сепарирующего рабочего органа картофелеуборочных комбайнов для работы на тяжелых почвах повышенной влажности. Диссертация. М., 1957.
9. Сафрасбекян О. А. Результаты сравнительных испытаний оте-

ческого и зарубежных картофелеуборочных комбайнов. Сборник «Исследования по механизации уборки картофеля». М., 1958.

10. Journal of Agricultural Engineering Research, 1959, V.4, № 1.

11. Technik und Landwirtschaft, Landtechnischer Ratgeber, Heft 17--18, 1958

12. Deutsche Agrartechnik, 1958, jg. 8, Ht. 8.

13. Бергман Л. Ультразвук. Изд-во иностр. лит. М., 1957.
