

ТРАНСПОРТ

УДК 631.358.44:631.364.7

П. А. Козырицкий, канд. техн. наук

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДБОРА КАРТОФЕЛЯ ИЗ НАСЫПИ ПОГРУЗЧИКОМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Изложены результаты анализа клубней картофеля как объекта погрузки, даны их размерные характеристики. Приведено описание роторно-пальцевого рабочего органа для погрузки картофеля. Проведены исследования взаимодействия роторно-пальцевого рабочего органа с клубнями картофеля на участке подбора и разгрузки, что позволило получить теоретические зависимости для определения основных параметров рабочего органа.

Введение

Производство картофеля в республике неразрывно связано с переводом отрасли на промышленную основу. Первостепенное значение приобретает повышение качества семенного материала. Широкое распространение получает механизированная подготовка клубней к посадке, состоящая из выбраковки больших клубней на столах-переборщиках, калибровки их на КСП-25, воздушно-теплого обогрева на площадках с активным вентилированием, обработки защитно-стимулирующими составами. Одним из нерешенных вопросов является механизация погрузочных работ.

Степень механизации процесса выгрузки, его трудоемкость и производительность полностью зависят от способа хранения картофеля. Существуют два способа массового хранения картофеля: во временных хранилищах (буртах) и в стационарных закрытых картофелехранилищах. Буртовое хранение картофеля повсеместно вытесняется более прогрессивным стационарным способом хранения. В последнее время все шире применяется навалый способ хранения картофеля в хранилищах с активной вентиляцией. Он резко сокращает затраты труда и прямые издержки на тонну картофеля.

Из контейнерных хранилищ перед

посадкой контейнеры с семенным картофелем (при необходимости семенные клубни сначала пропускают через переборочное отделение) вывозят на площадку около хранилища для прогрева, а затем перегружают в транспортные средства.

Таким образом, для полной механизации предпосадочной обработки картофеля требуется разработка рабочего органа для погрузки картофеля непрерывного действия, исключающего повреждение клубней и позволяющего ликвидировать ручной труд.

Целью настоящей работы являлись исследование взаимодействия клубней картофеля с элементами рабочего органа для погрузки картофеля и обоснование формы его элементов.

Клубни картофеля как объект погрузки

Клубни картофеля как объект погрузочно-разгрузочных работ являются насыпным грузом, которому ввиду его биологической особенности присущи особые свойства. Физико-механические свойства картофеля начали изучать около 100 лет тому назад, когда М. Трухановский изучал отношение размеров клубней. Академик В. П. Горячкин утвердил инженерное направление в изучении размеров и формы клубней, установил зави-

симось размеров от веса и предложил геометрическую модель клубня.

Физико-механические свойства клубней зависят от сорта, условий возделывания, урожайности, длительности хранения и др. На работу машин влияют как физико-механические свойства отдельных клубней, так и свойства насыпи, находящейся на том или ином этапе хранения. В период хранения происходит изменение отдельных физико-механических свойств клубней и их насыпи за счет протекания в клубнях определенных процессов жизнедеятельности (дыхания, испарения воды, прорастания и др.).

На движение клубней по различным рабочим органам оказывают влияние коэффициенты трения качения и скольжения, значения которых увеличиваются на 10...20 % при длительном хранении, что особенно следует учитывать при работе машин на операциях выгрузки и вторичной послеуборочной обработки.

При различных способах хранения высота слоя картофеля колеблется от 0,9 до 5 м и более. При нарушении оптимальных режимов хранения, выбранных из условия минимальной биологической активности, картофель пробуждается, и появляются ростки. Более сильно подвергаются этому процессу ранне- и среднеспелые сорта картофеля.

Появление ростков увеличивает связность массы картофеля и влияет на характер перемещения клубней при погрузке.

При исследовании взаимодействия рабочего органа с насыпью картофеля ввиду того, что размеры клубня сопоставимы с размерами элементов рабочего органа, клубень картофеля рассматриваем как тело, имеющее форму шара диаметром d_k . В данном случае определяющим свойством является масса клубней. Эквивалентный диаметр геометрической модели клубня наиболее точно выражает среднее геометрическое трех размеров клубней: длины, ширины, толщины:

$$d_k = \sqrt[3]{l_k b_k c_k},$$

где l_k – средняя длина клубней картофеля, мм; b_k – средняя ширина клубней картофеля, мм; c_k – средняя толщина клубней картофеля, мм.

Коэффициент формы определяем по выражению

$$k = \frac{l_k}{\sqrt{b_k c_k}}.$$

Размерные характеристики клубней картофеля сортов Лошицкий, Темп, Огонек, Адретта определены экспериментальным путем (табл. 1).

Табл. 1. Характеристика клубней картофеля

Показатель	Сорт				Средний показатель для четырех сортов
	Лошицкий	Темп	Адретта	Огонек	
Длина, мм	74,9	63,59	52,39	59,04	62,48
Ширина, мм	53,6	58,19	47,11	52,19	52,77
Толщина, мм	44,3	46,65	39,69	42,87	43,37
Средний диаметр клубней	56,24	55,68	46,09	50,93	52,29
Коэффициент формы клубней	1,54	1,22	1,24	1,25	

Размерные вариационные характеристики клубней картофеля используем для обоснования размера просветов

скатной решетки, от которых зависит ширина пальцев и расстояние между пальцами.

Рабочий орган для погрузки картофеля

Для исследования используем роторно-пальцевый рабочий орган с подвижной скатной решеткой [1]. Рабочий орган к погрузчику картофеля (рис. 1) содержит барабан 1 с неподвижно закрепленными на нем секциями пальцев 2, установленный в опорах; подвижный цилиндрический скатный элемент 3, ус-

тановленный эксцентрично относительно оси барабана и имеющий дугообразные прорезы, расположенные перпендикулярно к его оси; эксцентриковый механизм 4. Привод скатного элемента осуществляется от барабана посредством поводков 5. Рабочая поверхность пальцев барабана выполнена криволинейной с целью обеспечения лучшего подбора клубней.

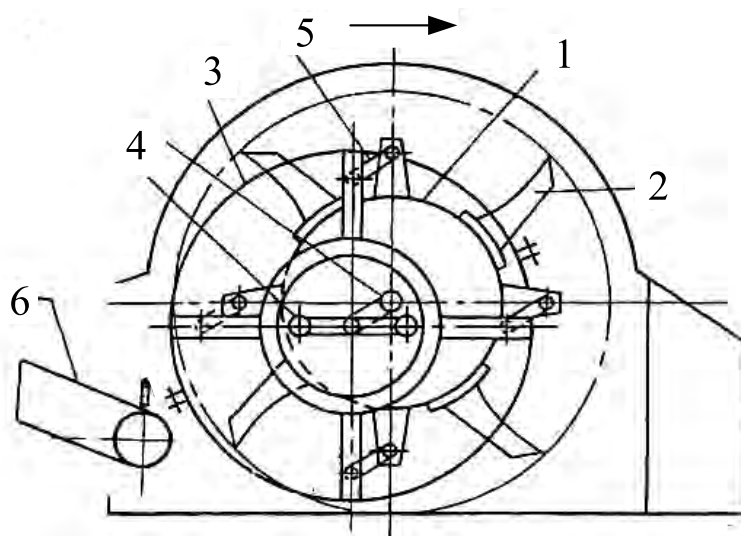


Рис. 1. Схема роторно-пальцевого рабочего органа с подвижной скатной решеткой: 1 – барабан; 2 – секции пальцев; 3 – скатный элемент; 4 – эксцентриковый механизм; 5 – поводки; 6 – транспортер

Подбор клубней осуществляется следующим образом: пальцы, вращаясь вместе с барабаном, захватывают клубни картофеля и, перемещаясь совместно со скатным элементом, поднимают клубни вверх, подают их на последующие транспортирующие органы погрузчика б.

Так как распределение размеров клубней картофеля происходит по закону нормального распределения, можно определить необходимые просветы скатной решетки, а также расстояние между пальцами питателя, обеспечивающие подбор клубней с минимальными потерями.

Для определения размера просветов скатной решетки и расстояния между пальцами по заданному проценту по-

терь необходимо знать среднее арифметическое значение толщины клубней и среднее квадратическое отклонение σ толщины клубней. Для этих целей принимаем сорта Адретта и Огонек, имеющие наименьшие размеры: для сорта Адретта $c = 39,69$ мм, $\sigma = 7,2$ мм; для сорта Огонек $c = 42,87$ мм, $\sigma = 8,69$ мм.

Учитывая полученные значения c , σ и табличные $\Phi(z)$ [2], определим просветы скатной решетки. Условно принимаем, что потери составляют 2 %, которые, в свою очередь, соответствуют значению $\Phi(z) = 0,96$.

Значение $\Phi(z)$ определяет вероятность получения размера в границах интервала $\pm \chi$. По [2] для $\Phi(z)$ находим значение z , равное 2,06, тогда:

– для сорта Адретта

$$\chi = z \cdot \sigma = 2,06 \cdot 7,2 = 14,83 \text{ мм};$$

– для сорта Огонек

$$\chi = z \cdot \sigma = 2,06 \cdot 8,69 = 16,9 \text{ мм}.$$

Искомые просветы между скатами скатной решетки соответственно:

$$C_{п1} = c - \chi = 39,69 - 14,83 = 24,86 \text{ мм};$$

$$C_{п2} = c - \chi = 42,87 - 16,9 = 25,97 \text{ мм}.$$

Таким образом, если при проектировании скатной решетки ориентироваться на толщину клубней, то величина просвета при 2 % потерь составляет 25 мм.

Для сепарирующих и транспортирующих органов картофелеуборочных и сортировальных машин принята величина просветов 24 мм [3].

Исходя из конструктивных соображений и учитывая, что при движении клубни располагаются на более широких гранях, производится расчет просветов по ширине клубней: для сорта Адретта $C_{п1} = 28,16$ мм; для сорта Огонек $C_{п2} = 30,77$ мм.

Таким образом, в целях улучшения технологичности и снижения стоимости изготовления, с учетом того, что участок перемещения клубней по скатному элементу незначительный, принимаем расчетную ширину просветов скатной решетки $C_{п} = 28$ мм.

Для исключения трения пальцев о боковые стенки скатной решетки, в просветах которой перемещаются пальцы, принимаем величину зазора между пальцами и стенкой скатной решетки $S_{п} = 7$ мм. Тогда ширина пальца для подбора картофеля

$$B_{п} = C_{п} - 2S_{п} = 28 - 14 = 14 \text{ мм}.$$

Анализ взаимодействия рабочего органа с массой картофеля

1. **На участке подбора.** Зона захвата клубней пальцами рабочего органа составляет $90...120^{\circ}$ в зависимости от высоты насыпи и состояния картофеля. Для снижения повреждения клубней и уменьшения усилия внедрения подбор должен осуществляться по основанию насыпи. Даже при небольшом увеличении зазора между внедряемым элементом и основанием насыпи значительно увеличивается усилие внедрения и повреждаемость клубней. Клубни, захваченные пальцами, в процессе продвижения находятся под воздействием сопротивления слоя картофеля и прижимаются к пальцу или перемещаются в ту или иную сторону. В связи с тем, что палец имеет криволинейную форму и его поверхность расположена под углом ε к направлению вращения, определим необходимый угол изгиба пальца для подбора картофеля (рис. 2).

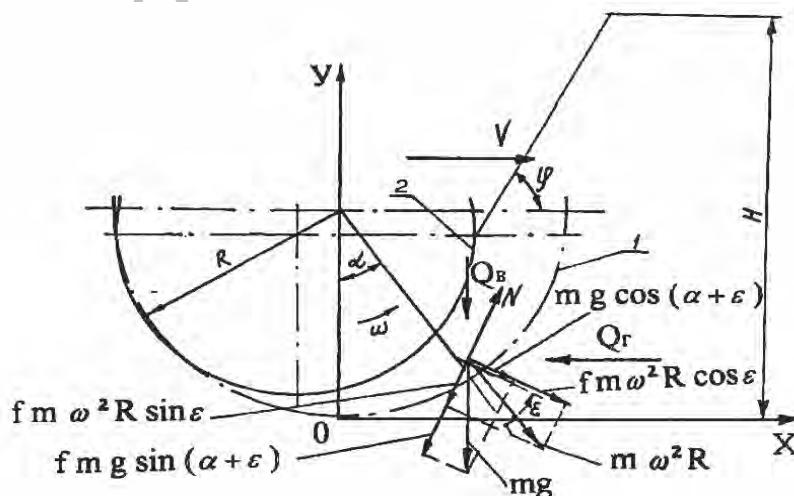


Рис. 2. Силы, действующие на клубень, находящийся на пальце при подборе

Рассмотрим силы, действующие на клубень, находящийся на плоскости пальца. На клубень действует вес $G = mg$, центробежная сила инерции $F_{ц} = m\omega^2 R$, нормальная реакция поверхности пальца N , сила трения $F = f \cdot N$, а также вертикальное Q_v и горизонтальное Q_r давления слоя картофеля, которые зависят от высоты слоя H , находящегося над пальцем. Текущий угол поворота радиуса барабана будем отсчитывать от отрицательного направления оси ординат. Принимаем угол изгиба пальца $\varepsilon = 0 \dots 40^\circ$.

Сила, сдвигающая клубень картофеля с пальца вниз,

$$P_{сд} = mg \cos(\alpha + \varepsilon) + fm\omega^2 R \cos \varepsilon + Q_v \pi r^2 [H - (R - R \cos \alpha)] \cos(\alpha + \varepsilon).$$

Силы, удерживающие клубень на пальце,

$$P_{уд} = fm\omega^2 R \sin \varepsilon + fmg \sin(\alpha + \varepsilon) + Q_r \pi r^2 \sin(\alpha + \varepsilon) + f Q_v \pi r^2 \times [H - R(1 - \cos \alpha)] \sin(\alpha + \varepsilon),$$

где f – коэффициент трения клубня о палец; m – масса клубня (сорта Темп, Лошицкий, Адретта, Огонек); ω – угловая скорость; r – средний радиус клубня.

Под действием перечисленных сил возможны три случая движения: клубень сходит с пальца в сторону вращения; неподвижен относительно пальца и вращается вместе с ним; отстаёт от пальца и перемещается по нему к скатной решетке.

Для нормальной работы рабочего органа необходимо соблюдение условия $P_{уд} \geq P_{сд}$, т. е.

$$mg \cos(\alpha + \varepsilon) + fm\omega^2 R \cos \varepsilon + Q_v \pi r^2 [H - (R - R \cos \alpha)] \cos(\alpha + \varepsilon) < fm\omega^2 R \sin \varepsilon + fmg \sin(\alpha + \varepsilon) + Q_r \pi r^2 \sin(\alpha + \varepsilon) + f Q_v \pi r^2 \times [H - R(1 - \cos \alpha)] \sin(\alpha + \varepsilon).$$

Графическое решение этого неравенства дано на рис. 3 при изменении угла α .

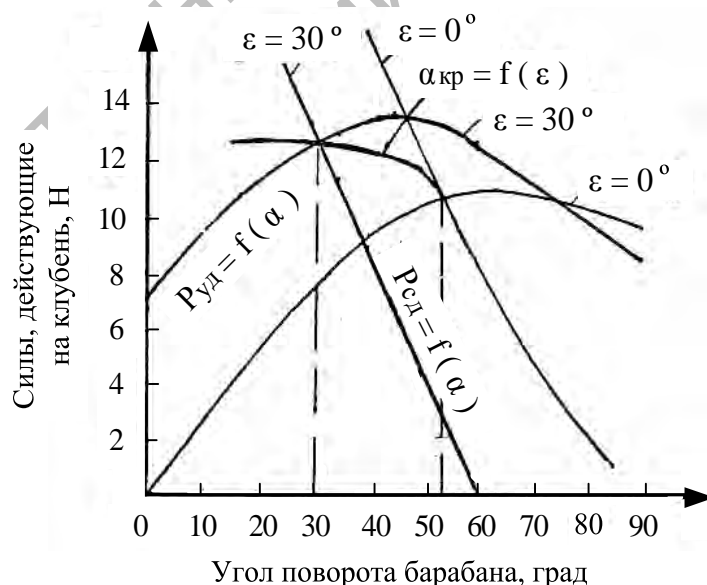


Рис. 3. Зависимость сил $P_{уд}$, $P_{сд}$ и $\alpha_{кр}$ от угла поворота барабана

С целью выявления закономерности изменения критического угла $\alpha_{кр}$ поворота барабана с пальцами, при достижении

которого силы, удерживающие клубни на пальце, превышают сталкивающие силы, исследуем процесс при изменении угла ε

изгиба пальцев от $0...40^{\circ}$, угловой скорости $\omega = 1,67; 2,72$ и $3,76 \text{ с}^{-1}$ коэффициента трения клубней о пальцы $f = 0,36; 0,46$ и $0,56$. Значения Q_{Γ} и $Q_{\text{в}}$ принимаем при высоте насыпи $H = 1,0; 1,5$ и $2,0$ м. $Q_{\Gamma} = 735 \text{ Н/м}^2$, $Q_{\text{в}} = 675 \text{ Н/м}^2$ при $H = 1$ м; $Q_{\Gamma} = 1842 \text{ Н/м}^2$, $Q_{\text{в}} = 9975 \text{ Н/м}^2$ при $H = 1,5$ м; $Q_{\Gamma} = 2950 \text{ Н/м}^2$, $Q_{\text{в}} = 13200 \text{ Н/м}^2$ при $H = 2$ м. Постоянные: радиус вращения конца пальцев $R = 0,36$ м; $m = 0,09$ кг. Поступательную скорость в связи с высоким значением коэффициента кинематического режима $\lambda > 16$ в расчет не принимаем.

Точки пересечения кривых $P_{\text{уд}} = f(\alpha)$ и $P_{\text{сд}} = f(\alpha)$ определяют критический угол поворота пальцев питателя, при достижении которого возникают благоприятные условия для подбора клубней.

Анализируя зависимость $\alpha_{\text{кр}}$ от указанных параметров, можно сделать следующие выводы:

- 1) с уменьшением угла изгиба пальцев критический угол возрастает: при $\varepsilon = 0^{\circ}$ $\alpha_{\text{кр}} = 55^{\circ}$;
- 2) коэффициент трения f клубней о материал пальца в значительной степени влияет на угол $\alpha_{\text{кр}}$, с ростом коэффициента трения $\alpha_{\text{кр}}$ уменьшается;

3) с увеличением высоты насыпи картофеля $\alpha_{\text{кр}}$ уменьшается;

4) угловая скорость существенно не влияет на угол $\alpha_{\text{кр}}$.

Наиболее благоприятные условия для подбора картофеля пальцами роторно-пальцевого питателя наблюдаются при угле изгиба пальцев $\varepsilon = 20...30^{\circ}$.

2. На участке разгрузки. Взаимодействие клубней со скатной решеткой. Перемещение клубней на участке разгрузки состоит из двух фаз: движения вместе со скатной решеткой и полета. Клубень, находящийся на скатной решетке, может перемещаться вместе с ней до тех пор, пока под действием собственного веса не упадет на транспортирующие органы погрузчика, или будет двигаться с отрывом от нее, как тело, брошенное под углом к горизонту. Характер движения клубней зависит от угловой скорости решетки.

Определим угол возможного отрыва клубня от решетки и возможность защемления его изогнутым концом пальца.

Рассмотрим равновесие клубней в момент прохождения точки А максимального подъема (рис. 4).

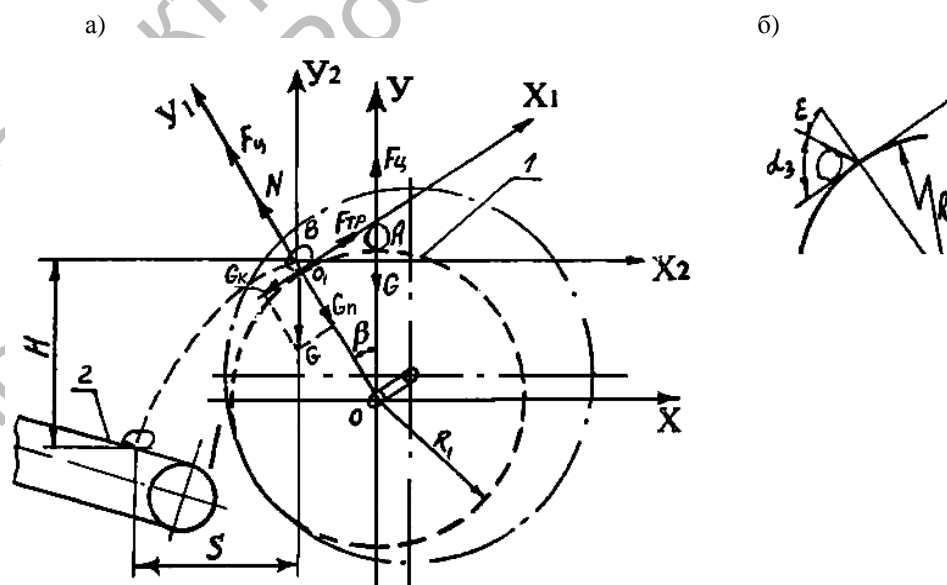


Рис. 4. К определению равновесия клубня в момент схода его со скатной решетки 1 на транспортер 2

Так как $G = mg$, а $F_{ц} = m\omega^2 R$, отрыв клубней будет происходить при

$$F_{ц} > G$$

или

$$R \omega^2 = V^2 / R = a > g,$$

где R – расстояние от центра клубня до оси вращения скатной решетки, $R = R_1 + r$; R_1 – радиус скатной решетки; r – радиус клубня; g – ускорение свободного падения; V – поступательная скорость питателя; a – ускорение.

Угловая скорость скатной решетки значительно превышает центростремительное ускорение, поэтому клубни в точке А не будут отделяться от решетки и переместятся в положение В после поворота на угол α .

Найдем угол поворота, при котором произойдет отрыв клубней от скатной решетки. Принимаем направление осей координат: ось X_1 – по касательной к скатной решетке, ось Y_1 – по нормали в точке В касания клубней скатной решетки.

Клубень будет находиться в состоянии относительного покоя, если сумма проекций всех сил на оси X и Y равна нулю:

$$F_{тр} - G_k = 0;$$

$$F_{ц} + N - G_n = 0,$$

откуда

$$N = G_n - F_{ц} = mg \cos \beta - m\omega^2 R.$$

Так как $F_{тр} = fN$, то

$$fg \cos \beta - g \sin \beta = f\beta R$$

или

$$\frac{f \cos \beta - \sin \beta}{f} = \frac{\omega^2 R}{g}.$$

Принимая во внимание, что

$$f = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}; \quad \frac{\omega^2 R}{g} = k_T,$$

находим

$$\frac{\sin \varphi \cos \beta - \sin \beta \cos \varphi}{\sin \varphi} = k_T$$

или

$$\frac{\sin(\varphi - \beta)}{\sin \varphi} = k_T.$$

Определим угол β :

$$\sin(\varphi - \beta) = k_T \sin \varphi$$

или

$$\beta = \arcsin(k_T \sin \varphi) + \varphi.$$

Отсюда следует, что угол β , на который клубень поворачивается вместе со скатной решеткой, не отрываясь от нее, зависит от угла φ трения и кинематического режима k_T .

С уменьшением коэффициента трения между клубнем и элементами скатной решетки угол β уменьшается. Значения углов φ трения для картофеля колеблются в некоторых пределах. Для группового скатывания клубней $\varphi = 12...19^\circ$, для скольжения клубней по стали $\varphi = 30...35^\circ$. Угол начала перекатывания клубней значительно меньше угла скольжения, поэтому первой фазой перемещения относительно скатной решетки будет перекатывание. Начало перекатывания клубней находится в некоторой зоне, размер которой определяется углом β_1 , соответствующим минимальному значению угла φ_{\min} , и углом β_2 , соответствующим максимальному значению угла φ_{\max} трения.

Показатель k_T влияет на характер движения клубней после отрыва его от скатного элемента. Клубни, оторвавшиеся от решетки, совершают свободное движение с начальной скоростью $U = \omega R$, направленной под углом $\pi/2 + \beta$ к горизонту.

В осях координат X_2 и Y_2 (см. рис. 4) с началом в точке В проекции скорости следующие:

$$U_x = \omega R \sin \beta;$$

$$U_y = \omega R \cos \beta - gt.$$

Перемещения по оси координат:

$$x = \omega R t \sin \beta;$$

$$y = \omega R t \cos \beta - gt^2 / 2.$$

Решая совместно эти уравнения, получаем траекторию полета клубня, оторвавшегося от скатной решетки, определяемому уравнением параболы:

$$y = x \operatorname{ctg} \beta - \frac{x^2}{2kR \sin^2 \beta}.$$

Зная перемещение клубней вдоль оси X_2 , можно найти положение приемного лотка транспортера питателя.

При погрузке проросшего картофеля отдельные клубни не отрываются от скатной решетки и при движении пальца, изогнутого под углом ε , могут быть защемлены между скатным элементом и пальцем.

Впервые условие защемления тела без учета перекачивания его по одной из поверхностей сформулировал В. П. Горячкин. Он установил, что при равенстве коэффициентов трения тела по обеим сжимающим поверхностям ($\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$) тело защемляется (не выскользывает из раствора угла), если угол между сжимающими поверхностями $\alpha_3 \leq 2\varphi$.

Для клубней картофеля $\varphi_{\max} = 30 \dots 35^\circ$, поэтому $\alpha_3 \geq 60 \dots 70^\circ$.

$$\text{Угол } \alpha_3 = \frac{\pi}{2} - \varepsilon = 60 \dots 70^\circ \text{ (см.}$$

рис. 4, б), тогда угол изгиба пальцев $\varepsilon = 20 \dots 30^\circ$.

Таким образом, условием незащемления клубней на разгрузочном участке удовлетворяет угол изгиба пальцев $\varepsilon = 20 \dots 30^\circ$, а движение клубней по определенной траектории на некоторое расстояние S обуславливает установку транспортирующих органов питателя.

Выводы

1. Критический угол захвата клубней пальцами возрастает с уменьшением угла ε изгиба пальцев: при $\varepsilon = 0^\circ \alpha_{\text{кр}} = 55^\circ$. С увеличением коэффициента трения и высоты насыпи картофеля угол $\alpha_{\text{кр}}$ уменьшается. Угловая скорость на изменение $\alpha_{\text{кр}}$ существенно не влияет.

2. Оптимальный угол изгиба конца заборных пальцев находится в пределах $\varepsilon = 20 \dots 30^\circ$, что определено, исходя из условий захвата клубней при подборе и незащемления на участке разгрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1127542 (SU). Рабочий орган к погрузчику картофеля / П. А. Козырицкий. – № 3331145/30-15; заявл. 07.08.81; опубл. 07.12.84, Бюл. № 45. – 3 с.
2. Пугачев, В. С. Теория вероятностей и математическая статистика / В. С. Пугачев. – М.: Наука, 1979. – 496 с.
3. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 4 т. / Под ред. М. И. Клецкина. – М.: Машиностроение, 1967. – Т. 2. – 830 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 06.07.2010

P. A. Kozyriski
Analysis of the technological process
of potatoes selection from embankment
by means of a continuously working
loader

The results of the analysis of potatoes tubers as an object of a loading are stated, their dimensional characteristics are given in the paper. The description of the rotary-finger worker organ for the potatoes loading is given. The studies of the interaction of rotary-finger worker organ with potatoes tubers on the area of the selection and unloads have been carried out that has allowed to get the theoretical dependencies for the worker organ main parameters determination.