

УДК 656.13

UDC 656.13

**АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ПРИНЦИПОВ  
РАЗДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОРГАНАМИ  
ВТОРИЧНОЙ СЕПАРАЦИИ**

**THE ANALYSIS OF THE CONDITIONS AND  
PRINCIPLES OF SEPARATION OF  
COMPONENTS WITH DEVICES OF  
SECONDARY SEPARATION**

Павлов Виталий Александрович  
аспирант

Pavlov Vitaliy Aleksandrovich  
postgraduate student

Рембалович Георгий Константинович  
к.т.н., доцент

Rembalovich Georgiy Konstantinovich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Успенский Иван Алексеевич  
д.т.н., профессор

Uspensky Ivan Alekseevich  
Dr.Sci.Tech., professor

Юхин Иван Александрович  
к.т.н., доцент  
*Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Yukhin Ivan Aleksandrovich  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
*Ryazan State Agrotechnological University Named  
After P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Результаты теоретических исследований,  
представленные в данной статье, предназначены для  
ознакомления с перспективным направлением  
повышения качества работы картофелеуборочных  
машин путем совершенствования рабочих органов  
сепарации

The results of theoretical studies presented in this article  
is intended to familiarize with perspective direction of  
improving quality of work potato harvesters by  
improving the working bodies of separation

Ключевые слова: КАРТОФЕЛЬ, КЛУБЕНЬ,  
КОМПОНЕНТ, СЕПАРИРУЮЩАЯ ГОРКА,  
БОТВА, ПОЧВА

Keywords: POTATO, TUBER, COMPONENT,  
SEPARATING HILL, TOPS, SOIL

Процесс сепарации картофельного вороха на рабочей ветви пальчатого полотна при падении клубней и комков почвы на наклонную поверхность горки происходит благодаря различным факторам[1, 3, 4, 7]. Анализ позволяет выделить среди них основные, влияющие на эффективность процесса сепарации:

1. Коэффициент трения у почвы и ботвы о резиновую пальчатую поверхность выше, чем у чистых клубней картофеля [1]).

2. Прочность связи компонентов вороха: прочность связи клубней картофеля с ботвой, клубня с почвой [1].

3. Геометрические параметры компонентов, попадающих на поверхность горки, а именно их размеры и форма.

Все перечисленные выше факторы в большой степени связаны с влажностью почвы, так как при высокой или низкой влажности, на

сепарирующую горку попадают клубни картофеля, не отделенные от примесей, прочно с ними связанные, имеющие неправильную форму и высокий коэффициент трения с пальчатым полотном [4, 7].

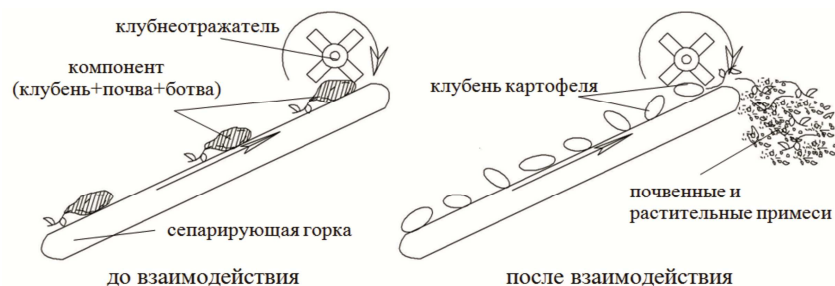
В дальнейших исследованиях введем понятие «компонент», под которым понимается неразделенный компонент клубненосного вороха, а именно тело неправильной формы, составляющими которого являются клубень с налипшей на него почвой и ботвой [5]. Для наиболее объективного выбора параметров рабочего органа вторичной сепарации целесообразнее всего рассматривать взаимодействие клубнеотражателя именно с компонентом, как наиболее сложным и неблагоприятным случаем [2, 5].

Быстрота и качество разделения компонента на составляющие зависит от степени и количества силовых воздействий на него со стороны рабочих органов вторичной сепарации, таким образом задача клубнеотражателя – интенсифицировать процесс разделения путем силового воздействия на компоненты [1, 3, 6]. При этом возможны следующие случаи [2]:

1. Компонент попадает на поверхность сепарирующей горки, в силу своих физико-механических свойств и геометрических параметров не сходит с полотна горки, а движется к клубнеотражателю, в результате силового воздействия со стороны последнего компонент разделяется на составляющие (клубень, почва, ботва) [8]: клубень сходит с полотна горки, а примеси выносятся на поле (рис. 1а).

2. Компонент попадает на поверхность сепарирующей горки, в силу своих физико-механических свойств и геометрических параметров не сходит с полотна горки, а движется к клубнеотражателю, в результате силового воздействия со стороны последнего компонент частично разделяется (от клубня отделилась часть почвы или ботвы), принимает иное положение на поверхности полотна наиболее благоприятное для

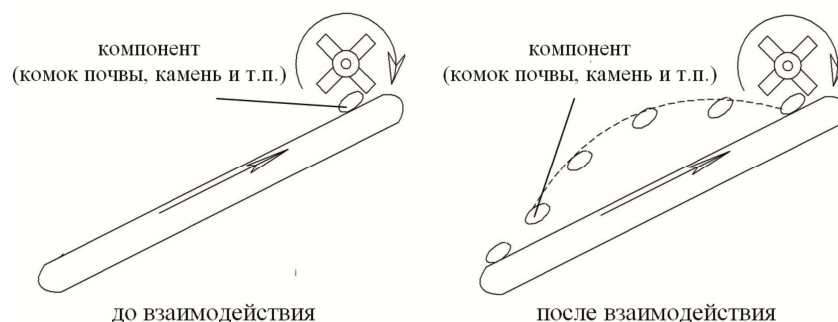
схода и катится. В результате этого происходит окончательное разделение: клубень сходит с полотна горки, а примеси выносятся на поле (рис. 1б).



а) компонент после взаимодействия с клубнеотражателем полностью разделился



б) компонент после взаимодействия с клубнеотражателем разделился частично



в) компонент (камень, комок почвы) после взаимодействия с клубнеотражателем не разделился

Рисунок 1 – Возможные случаи сепарации при взаимодействии компонента с клубнеотражателем

3. Компонент попадает на поверхность сепарирующей горки, в силу своих физико-механических свойств и геометрических параметров не сходит с полотна горки, а движется к клубнеотражателю, в результате силового воздействия со стороны последнего разделения не произошло, компонент откинут клубнеотражателем на пальчатое полотно и вновь движется к клубнеотражателю[2, 8]. Процесс будет повторяться до тех пор, пока компонент не покинет полотно (рис. 1в).

Таким образом, при выборе параметров сепарирующих рабочих органов в первом случае следует ориентироваться на то, чтобы ударное воздействие со стороны клубнеотражателя не повреждало клубни, во втором случае силовое воздействие должно обеспечивать компоненту благоприятное для схода положение на пальчатом полотне, не повреждая клубни, в третьем случае повторное взаимодействие компонента с клубнеотражателем может привести к повреждению эластичного покрытия пластин, так как компонентом может оказаться камень или твердый комок почвы, и необходим предохраняющий механизм с определенными параметрами для данного случая, позволяющий своевременно удалять такие компоненты с горки [3, 5, 6].

Рассмотрим процесс взаимодействия компонентов вороха различной формы элементом интенсификатора сепарации, выполненным в виде вала с расположенными на нем подпружиненными пластинами.

Условие опрокидывания компонента выглядит следующим образом [1, 2]:

$$M_{\text{уд}} < M_{\text{опр}}, \quad (1)$$

где  $M_{\text{уд}}$  – момент, удерживающий компонент в исходном положении, Нм;

$M_{\text{опр}}$  – момент, опрокидывающий компонент относительно линии АВ, Нм.

**Для компонента в виде прямоугольного параллелепипеда (рис.2):**

$$M_{\text{опр}} = G \sin\left(a_{\text{г}} \frac{a}{2}\right) + P \frac{a}{2}; \quad (2)$$

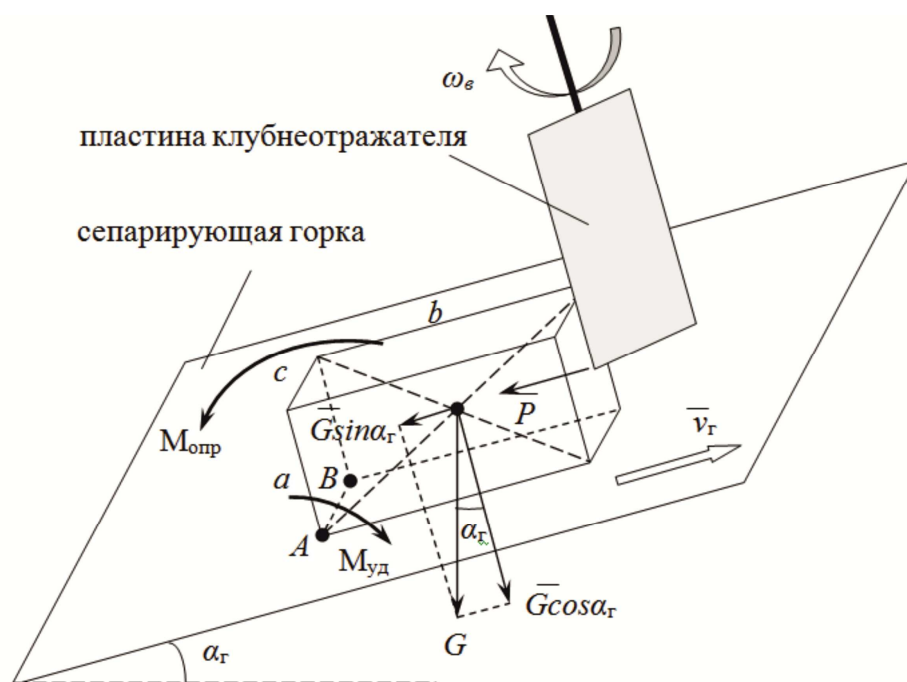
$$M_{\text{уд}} = G \cos\left(a_{\text{г}} \frac{b}{2}\right), \quad (3)$$

где  $G$  – сила тяжести, Н;

$a_{\text{г}}$  – угол наклона горки, рад;

$a, b, c$  – геометрические размеры компонента (высота, длина, ширина), м;

$P$  – сила, взаимодействия компонента с пластиной клубнеотражателя, Н.



$a, b, c$  – геометрические размеры компонента (высота, длина, ширина), м;  $P$  – сила, **М**

взаимодействия компонента с пластиной клубнеотражателя, Н;  $M_{уд}$  – момент удерживающий компонент в исходном положении, Нм;  $M_{опр}$  – момент опрокидывающий компонент относительно линии АВ, Нм;  $G$  – сила тяжести, Н;  $\alpha_г$  – угол наклона горки, рад;  $\omega_в$  – угловая скорость вращения вала клубнеотражателя, рад/с;  $v_г$  – скорость движения поверхности горки

Рисунок 2 – Схема взаимодействия компонента с пластиной клубнеотражателя

С учетом (1) имеем

$$G \cos\left(\alpha_г \frac{b}{2}\right) < G \sin\left(\alpha_г \frac{a}{2}\right) + P \frac{a}{2}. \quad (4)$$

Из выражения (4) получим минимальную силу, необходимую для предания компоненту наиболее благоприятного для схода с горки положения:

$$P_{\min} > \frac{G \cos(\alpha_г \frac{b}{2}) - G \sin(\alpha_г \frac{a}{2})}{a} = \frac{G (\cos(\alpha_г \frac{b}{2}) - \sin(\alpha_г \frac{a}{2}))}{a}. \quad (5)$$

Силу тяжести определяем по выражению:

$$G = m_k g, \quad (6)$$

где  $m_k$  – масса компонента, кг;

$g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

Масса компонента определяется как:

$$m_k = V_k \rho_k, \quad (7)$$

где  $\rho_k$  – плотность компонента,  $кг/м^3$ ;

$V_k$  – объем компонента,  $кг/м^3$ .

$$V_k = a \cdot b \cdot c, \quad (8)$$

С учетом (6)... (8) выражение (5) примет вид:

$$P > b \cdot c \cdot g \cdot \rho_k (\cos(a_{\Gamma} b) - \sin(a_{\Gamma} a)), \quad (9)$$

Графические зависимости величины силы от угла наклона горки и состава компонента показаны на рисунке 3.

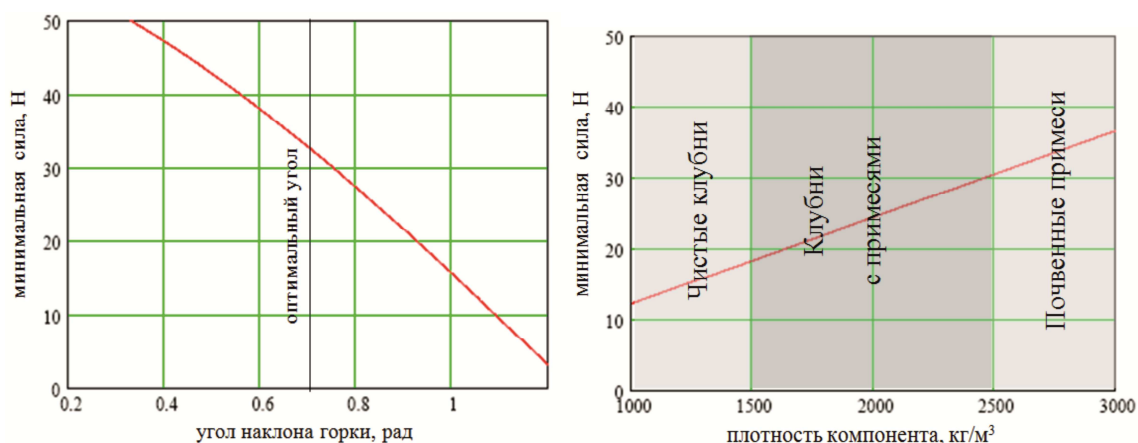


Рисунок 3 – Зависимости величины силы от угла наклона горки и состава компонента

Из графиков видно, что при одинаковых геометрических параметрах компонента в большей степени на величину силы влияет угол наклона пальчатого полотна, при увеличении которого сила убывает.

Так, при угле наклона 0,7 рад, в диапазоне плотностей компонента от 1000-3000  $кг/м^3$  (минимальное значение диапазона соответствует плотности клубней картофеля с низким содержанием крахмала, максимальное – плотности твердой фазы суглинистых почв) величина

силы изменится от 13 до 33 Н, что достаточно для отрыва клубня от ботвы и исключения повреждения клубней картофеля [2]

**Для компонента в виде треугольной пирамиды (рисунок 4):**

$$M_{\text{опр}} = G \sin\left(a_{\Gamma} \frac{h}{3}\right) + P \frac{h}{3}, \quad (10)$$

$$M_{\text{уд}} = G \cos\left(a_{\Gamma} \frac{a}{2}\right), \quad (11)$$

где  $G$  – сила тяжести, Н;  $a_{\Gamma}$  – угол наклона полотна, рад;  $a, h$  – геометрические размеры компонента, м;  $P$  – сила, взаимодействия компонента с пластиной клубнеотражателя, Н.

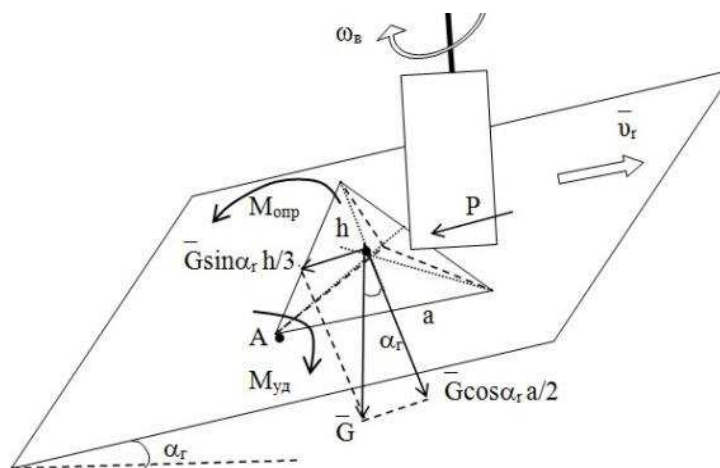


Рисунок 4 – Схема взаимодействия компонента формы треугольной пирамиды с пластиной клубнеотражателя

С учетом (1) имеем:

$$G \cos\left(a_{\Gamma} \frac{a}{2}\right) \leq G \sin\left(a_{\Gamma} \frac{h}{3}\right) + P \frac{h}{3} \quad (12)$$

$$G \cos(a_{\Gamma} \cdot 3a) \leq G \sin(a_{\Gamma} \cdot 2h) + 2P \cdot h \quad (13)$$

Из выражения (13) получим силу необходимую для предания компоненту наиболее благоприятного для схода с полотна положения:

$$P_{\text{min}} > \frac{G \cos(a_{\Gamma} \cdot 3a) - G \sin(a_{\Gamma} \cdot 2h)}{2h} \quad (14)$$

Силу тяжести определяем по выражению:

$$G = m_k g, \quad (15)$$

где  $m_k$  – масса компонента, кг;

– ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

$$m_k = V_k \rho_k, \quad (16)$$

где  $\rho_k$  – плотность компонента,  $кг/м^3$ ;

$V_k$  – объем компонента,  $кг/м^3$ .

$$V_k = \frac{h}{3} S_{\text{очн}} = \frac{a \cdot h^2}{6} \quad (17)$$

С учетом (15) ... (17) выражение (14) для силы, необходимой для переворота компонента на полотне горки примет вид:

$$P \geq \frac{a \cdot h \cdot \rho_k \cdot g}{12} \left( G \cos(a_\Gamma \cdot 3a) - G \sin(a_\Gamma \cdot 2h) \right), \quad (18)$$

**Для компонента в виде полусферы (рисунок 5):**

$$M_{\text{опр}} = G \sin\left(a_\Gamma \frac{3R_2}{8}\right) + P \frac{3R_2}{8} \quad (19)$$

$$M_{\text{уд}} = G \cos\left(a_\Gamma \frac{R_1}{2}\right), \quad (20)$$

где  $G$  – сила тяжести, Н;  $a_\Gamma$  – угол наклона полотна, рад;  $R_1$  – радиус полусферы, м;  $R_2$  – радиус основания, м;  $P$  – сила, взаимодействия компонента с пластиной клубнеотражателя, Н.

С учетом (1) имеем

$$G \cos\left(a_\Gamma \frac{R_1}{2}\right) \leq G \sin\left(\frac{3R_2}{8}\right) + P \frac{3R_2}{8} \quad (21)$$

$$G \cos(a_\Gamma \cdot 4R_1) \leq G \sin(a_\Gamma \cdot 3R_2) + 3P \cdot R_2 \quad (22)$$

Из выражения (22) получим силу необходимую для предания компоненту наиболее благоприятного для схода с полотна положения:

$$P \geq \frac{(G \cos(a_\Gamma \cdot 4R_1) - G \sin(3R_2))}{3R_2} \quad (23)$$



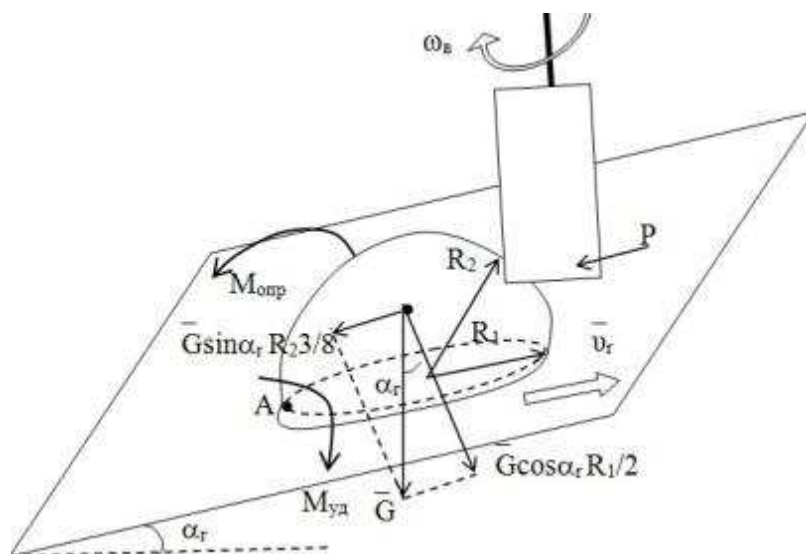


Рисунок 5 – Схема взаимодействия компонента в форме полусферы с пластиной клубнеотражателя

Силу тяжести определяем по выражению:

$$G = m_k g, \tag{24}$$

где  $m_k$  – масса компонента, кг;

– ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

$$m_k = V_k \rho_k, \tag{25}$$

где  $\rho_k$  – плотность компонента,  $кг/м^3$ ;

$V_k$  – объем компонента,  $кг/м^3$ .

$$V_k = 2/3\pi R^3, \tag{26}$$

С учетом (24) ... (26) выражение (23) для силы, необходимой для переворота компонента на полотно горки примет вид:

$$P \geq \frac{2\pi \cdot R_2^2 \cdot \rho_k \cdot g}{9} \left( G \cos(a_r \cdot 4R_1) - G \sin(a_r \cdot 3R_2) \right) \tag{27}$$

**Для усеченной пирамиды с основанием в виде прямоугольника (рисунок 6):**

$$M_{\text{опр}} = G \sin(a_r Y_c) + P \cdot Y_c \tag{28}$$

$$M_{уд} = G \cos\left(a_{\Gamma} \frac{d}{2}\right), \quad (29)$$

где  $G$  – сила тяжести, Н;  $\alpha_{\Gamma}$  – угол наклона полотна, рад;  $a, b, c, d, h$  – геометрические размеры компонента, м;  $P$  – сила, взаимодействия компонента с пластиной клубнеотражателя, Н.

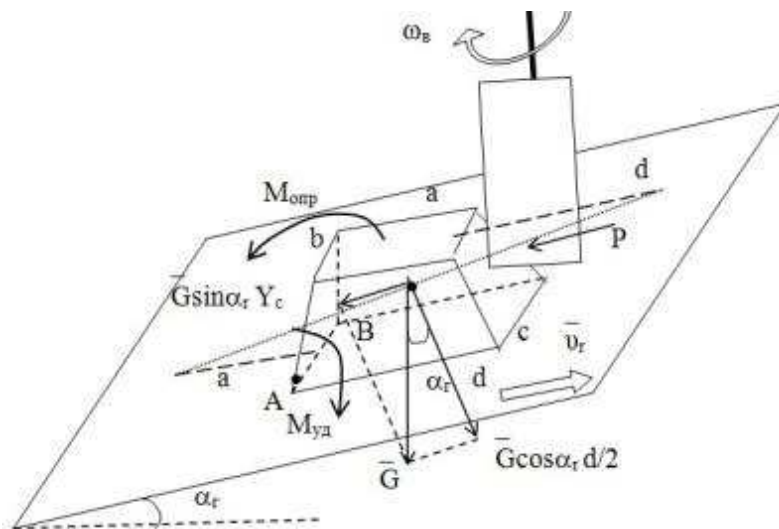


Рисунок 6 – Схема взаимодействия компонента в форме усеченной пирамиды с пластиной клубнеотражателя

С учетом (1) имеем

$$G \cos\left(a_{\Gamma} \frac{d}{2}\right) \leq G \sin\left(a_{\Gamma} Y_c\right) + P \cdot Y_c \quad (30)$$

Из выражения (30) получим силу необходимую для предания компоненту наиболее благоприятного для схода с полотна положения:

$$P \geq \frac{\left(G \cos\left(a_{\Gamma} \cdot \frac{d}{2}\right) - G \sin\left(a_{\Gamma} \cdot Y_c\right)\right)}{Y_c} \quad (31)$$

Силу тяжести определяем по выражению:

$$G = m_k g, \quad (32)$$

где  $m_k$  – масса компонента, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$$m_k = V_k \rho_k, \quad (33)$$

где  $\rho_k$  – плотность компонента, кг/м<sup>3</sup>;

$V_k$  – объем компонента, кг/м<sup>3</sup>.

С учетом (32), (33) выражение (31) для силы необходимой для переворота компонента на полотне горки примет вид:

$$P \geq \frac{V_k \cdot \rho_k \cdot g}{Y_c} \left( \cos\left(a_{\Gamma} \cdot \frac{d}{2}\right) - \sin\left(a_{\Gamma} \cdot Y_c\right) \right) \quad (34)$$

Объем компонента:

$$V_k = \frac{h}{3} (S_B + S_H + \sqrt{S_B \cdot S_H}) = \frac{h}{3} (a \cdot b + c \cdot d + \sqrt{a \cdot b \cdot c \cdot d}) \quad (35)$$

$$Y_c = h - \frac{h}{3} \cdot \frac{2d + a}{a + d} \quad (36)$$

С учетом (35) и (36) выражение (34) примет вид:

$$P \geq \frac{(a + d)(a \cdot b + c \cdot d + \sqrt{a \cdot b \cdot c \cdot d}) \cdot \rho_k \cdot g}{2a + d} \left( \cos\left(a_{\Gamma} \cdot \frac{d}{2}\right) - \sin\left(a_{\Gamma} \cdot Y_c\right) \right) \quad (37)$$

По результатам анализа зависимости величины силы от угла наклона полотна, состава и формы компонента, при изучении взаимодействия компонентов в форме прямоугольного параллелепипеда, треугольной пирамиды, полусферы, усеченной пирамиды было выявлено, что величина, необходимая для опрокидывания силы при схожих габаритных размерах компонента, зависит от формы компонента. Форма прямоугольного параллелепипеда, является наиболее неблагоприятной для схода компонента с полотна горки[1, 2].

### Список литературы

1. Бышов, Н.В. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных комбайнов: монография / Н.В. Бышов, А.А.Сорокин. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 1999. – 134 с.
2. Повышение эффективности уборочных операций (на примере картофеля) / В.А. Павлов, И.А. Успенский, И.А. Юхин[и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. –2014. – №04(098). С. 1138 – 1148.– Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/83.pdf>.
3. Технологическое и теоретическое обоснование конструктивных параметров органов вторичной сепарации картофелеуборочных комбайнов для работы в тяжелых условиях / Н.В. Бышов, В.А. Павлов, И.А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского

государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2012. - № 16. - С. 87-90.

4. Анализ эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам и показателей их работы в условиях Рязанской области / Г.К. Рембалович [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2013. - № 17. - С. 64-68.

5. Голиков, А.А. Перспективное направление развития сепарирующих устройств корнеклубнеуборочных машин / А.А. Голиков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2013. - № 20. - С. 103-105.

6. Перспективный орган вторичной сепарации / В.А. Павлов, И.А. Успенский, Г.К. Рембалович [и др.] // Сборник научных работ студентов Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань: Изд-во ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2011. – Т. 1. - С. 252-255.

7. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля [Электронный ресурс] / Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов, В.А. Павлов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. – №88. - С. 509 – 518. - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>.

8. Алгоритм сохранения качества плодоовощной продукции при уборочно-транспортных работах / И.А. Успенский, И.А. Юхин, С.В. Колупаев [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2013. - №12. – С.12-15.

## References

1. Byshov, N.V. Principy i metody rascheta i proektirovaniya rabochih organov kartofeleuborochnyh kombajnov: monografija / N.V. Byshov, A.A.Sorokin. – Rjazan': FGBOU VPO RGATU, 1999. – 134 s.
2. Povyshenie jeffektivnosti uborochnyh operacij (na primere kartofelja) / V.A. Pavlov, I.A. Uspenskij, I.A. Juhin[i dr.] // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU [Jelektronnyj resurs]. –2014. – №04(098). S. 1138 – 1148.– Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/83.pdf>.
3. Tehnologicheskoe i teoreticheskoe obosnovanie konstruktivnyh parametrov organov vtorichnoj separacii kartofeleuborochnyh kombajnov dlja raboty v tjazhelyh uslovijah / N.V. Byshov, V.A. Pavlov, I.A. Uspenskij [i dr.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. - 2012. - № 16. - S. 87-90.
4. Analiz jekspluatacionno-tehnologicheskijh trebovanij k kartofeleuborochnym mashinam i pokazatelej ih raboty v uslovijah Rjazanskoj oblasti / G.K. Rembalovich [i dr.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. - 2013. - № 17. - S. 64-68.
5. Golikov, A.A. Perspektivnye napravlenie razvitija separirujushhih ustrojstv korneklubneuborochnyh mashin / A.A. Golikov // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. - 2013. - № 20. - S. 103-105.
6. Perspektivnyj organ vtorichnoj separacii / V.A. Pavlov, I.A. Uspenskij, G.K. Rembalovich [i dr.] // Sbornik nauchnyh rabot studentov Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – Rjazan': Izd-vo FGBOU VPO RGATU, 2011. – Т. 1. - S. 252-255.
7. Povyshenie jekspluatacionno-tehnologicheskijh pokazatelej transportnoj i special'noj tehniky na uborke kartofelja [Jelektronnyj resurs] / G.K. Rembalovich, N.V. Byshov, V.A. Pavlov [i dr.] // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo

gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2013. – №88. - S. 509 – 518. - Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>.

8. Algoritm sohraneniya kachestva plodoovoshhnoj produkcii pri uborochno-transportnyh rabotah / I.A. Uspenskij, I.A. Juhin, S.V. Kolupaev [i dr.] // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2013. - №12. – S.12-15.

Byshov, N.V. Principles and methods of calculation and designing of working bodies potato harvesters: monograph / N.V. Byshov, A.A. Sorokin. - Ryazan: Publishing house to FGBOU VPO RGATU, 1999. - 134 s.