

УДК 631.356.4

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА БЛОКА ТРАНСПОРТЕРОВ ПРИ СЕПАРАЦИИ ПОЧВЕННОГО ВОРОХА НА УБОРКЕ КОРНЕПЛОДОВ**

Ульянов Максим Владимирович  
к.т.н.

Scopus Author ID: 57212196846

РИНЦ SPIN-код: 5363-1748

[ulyanovmv@mail.ru](mailto:ulyanovmv@mail.ru)

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», 400002 Россия, г. Волгоград, пр-т. Университетский д.26*

Скрипкин Дмитрий Владимирович  
к.т.н.

Scopus Author ID: 57440846500

РИНЦ SPIN-код: 3628-3127

[umka525@mail.ru](mailto:umka525@mail.ru)

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», 400002 Россия, г. Волгоград, пр-т. Университетский д.26*

Харлашин Александр Владимирович  
к.т.н.

Scopus Author ID: 57211408236

РИНЦ SPIN-код: 9687-2342

[harlashin@list.ru](mailto:harlashin@list.ru)

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», 400002 Россия, г. Волгоград, пр-т. Университетский д.26*

Толчек Александр Дмитриевич

РИНЦ SPIN-код: 9687-2342

[Tolchek-a@mail.ru](mailto:Tolchek-a@mail.ru)

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», 400002 Россия, г. Волгоград, пр-т. Университетский д.26*

Уборка урожая корнеплодов – одна из наиболее сложных и трудоемких работ, так как она в настоящее время особенно в малых крестьянско-фермерских хозяйствах мало механизирована и выполняется главным образом вручную. При этом на уборку урожая в таких предприятиях тратится до 70% от общих затрат на возделывание всех

UDC 631.356.4

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE CONVEYOR UNIT WORKFLOW WHEN A SOIL PILE IS SEPARATED IN THE ROOT CROP HARVEST**

Ulyanov Maxim Vladimirovich  
Cand.Tech.Sci.

Scopus Author ID: 57212196846

RSCI SPIN-code: 5363-1748

[ulyanovmv@mail.ru](mailto:ulyanovmv@mail.ru)

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Agricultural University», 400002 Russia, Volgograd, prospekt Universitetskiy, d.26*

Skripkin Dmitriy Vladimirovich  
Cand.Tech.Sci.

Scopus Author ID: 57440846500

RSCI SPIN-code: 3628-3127

[umka525@mail.ru](mailto:umka525@mail.ru)

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Agricultural University», 400002 Russia, Volgograd, , prospekt Universitetskiy, d.26*

Kharlashin Aleksandr Vladimirovich  
Cand.Tech.Sci.

Scopus Author ID: 57211408236

RSCI SPIN-code: 9687-2342

[harlashin@list.ru](mailto:harlashin@list.ru)

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Agricultural University», 400002 Russia, Volgograd, , prospekt Universitetskiy, d.26*

Tolchek Aleksandr Dmitrievich

RSCI SPIN-code: 8548-6019

[Tolchek-a@mail.ru](mailto:Tolchek-a@mail.ru)

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Agricultural University», 400002 Russia, Volgograd, prospekt Universitetskiy, d.26*

Harvesting root crops is one of the most complex and labor-intensive works, since it is currently low mechanized and carried out mainly by hand, especially on small farms. Up to 70% of the total costs of cultivating all the root crops are spent therewith on harvesting in such enterprises. These labor costs are conditional on the yield of the harvest itself and can

корнеплодов. Данные затраты труда обусловлены величиной самого урожая и могут достигать 150 рабочих дней на гектар при уборке всего урожая корнеплодов. Эта проблема связана с получаемым объемом корнеплодов с одного гектара, сжатыми сроками уборки, опасностью повреждения или порчи продукции в связи с наступлением дождливой погоды или заморозков, а также непосредственно других условий. Универсальные уборочные агрегаты для уборки всех разновидностей корнеплодов промышленностью не выпускается. Это сдерживает развитие производства корнеплодов. В настоящее время в России проводится ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по механизации уборки урожая корнеплодов, при этом в данных исследованиях получены положительные результаты. Цель исследования – обоснование методик расчета размеров, а также параметров и режимов работы разработанного и предлагаемого блока транспортеров применяемого в уборочной технике и осуществляющего сепарацию почвенного вороха и разделения потоков почвенных комьев от потоков корнеплодов, поступающих на рабочую поверхность блока транспортеров. Получены выражения для определения размерных характеристик блока транспортеров, скоростей перемещения ленточного и прутково-планчатого транспортеров их зависимость от необходимого режима работы. Определены выражения, определяющие пропускную способность блока транспортеров при работе разработанного устройства в агрегате, применяемом на уборке урожая корнеплодов

Ключевые слова: УБОРКА КОРНЕПЛОДОВ, СЕПАРАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ВОРОХА, БЛОК ТРАНСПОРТЕРОВ, ЛЕНТОЧНЫЙ ТРАНСПОРТЕР, ПЛАНЧАТО-ПРУТКОВЫЙ ТРАНСПОРТЕР

reach 150 working days per hectare when all the root crops are harvested. This problem is connected with the volume of the root crops, which are obtained per hectare, tight harvesting deadlines, the danger of damage to or spoilage of the products due to the onset of rainy weather or frosts, as well as other adverse conditions. Universal harvesting units for harvesting all varieties of root crops are not produced in the industry, thus restraining the development of root crop production. Currently, a number of research and development studies are being carried out in Russia in order to mechanize the harvest of root crops, with positive results being obtained in these studies. The purpose of this study is to justify the methods of calculating the dimensions, as well as the parameters and operating modes, of the conveyor unit developed and proposed, which is used in harvesting equipment and which performs the separation of a soil pile and soil clump flows from root crop flows, which enter the working surface of the conveyor unit. Expressions to determine the dimensional parameters of the conveyor unit and speeds of movement of the belt conveyors and slatted rod conveyors have been obtained, as well as the dependence thereof on the required operating mode. The expressions, which determine the bandwidth of the conveyor unit during the operation of the device developed in a machine used for harvesting root crops, have been determined

Keywords: ROOT CROP HARVEST, SOIL PILE SEPARATION, CONVEYOR UNIT, BELT CONVEYOR, SLATTED ROD CONVEYOR

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-198-028>

**Введение.** Технология уборки урожая корнеплодов является энергозатратным процессом при возделывании корнеплодов. Затраты ресурсов на уборку урожая корнеплодов, достигают 60% от всех затрат технологии возделывания. Связаны они из-за отсутствия в хозяйствах занимающихся производство корнеплодов универсальной уборочной техники обеспечивающей уборку широкого спектра урожая корнеплодов [1].

<http://ej.kubagro.ru/2024/04/pdf/28.pdf>

Решая данную технологическую проблему, проектировщики и конструкторы встречаются ряд технологических проблем при разработке уборочных машин и агрегатов для уборки урожая корнеплодов. Вследствие чего разработка уборочных агрегатов отвечающие, запросам хозяйств по экономической и энергетической эффективности, имеющие высокую производительность и соответствующие агротехническим требованиям уборки корнеплодов, не удается[2;3;4].

На сегодняшний день в связи с недостатком рабочих рук задействованных на производстве корнеплодов, сельскохозяйственное производство все шире внедряют средства механизации и автоматизации при уборке урожая корнеплодов, позволяющие снижать энергетические затраты на уборке в разы. Однако опыт применения комбайнов на уборке корнеплодов в различных климатических условиях, открыл их недостатки. Особенно при уборке корнеплодов на тяжелых почвах. Это низкая надежность узлов и агрегатов уборочной техники, высокая засоренность убираемого урожая комьями почвы, высокий процент травмирования корнеплодов[5;6].

Выбор культуры, сорта корнеплодов, технологии возделывания сильно зависит от природно-климатических и почвенных условий производства. Так же на выбор технологии возделывания оказывает влияние экономическая эффективность производства корнеплодов, их урожайность, а так же наличие на предприятии необходимых материалов и ресурсов, необходимых для возделывания[7;8;15;16].

**Цель исследования** – обоснование методик расчета размеров, а также параметров и режимов работы разработанного и предлагаемого блока транспортеров применяемого в уборочной техники и осуществляющего сепарацию почвенного вороха и деления потоков почвенных комьев от потоков корнеплодов, поступающих на рабочую поверхность блока транспортеров.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Уборка корнеплодов должно осуществляется в минимально короткие сроки до наступления ненастной погоды, с целью предотвращения негативного влияния осадков на убираемый урожай. Для возделывания корнеплодов необходимо выбирать почвы, имеющие низкий процент засоренности, хорошо удобренные. По физико механическому составу лучше всего подходят супесчаные или легкосуглинистые почвы, а участки необходимо подбирать равные или имеющие уклон не более 3°.

Корнеплоды убирают по двум основным технологиям [9;10]:

однофазная технология заключается в уборке урожая корнеплодов комбайнами за один проход, с последующей транспортировкой полученного урожая с поля для сушки и складирования в стационарных хранилищах.

двух фазная применяется в сложных климатических условиях и осуществляется двумя этапами первый это подкапывание извлечение корнеплодов из почвы и укладкой их на поверхность почвы с целью подсушивания, а второй этап заключается в подборе подсушенных корнеплодов в транспортное средство и транспортировка урожая к местам хранения или переработки.

В применяемых на уборке корнеплодов подкапывающих агрегатах и комбайнах, разделение и сепарация корнеплодов от комьев почвы осуществляется в основном по размерным характеристикам. Широкое распространение получили колеблющиеся грохоты и прутковые транспортеры. Они обладают высокой степенью сепарации до 90%, необходимой производительностью, а так же малой степенью травмирования корнеплодов при сепарации. Основным преимуществом данных механизмов является способность перемещения сепарируемого вороха на возвышение при наклоне плоскости сепарации [11;12;15].

Технологический процесс работы прутковых транспортеров осуществляется в следующем порядке, подрезанный лемешным подкапывающим органом пласт почвы, попадая на прутковый транспортер, перемещается в сторону движения планок, а мелкие частицы почвы просыпаются между прутьями транспортера. С целью увеличения сепарации прутковым транспортером перемещаемого вороха, в опору рабочей ветви пруткового полотна устанавливают овальные опорные звездочки или встряхиватели, имеющие привод, с независимым от скорости перемещения прутков транспортера источником. Звездочки могут быть различных форм рабочей поверхности, но они должны увеличивать нормальную составляющую скорости и ускорения отдельного прутка транспортера. Что позволяет широко применять эллиптической формы встряхиватели в различных подкапывающих и уборочных агрегатах корнеуборочной техники.

Другая разновидность средств сепарации почвенного вороха с корнеплодами применяемая в уборочных машинах и линиях по сортировке являются решетчатые грохоты с продольными колебаниями. Они обладают возможностью задачи амплитуды колебаний с точным направлением перемещений сепарируемого вороха, а так же скоростью и ускорением всех частей вне зависимости от их колеблющихся масс.

Решетчатые грохоты различаются по характеру и траектории колебаний; бывают круговой, сложной траектории перемещений; по наклону решет к горизонту, а так же по месту крепления решет, количеству и расположению последних относительно друг друга.

Одним из недостатков решетчатых грохотов применяемых в корнеуборочных машинах является недостаточное качество разделения почвенного вороха при увеличении подачи массы объемом, превышающим  $60 \text{ кг/с}\cdot\text{м}$ . Этот показатель завязан со скоростью перемещения почвенного

вороха решетным грохотом. Чем больше объем перемещаемого вороха, тем меньше скорость и снижение производительности агрегата в целом.

В оптимальных условиях работы решетного грохота длиной в 1 м при сепарации сухого почвенного вороха максимально допустимой подачей массы будет объем не превышающий 70 кг/с·м. Однако при дальнейшем увеличении длины решетного грохота до 2-х метров и учитывая коэффициент сепарации комковатости почв находящегося в пределах 0,85...0,9, подача почвенного вороха на грохот может быть увеличена до 100 кг/с·м, а при последующем повышении подачи более чем еще на 30 кг/с·м решетный грохот перестает осуществлять сепарацию вороха [13]. Данная проблема часто встречается в решетных грохотах, состоящих из двух решет и расположенных друг за другом, и связана она в сложности уравнивания сил инерции возникающих при его работе. При этом в существующих машинах, применяемых на уборке корнеплодов установленные в систему сепарации решетные грохоты и расположенные друг за другом, и возникающий момент сил инерции уравнивается монтажом противовесов на элементы приводов грохота. Однако применяемый способ уравнивания не дает желаемых результатов, при этом появляющиеся колеблющиеся масса, влечет за собой необходимость дополнительного усиления конструкций несущих рам и опор и механизмов уборочных агрегатов, что влечет увеличение массы всей машины в целом.

В настоящее время в корне-уборочных агрегатах отделение комьев почвы из массы корнеплодов сопоставимых размерами, в соответствии с агротехническими требованиями предъявляемых к величине комьев в ворохе, это соотношение не выполняется, из-за неудовлетворительной работой рабочих органов, как первичной, так и вторичной ветвей сепарации [14].

Рассмотрев имеющиеся проблемы, и исходя из физико-механических и биологических свойств корнеплодов (картофеля, столовой свеклы, лука

репки), их особенностей технологических процессов возделывания, предложен механизм, обеспечивающий качественное разделение вороха почвы от корнеплодов на основе предлагаемого способа разделения массы по максимальному углу опрокидывания сепарируемых комьев почвы от корнеплодов.

Представленный механизм, блок транспортеров (Рисунок 1), обеспечивает сепарацию корнеплодов от почвенных комьев. Включает в себя ленточный 1 и прутково-планчатый транспортеры смонтированных на ведущем 4 и ведомом валах установленных на раме 10 блока транспортеров установленной под углом к горизонтальной плоскости  $\alpha$  относительно ведомого вала 5. Предложенная конструкция позволяет осуществлять сепарацию почвенных комьев и корнеплодов сопоставимых по размеру и форме в результате разности перемещения транспортной ленты и прутково-планчатого транспортера механизма блока транспортеров.

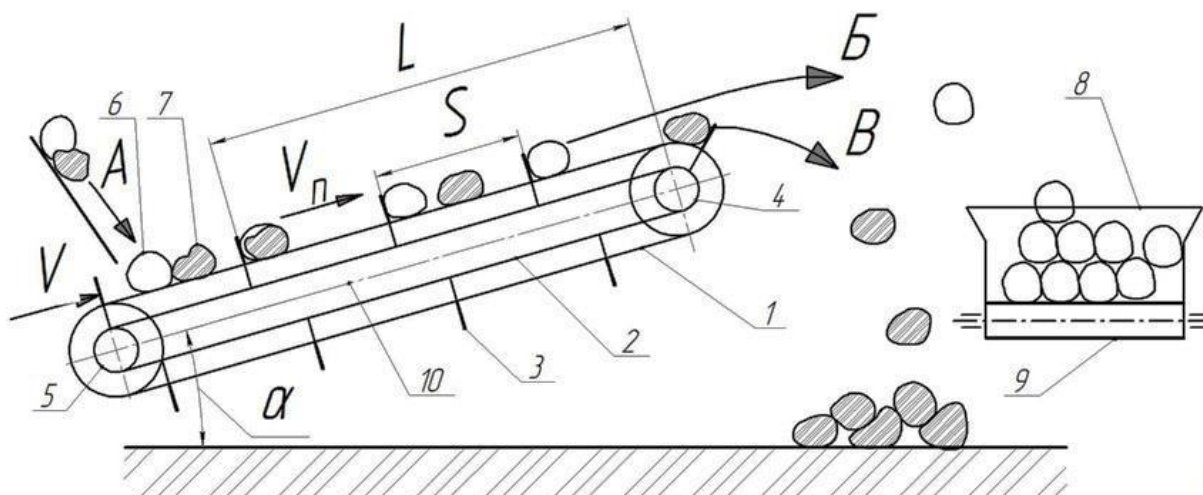


Рисунок 1. Схема работы разработанного блока транспортеров для разделения вороха на корнеплоды и почвенные комья.

А направление подачи вороха; Б направление схода корнеплодов; В направление схода почвенных комьев; 1 ленточный транспортер; 2 планчато-прутковый транспортер; 3 планка; 4, 5 ведущий и ведомый вал блока транспортеров; 6 корнеплод; 7 ком почвы; 8 бункер; 9 выгрузной транспортер; 10 рама

Рабочий процесс предлагаемого блока транспортеров заключается в следующем.

Ворох состоящий из схожих по размеру и форме комьями почвы и корнеплодами поступает на блок транспортеров в направлении (А) где начинается блок транспортеров на ведомый вал 5. Перемещаясь со скоростью  $v$  полотном ленточного транспортера 1 совместно с прутково-планчатым транспортером 2, в работе ворох удерживается от самопроизвольного скатывания планками 3 прутково-планчатого транспортера, движущийся со скоростью  $v_{п}$ , при этом перемещая ворох в направлении ведущего вала 4. В процессе работы ленточный и прутково-планчатый транспортеры, вращаются с различными скоростями движения. При этом ворох на сходе с блока транспортеров начинает разделяться, под воздействием центробежной силы которая оказывает воздействие на комья почвы и корнеплоды заставляя сходить эти элементы всей массы с блока транспортеров каждый по своей траектории.

Исходя из особенностей физико-механических свойств корнеплодов и почвенных комьев, схожих по размерам, однако, имеющие более округлую форму корнеплоды скатываются под воздействием уклона и, упершись в планку 3 прутково-планчатого транспортера, перемещаются к краю блока транспортеров где отправляются при сходе с него в направлении (Б) на расстояние большее чем перемещенные этой же планкой почвенные комья, которые отбрасываются ей в направлении (В) таким образом, разделяясь на два потока. Почвенные комья сбрасываются на поверхность поля, а корнеплоды поступают в бункер-накопитель 8, на дне которого смонтирован выгрузной транспортер 9, обеспечивающий выгрузку корнеплодов в транспортное средство.

В предлагаемой конструкции блока транспортеров при протекании технологического процесса почвенные комья, поступившие на рабочую поверхность должны перемещаться с большей скоростью относительно

планок прутково-планчатого транспортера. При этом соотношение скоростей должно быть таким, чтобы на заданной длине путь, который проходят почвенные комья за счет разности скоростей, но одинаковом времени, был не более шага планок прутково-планчатого транспортера.

Для определения соотношения скоростей блока транспортеров найдем сначала скорость ленточного транспортера. Так как этот транспортер задает необходимую производительность корнеуборочного агрегата. Общую массу всего вороха, подаваемую на блок транспортеров в единицу времени, запишем  $Q_0$ , кг, а массу почвенных комьев запишем как  $Q_k$ , кг, при этом значение массы представим как коэффициент пропорциональности  $\eta_k$

$$Q_k = \eta_k \cdot Q_0, \quad (1)$$

Предложенная конструкция блока транспортеров монтируется в систему очистки корнеуборочного агрегата, при этом он соответствует всем геометрическим параметрам уборочного агрегата включая и его ширину  $B_n$ , м. В связи с этим скорость ленточного транспортера можно определить из выражения:

$$Q_k = B_n \cdot v_l \cdot \rho, \quad (2)$$

где:  $\rho$  – коэффициент плотности пласта почвы подаваемого на ленту блока транспортеров,  $v_l$  – скорость ленточного транспортера м/с.

Выразив из данного выражения (2) скорость ленты получим:

$$v_l = \frac{Q_k}{B_n \cdot \rho} = \frac{\eta_k \cdot Q_0}{B_n \cdot \rho}, \quad (3)$$

Где выражение величины масса вороха, подаваемая на блок транспортеров по времени  $Q_0$  примет вид:

$$Q_0 = \frac{V \cdot \gamma}{t},$$

где:  $V$  - является величиной объёма почвенного вороха  $\text{м}^3$ ;  $\gamma$  – значение коэффициента объемной массы почвенного вороха;  $t$  – время нахождения всего вороха на блоке транспортеров, с.

Подставив полученное выражение в формулу (3) получим:

$$v_n = \frac{\eta_k \cdot V \cdot \gamma}{B_n \cdot \rho}, \quad (4)$$

Скорость ленточного транспортера установленного в предложенной конструкции будет определима только при постоянной подаче вороха на работающую установку. При этом ворох фактически на блок транспортеров попадает в виде почвенного пласта, состоящего из почвенных комьев имеющие фактические размеры:  $a_k$  – длину, м,  $b_k$  – ширину, м и  $h_k$  – высоту, м.

Тогда количество почвенных комьев, подаваемых на блок транспортеров, можно определить:

$$z_k = \frac{V}{V'}, \quad (5)$$

где:  $V'$  - объем одного почвенного комка в ворохе,  $\text{м}^3$ .

Подставив выражение (5) в выражение (4) получим:

$$v_n = \frac{\eta_k \cdot z_k \cdot V' \cdot \gamma}{B_n \cdot \rho \cdot t}, \quad (6)$$

Определяя скорость ленточного транспортера необходимо учитывать, что комья почвы на ленточном транспортере распределяются хаотично, с разнообразным расстоянием друг от друга, учитывая данный процесс внесем в предыдущую формулу дополнительный коэффициент увеличения скорости перемещения ленточного транспортера  $\eta_s > 1$ , и тогда окончательная формула определения скорости ленточного транспортера примет следующее:

$$v_{л} = \frac{\eta_k \cdot \eta_s \cdot z_k \cdot V' \cdot \gamma}{B_n \cdot \rho \cdot t}, \quad (7)$$

Для определения расстояния между планками планчато-пруткового транспортера необходимо рассчитать общую площадь необходимую для размещения  $z_k$  почвенных комьев на ленточном транспортере:

$$S_{\Sigma} = S' \cdot z_k \cdot \eta_s,$$

где  $S'$  - фактическая площадь, используемая почвенным комом на ленточном транспортере, м<sup>3</sup>.

Длину транспортерной ленты  $l_T$ , м, определим из выражения:

$$l_T = \frac{S' \cdot z_k \cdot \eta_s}{B_n}, \quad (8)$$

Тогда объем порции почвенного вороха находящаяся на ленточном транспортере перед планкой планчатого транспортера будет определяться:

$$V_{nop} = \frac{0,5 \cdot d_k^2 \cdot \cos \alpha \cdot B_n}{tg \xi}, \quad (9)$$

где:  $d_k$  – диаметр корнеплода, м,  $\xi$  – угол естественного откоса вороха корнеплодов.

Отсюда количество комьев почвы в данном объеме будет определяться как:

$$z_k = \frac{V_n}{V'} = \frac{0,5 d_k^2 \cdot \cos \alpha \cdot B_n}{tg \zeta \cdot V'}, \quad (10)$$

Используя полученное выражение и подставив его в выражение определяющее длину транспортерной ленты, получим следующее;

$$l_T = \frac{0,5 d_k^2 \cdot \cos \alpha \cdot B_n \cdot S' \cdot \eta_s}{B_n \cdot tg \zeta \cdot V'}, \quad (11)$$

Учитывая, что объем одного почвенного комка  $V'$ , м<sup>3</sup>, равен произведению площади, занимаемой одним куском  $S'$  фактическая

площадь, используемая почвенным комом на ленточном транспортере,  $m^3$ , на высоту данных комков  $h_k$ , м, тогда получим:

$$l_T = \frac{0,5d_k^2 \cdot \cos\alpha \cdot \eta_s}{tg\xi \cdot h_k}, \quad (12)$$

**Результаты исследования.** Полученное выражение, определяющая длину участка ленточного транспортера  $l_T$  являясь при этом одновременно и шагом планок  $T_n$  установленных на прутковом транспортере. Отсюда следует, что планчато-прутковый транспортер должен обладать меньшей скоростью, чем ленточный, при этом отличие скоростей ленточного от планчато-пруткового по всей длине блока транспортеров не должна быть больше расстояния между двумя ближними планками планчато-пруткового транспортера, в следствии чего комья почвы, расположенные на ленточном транспортере достигнут предыдущую планку. Тогда это может привести к несвоевременному опрокидыванию вороха с блока транспортеров, при этом процесс сепарации будет нарушен:

$$T_n = \frac{0,5d_k^2 \cdot \cos\alpha \cdot \eta_s}{tg\xi \cdot h_k}, \quad (13)$$

Длина блока транспортеров выбирается исходя из устройства системы сепарации проектируемого корнеуборочного агрегата и обозначается как  $L_T$ . Тогда время пройденное ее длину точкой, находящейся на ленточном транспортере можно определить по формуле:

$$t = \frac{L_T}{v_l}, \quad (14)$$

Так как планчатый транспортер должен двигаться с меньшей скоростью, чем ленточный транспортер запишем зависимость:

$$T_n = (v_l - v_n) \cdot t, \quad (15)$$

где  $v_n$  – скорость перемещения планчатого транспортера, м/с.

Подставив значение в выражения 15 и 14 определим скорость  $v_n$ :

$$v_n = \frac{(L_2 - T_n) \cdot v_l}{L_2}, \quad (16)$$

Определим длину рабочей ветви планчато-пруткового транспортера через общее количество, задействованных в работе планок  $n_n$ , получим:

$$v_n = \frac{T_n(n_n - 2) \cdot v_l}{T_n(n_n - 1)}, \quad (17)$$

Подставим данное выражение в формулу 7 для определения скорости ленточного транспортера  $v_n$  получим:

$$v_n = \frac{\eta_k \cdot \eta_s \cdot z_k \cdot V' \cdot \gamma(n_n - 2)}{B_n \cdot \rho \cdot t}, \quad (18)$$

Поскольку  $t = \frac{T_n(n_n - 1)}{v}$ , от скорость планчатого транспортера будет равна:

$$v_n = \frac{\eta_k \cdot \eta_s \cdot z_k \cdot V' \cdot v_l \cdot \gamma(n_n - 2)}{B_n \cdot \rho \cdot T_n(n_n - 1)}, \quad (19)$$

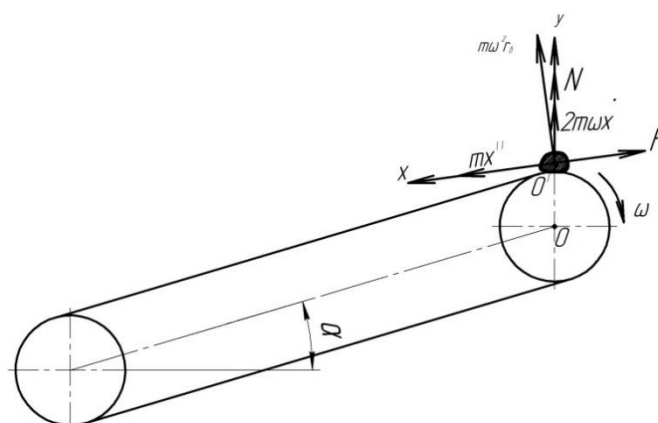
Подставив выражение 13, в полученное уравнение получим окончательную формулу скорости планчатого транспортера 20:

$$v_n = \frac{\eta_k \cdot \eta_s \cdot z_n \cdot V' \cdot v_l \cdot \gamma(n_n - 2) \cdot \operatorname{tg} \xi \cdot h_k}{0,5d_n^2 \cdot \cos \alpha \cdot B_n \cdot \rho(n_n - 1)}. \quad (20)$$

Определим предельное значение угла наклона блока транспортеров  $\alpha$  оказывающий влияние на работоспособность предложенной конструкции. Малое значение этого угла повлечет за собой снижение эффективности процесса разделения, а при минимальном значении  $\alpha_{min}$  рабочий процесс сепарации прекращается, а при больших его значениях приводит к нарушению процесса сепарации по причине скатывания почвенных комьев в противоположную сторону к клубням картофеля, что влечет нарушение предложенной технологии разделения почвенного вороха. Однако при определении угла наклона блока транспортеров особо значимым является

величина максимального угла наклона  $\alpha_{min}$ , оказывающее влияние на получение максимальной производительности по разделению почвенных комьев от клубней картофеля.

При работающем блоке транспортеров поступающий на него почвенный ворох за счет разности перемещения клубней картофеля и почвенных комьев последние будут оказываться в конце ленточного транспортера, где появляется зона сбрасывания почвенного кома при максимальной его неустойчивости. В таком случае значение действующих сил на данный почвенный ком в этот момент резко изменится в направлении и значениях и в этих условиях почвенный ком из устойчивого положения перейдет в неустойчивое. Рассмотрим схему действующих сил и моментов (Рисунок 2) на почвенный ком в момент начала его



опрокидывания с ленточного транспортера для определения угла наклона послед него.

Рисунок 2. Схема сил, действующих на почвенный ком при неуровнешенном положении

Спроецируем действующие силы на почвенный ком на оси  $Ox$  и  $Oy$  относительно центра  $O'$  и примем что почвенный ком в сечении имеет вид прямоугольника со сторонами  $a \cdot b$  и составим уравнения моментов:

$$\sum X = 0; ; mx'' + m\omega^2 r_0 \times \sin \alpha - F = 0 \quad (21)$$

$$\sum Y = 0; 2m\alpha\dot{x} + N - mg + m\omega^2 r_0 \times \cos\alpha = 0 \quad (22)$$

$$\sum M_O = 0; m\ddot{x} \cdot a + m\omega^2 r_0 \cdot \sqrt{a^2 + b^2} - N \cdot b - 2m\alpha\dot{x} \cdot b - mg\sqrt{a^2 + b^2} \cdot \cos\alpha = 0 \quad (23)$$

Так как мы рассматриваем расположение почвенного кома на краю ленточного транспортера в верхнем положении при моменте наступления неустойчивого положения кома, значение угла  $\sin\alpha$  в данном моменте будет минимальным, следовательно, этой величиной можно пренебречь.

Используя уравнения моментов сил (23) действующих на почвенный ком в момент начала опрокидывания определим угол наклона блока транспортеров. При этом нормальная сила  $N$ , действующая со стороны ленточного транспортера будет равна нулю, тогда преобразовав данные выражения, а также для упрощения обозначив:  $\sqrt{a^2 + b^2} = d$  и, выразив из выражений угол  $\alpha$ , получим окончательное выражение определяющее угол наклона блоков транспортеров:

$$\alpha = \arccos \left[ \frac{e^{-2\cdot f\alpha t} - (gf - \omega^2 r_0 f) \cdot a - (\omega^2 r_0 - g) \cdot b}{g \cdot d} + \frac{\omega^2 r_0}{g} \right].$$

Рассматривая полученное выражение можно заметить, что при возрастании знаменателя угол наклона блоков транспортеров увеличивается. Тем не менее увеличение размера почвенного кома по величине  $a$  (высота) влечет за собой уменьшение угла  $\alpha$ , а возрастание  $b$  (ширины) к обратному.

Подставив в полученное выражение численные значения переменных, выполнив расчет данной формулы с габаритными размерами почвенного кома 50 мм на 50 мм получим величину угла наклона блока транспортеров равным  $\alpha \leq 21^\circ$ , для последующего удобства использования принимаем  $\alpha \leq 20^\circ$ .

**Выводы.** На основе проведенного анализа существующих способов разделения потоков почвенного вороха, состоящего, из корнеплодов и почвенных комьев, разработана и представлена конструктивно-технологическая схема блока транспортеров. Позволяющая осуществлять разделение почвенного вороха, с корнеплодами используя разность скоростей блоков транспортеров. Перемещая при этом, почвенные комья имеющие форму и размер корнеплодов на поверхность поля, а сами корнеплоды в бункер накопитель. Обоснованы, угол наклона блока транспортеров, длина ленточного транспортера, расстояние между планками планчатого транспортера, а так же определено выражение определяющая скорость планчатого транспортера являющейся основой работоспособности блока транспортеров предназначенного для сортирования почвенных комьев от корнеплодов.

### Литература

1. Аксенов, А. Г. Состояние технического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации / А. Г. Аксенов, А. В. Сибирев // Картофель и овощи. – 2021. – № 8. – С. 3–8.
2. Безносюк, Р. В. Повышение эффективности работы для очистки вороха в картофелеуборочных машинах / Р. В. Безносюк [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2020. – № 4 (48). – С. 77–82.
3. Головин А.Ю. Анализ работы плоского решета, совершающего колебания в горизонтальной плоскости Головин А.Ю Сабиев У.К., Чупин П.В., Союнов А.С., Прокопов С.П. // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 4. С. 27-34.
4. Дорохов, А. С. Разработка показателей комплексной оценки интеллектуализации машинного производства овощных культур / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 3. – С. 68–74.
5. Дорохов А.С. Результаты полевых исследований машины для уборки корнеплодов и лука с регулируемым углом наклона полотна / А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов // Научно-теоретический и практический журнал для ученых и специалистов Нива Поволжья – 2020. - №1 (54). С. 118 – 126.
6. Евтехов, Д. В. Исследование эксплуатационных показателей картофелеуборочных машин с модернизированными рабочими органами / Д.В. Евтехов, Р.В. Безносюк, С.Т. Кодиров [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – № 1(49). – С. 112-119.
7. Калинин А.Б. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания

сельскохозяйственных культур / А.Б. Калинин, В.А. Смелик, И.З. Теплинский, О.Н. Первухина // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 39. – С. 315-319.

8. Сазонов, Н. В. Технологическое и техническое обеспечение производства картофеля в России / Н. В. Сазонов, А.А. Дорохов // Картофель и овощи. – 2019. – № 3. – С. 20–22.

9. Скрипкин Д.В. Разработка усовершенствованной конструкции картофелеуборочного комбайна ККУ-2АУ с теоретическим обоснованием технологических параметров / Д.В. Скрипкин, М.В. Ульянов, А.В. Харлашин, Д.В. Иванов, А.Д. Толчек. // Вестник АПК Ставрополя – 2020. - №1 (37). – С. 11-15.

10. Devaux A., The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems / A. Devaux, J.-P. Goffart, P. Kromann, V. Polar, G. Hareau // Potato Research. – 2021. - 64(4), pp.681-720

11. Kukharev, O. N. A Device for guiding of bodies of irregular shape / O. N. Kukharev, N. P. Larushin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – V. 9. – № 3. – P. 30-33.

12. Sibirev, A. V. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator / A. V. Sibirev, A. G. Aksenov, M. A. Mosyakov // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. – № 23. – P. 10086-10091.

13. Sibirev, A. V., Results of laboratory investigations of soil screening ability of a chain digger with asymmetric vibrator arrangement / A. V. Sibirev, A. G. Aksenov, A. S. Dorokhov // INMATEH- Agricultural Engineering. – 2019. – № 1 (57). – P. 9-18.

14. Su F., Application of Xerophytophysiology and Signal Transduction in Plant Production: Partial Root-Zone Drying in Potato Crops / Su F., Li Y., Liu S., Lyu D., Xu H.-L. // Potato Research – 2020. -63(1), pp.41-56

15. Wei, Z C Experiment and analysis of potato-soil separation based on impact recording technology / Wei Z C, Li H W, Mao Y J, Sun C Z, Li X Q, Liu W Z, // Int J Agric & Biol Eng. – 2019. – No 12 (5). P. 71–80.

16. Yongsheng, Si. Potato Tuber Length-Width Ratio Assessment Using Image Analysis / Si Yongsheng, Sindhuja Sankaran, N. Richard Knowles, Mark J. Pavek // American Journal of Po-tato Research. – 2016. – No 94. – P. 88–93.

## References

1. Aksenov, A. G. Sostojanie tehničeskogo obespečenija proizvodstva ovoshnyh kul'tur v Rossijskoj Federacii / A. G. Aksenov, A. V. Sibirev // Kartofel' i ovoshhi. – 2021. – № 8. – S. 3–8.

2. Beznosjuk, R. V. Povyshenie jeffektivnosti raboty dlja ochistki voroha v kartofeleuborochnyh mashinah / R. V. Beznosjuk [i dr.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologičeskogo universiteta im. P. A. Kostycheva. – 2020. – № 4 (48). – S. 77–82.

3. Golovin A.Ju. Analiz raboty ploskogo resheta, sovershajushhego kolebanija v gorizontальной ploskosti Golovin A.Ju Sabiev U.K., Chupin P.V., Sojunov A.S., Prokopov S.P. // Traktory i sel'hozmashiny. 2020. № 4. S. 27-34.

4. Dorohov, A. S. Razrabotka pokazatelej kompleksnoj ocenki intellektualizacii mashinnogo proizvodstva ovoshnyh kul'tur / A. S. Dorohov, A. V. Sibirev, A. G. Aksenov // Traktory i sel'hozmashiny. – 2020. – № 3. – S. 68–74.

5. Dorohov A.S. Rezul'taty polevyh issledovanij mashiny dlja uborki korneplodov i luka s reguliruemym uglom naklona polotna / A.S. Dorohov, A.V. Sibirjov, A.G. Aksenov //

Nauchno-teoreticheskij i prakticheskij zhurnal dlja uchenyh i specialistov Niva Povolzh'ja – 2020. - №1 (54). S. 118 – 126.

6. Evtchov, D. V. Issledovanie jekspluatacionnyh pokazatelej kartofeleuborochnyh mashin s modernizirovannymi rabochimi organami / D.V. Evtchov, R.V. Beznosjuk, S.T. Kodirov [i dr.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2021. – № 1(49). – S. 112-119.

7. Kalinin A.B. Vybor i obosnovanie parametrov jekologicheskogo sostojanija agrojekosistemy dlja monitoringa tehnologicheskikh processov vozdeľvanija sel'skohozjajstvennyh kul'tur / A.B. Kalinin, V.A. Smelik, I.Z. Teplinskij, O.N. Pervuhina // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 39. – S. 315-319.

8. Sazonov, N. V. Tehnologicheskoe i tehničeskoe obespechenie proizvodstva kartofelja v Rossii / N. V. Sazonov, A.A. Dorohov // Kartofel' i ovoshhi. – 2019. – № 3. – S. 20–22.

9. Skripkin D.V. Razrabotka usovershenstvovannoj konstrukcii kartofeleuborochnogo kombajna KKU-2AU s teoreticheskim obosnovaniem tehnologicheskikh parametrov / D.V. Skripkin, M.V. Ul'janov, A.V. Harlashin, D.V. Ivanov, A.D. Tolchek. // Vestnik APK Stavropol'ja – 2020. - №1 (37). – S. 11-15.

10. Devaux A., The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems / A. Devaux, J.-P. Goffart, P. Kromann, V. Polar, G. Hareau // Potato Research. – 2021. - 64(4), pp.681-720

11. Kukharev, O. N. A Device for guiding of bodies of irregular shape / O. N. Kukharev, N. P. Larushin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – V. 9. – № 3. – P. 30-33.

12. Sibirev, A. V. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator / A. V. Sibirev, A. G. Aksenov, M. A. Mosyakov // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. – № 23. – P. 10086-10091.

13. Sibirev, A. V., Results of laboratory investigations of soil screening ability of a chain digger with asymmetric vibrator arrangement / A. V. Sibirev, A. G. Aksenov, A. S. Dorokhov // INMATEH- Agricultural Engineering. – 2019. – № 1 (57). – R. 9-18.

14. Su F., Application of Xerophytophysiology and Signal Transduction in Plant Production: Partial Root-Zone Drying in Potato Crops / Su F., Li Y., Liu S., Lyu D., Xu H.-L. // Potato Research – 2020. -63(1), pp.41-56

15. Wei, Z C Experiment and analysis of potato-soil separation based on impact record-ing technology / Wei Z C, Li H W, Mao Y J, Sun C Z, Li X Q, Liu W Z, // Int J Agric & Biol Eng. – 2019. – No 12 (5). P. 71–80.

16. Yongsheng, Si. Potato Tuber Length-Width Ratio Assessment Using Image Analysis / Si Yongsheng, Sindhuja Sankaran, N. Richard Knowles, Mark J. Pavek // American Journal of Po-tato Research. – 2016. – No 94. – P. 88–93.