

УДК 631.356

UDC 631.356

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ И  
ДОЛГОВЕЧНОСТИ БОТВОУДАЛЯЮЩИХ  
УСТРОЙСТВ ПРИ КЛУБНЕЩЕДЯЩЕЙ  
РАБОТЕ МАШИН НА УБОРКЕ КАРТОФЕЛЯ**

**IMPROVING THE RELIABILITY AND  
DURABILITY OF THE DEVICE FOR  
REMOVING THE TOPS WITH CAREFUL  
TREATMENT OF POTATO TUBERS IN  
HARVESTING MACHINES**

Колупаев Сергей Васильевич  
к.т.н.  
РИНЦ SPIN-код=3320-2808

Kolupaev Sergey Vasilevich  
Cand.Tech.Sci.  
RSCI SPIN-code=3320-2808

Костенко Михаил Юрьевич  
д.т.н., доцент  
РИНЦ SPIN-код= 2352-0690

Kostenko Mikhail Yurievich  
Dr.Sci.Tech., assistant professor  
RSCI SPIN-code=2352-0690

Кокорев Геннадий Дмитриевич  
д.т.н., доцент  
РИНЦ SPIN-код=9173-7360

Kokorev Gennady Dmitrievich  
Dr.Sci.Tech., assistant professor  
RSCI SPIN-code=9173-7360

Успенский Иван Алексеевич  
д.т.н., профессор  
РИНЦ SPIN-код=1831-7116

Uspenskij Ivan Alexeevich  
Dr.Sci.Tech., professor  
RSCI SPIN-code=1831-7116

Бышов Николай Владимирович  
д.т.н., профессор  
РИНЦ SPIN-код= 1630-3916

Byshov Nikolai Vladimirovich  
Dr.Sci.Tech., professor  
RSCI SPIN-code= 1630-3916

Борычев Сергей Николаевич  
д.т.н., профессор  
РИНЦ SPIN-код= 9426-9897  
*Рязанский государственный  
агротехнологический университет имени П.А.  
Костычева, Рязань, Россия*

Borychev Sergei Nikolaevich  
Dr.Sci.Tech., professor  
RSCI SPIN-code= 9426-9897  
*Ryazan State Agrotechnological University named  
after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Верещагин Николай Иванович  
Д.т.н., профессор  
РИНЦ SPIN-код= 4632-6757  
*Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования Российский  
государственный аграрный университет - МСХА  
им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

Vereshchagin Nikolay Ivanovich  
Dr.Sci.Tech., professor  
RSCI SPIN-code=4632-6757  
*Russian State Agrarian University - Moscow  
Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,  
Moscow, Russia*

Пшеченков Константин Александрович  
д.т.н., профессор  
РИНЦ SPIN-код= 7874-3474  
*Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение Всероссийский научно-  
исследовательский институт картофельного  
хозяйства им. А.Г. Лорха, Россия*

Pshechenkov Konstantin Aleksandrovich  
Dr.Sci.Tech., professor  
RSCI SPIN-code=7874-3474  
*State scientific institution All-Russian research  
institute of potato farming by A.G.Lorh, Russia*

В связи с ухудшением экологической ситуации в мире население стремится употреблять экологически чистые продукты питания, которые выращиваются либо без, либо с минимальным применением химических препаратов. Развитие сельского хозяйства в этом направлении приводит

Due to the deterioration of the ecological situation in the world, population tends to eat organically grown foods that are grown either without or with minimal use of chemicals. The development of agriculture in this direction leads ultimately to organic agriculture. To improve the

в конечном итоге к экологическому земледелию. Для повышения конкурентоспособности этому направлению необходимы более эффективные сельскохозяйственные машины, особенно на последнем этапе возделывания, а именно при уборке урожая. Одной из самых сложных научно-технических задач при механизированной уборке картофеля является не допущение попадания растительных примесей и ботвы в бункер с клубнями картофеля, что помимо всего прочего позволит повысить эффективность эксплуатации техники. В статье рассмотрены различные способы удаления ботвы, а так же их преимущества и недостатки. Сделан вывод о необходимости наличия в картофелеуборочных машинах ботвоудаляющих устройств. Рассмотрено перспективное устройство для удаления ботвы, транспортёр с эластичными пальцами на прутках и прижимным битером. Самым недолговечным конструктивным элементом устройства для удаления ботвы, снижающим безотказность предлагаемого устройства, являются эластичные пальцы, установленные на прутках. Предложено применение полиуретана в качестве материала для изготовления эластичных пальцев

Ключевые слова: КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, КАРТОФЕЛЬНАЯ БОТВА, БОТВОУДАЛИТЕЛЬ, НАДЁЖНОСТЬ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, ЭЛАСТИЧНЫЙ ПАЛЕЦ

competitiveness of this direction, we need more effective agricultural machines, especially in the last phase of cultivation, namely at the stage of harvesting. One of the most difficult scientific and technical problems with the mechanical harvesting of potatoes is not letting vegetable impurities and tops to fall down in the hopper with the potato tubers, which among other things will improve operational efficiency technology. The article reviewed the various methods for removing the tops, as well as their advantages and disadvantages. The article makes a conclusion about the need for potato top separators in harvesting machines. We have also considered a promising device for removing haulm, a conveyor with flexible fingers on the bars and the clamping beater. The most short-lived structural element of the device for removing haulm, reducing reliability of the device, is flexible fingers mounted on rods. We have proposed to use polyurethane as a material for manufacturing flexible fingers

Keywords: POTATO HARVESTER, POTATO TOPS, HAULM TOPPER, RELIABILITY, DURABILITY, ELASTIC FINGER

## **Анализ проблем ботвоудаления при механизированной уборке картофеля**

В связи с ухудшением экологической ситуации в мире население стремится употреблять экологически чистые продукты питания, которые выращиваются либо без, либо с минимальным применением химических препаратов.

Развитие сельского хозяйства в этом направлении приводит в конечном итоге к экологическому земледелию. Для повышения конкурентоспособности этому направлению необходимы более эффективные сельскохозяйственные машины, особенно на последнем этапе возделывания, а именно при уборке урожая [27, 30, 31, 44, 53].

Одной из самых сложных научно-технических задач при механизированной уборке картофеля является не допущение попадания

растительных примесей и ботвы в бункер с клубнями картофеля [36], что помимо всего прочего позволит повысить эффективность эксплуатации техники [37, 38].

При механизированной уборке картофеля существует два основных способа удаления ботвы:

- предварительное удаление с измельчением ботвы перед уборкой картофеля;

- отделение ботвы от клубней в картофелеуборочных комбайнах.

Предварительное удаление с измельчением ботвы может происходить двумя основными способами:

- химическим;

- механическим.

Предварительное удаление ботвы можно производить с помощью опрыскивания химикатами. Однако, учитывая, что опрыскивание необходимо производить за две-три недели до уборки, в большинстве районов нашей страны из-за сжатости сроков уборки и изменения погоды этот способ применять затруднительно или не эффективно [35].

Преимущества химического удаления ботвы:

- быстрота обработки;

- не повреждается корневая система;

- не снижается влажность;

Недостатки химического удаления ботвы:

- наличие в почве химических препаратов;

- возможность повреждения растений в результате возникновения зон с двойным опрыскиванием;

- увеличение номенклатуры машин для уборки;

- повышение затрат на уборку.

Эффективность применяемых химических препаратов напрямую зависит от рабочих характеристик полевого опрыскивателя и

установившейся погоды. Так же применение данного способа может приводить к попаданию химических препаратов в клубни следующих урожаев.

Предварительное удаление ботвы механическим способом осуществляется различными машинами, производящими её скашивание с поверхности поля.

Устройства для предварительного удаления ботвы выпускаются в виде отдельных или совмещенных устройств с уборочными машин посредством переднего или заднего агрегатирования с мобильным энергетическим средством [37, 38, 39].

Преимущества механического способа удаления ботвы:

- меньшее отрицательное влияние на экологию окружающей среды;

Недостатки механического способа удаления ботвы:

- возможность повреждения клубней;
- увеличение номенклатуры машин для уборки;
- повышение затрат на уборку.

Механическое удаление ботвы не обеспечивает полной ее ликвидации, на поле остаётся 30-35 % ботвы из-за неровности профиля грядок. Поэтому есть необходимость иметь ботвоудаляющие органы в комбайне [35].

Отделение ботвы от клубней в картофелеуборочных комбайнах происходит на рабочих органах [26].

В результате анализа различных устройств для ботвоудаления был сделан вывод о том что для промышленной уборки картофеля в современных сложных экономических условиях наиболее эффективны устройства, работающие на основе разделения компонентов в зависимости от различия их коэффициентов трения и размерных характеристик [17, 18, 19, 20, 21, 23, 25].

К устройствам, действующим по способу разделения компонентов в зависимости от различия их коэффициентов трения, относятся горки (продольные и поперечные различных конструкций) [14]. Применялись такие рабочие органы на комбайнах ККР-2, КОК-2, ККУ-2, КПК-2, «Пакман», «Джонсон» и др [35]. Анализ работы горок показал, что клубни картофеля наиболее полно отделяются от ботвы только в том случае, если стебли ботвы и клубни не имеют между собой прочной связи, а подача вороха на горку происходит равномерно и в небольших объёмах [37, 38, 39, 49, 50, 51, 55, 59]. Если эти условия не соблюдаются то, чистота клубней в бункере будет ниже 97%. Поэтому горки могут быть использованы лишь тогда, когда процесс корректируется с привлечением дополнительных людских ресурсов. Примером такого применения является переборочный стол – где технологический процесс корректируется подобным образом [35].

Достоинства устройств, использующих коэффициент трения:

- сравнительно низкое повреждение клубней;
- довольно простая конструкция.

Недостатками устройств, использующих коэффициент трения:

- недостаточная эффективность;
- высокая трудоёмкость уборки урожая.

Для улучшения характеристик горок применяют их комбинирование с другими рабочими органами, выполняющими вспомогательные функции. Так, например, на горках устанавливают различные валики, служащие в основном для отражения клубней, чтобы те не были выброшены вместе с ботвой на поле.

Применение различных отражающих устройств приводит к тому, что клубень с неоторвавшейся ботвой может попасть в бункер, а это в свою очередь может привести к усилению процесса гниения урожая. Для предотвращения подобных негативных моментов приходится применять

переборочный стол. Что приводит к увеличению трудозатрат на уборку урожая [8, 15, 40, 55, 60].

Но применение вспомогательных устройств для горок позволяет повысить интенсивность сепарации и удаления ботвы, не связанной с клубнем [28, 29].

### **Устройства, работающие на основе размерных характеристик**

Ботвоотделение на решетчатой поверхности основано на разделении компонентов по различию их размеров. Если массу комков почвы, клубней и ботвы поместить на движущееся устройство с просветами несколько большими чем размеры клубней и комков, то клубни и комки почвы провалятся, а стебли ботвы задержатся (зависнут) на поверхности [35, 36].

Многолетняя практика работы по созданию картофелеуборочных комбайнов выявила ряд рабочих органов для удаления ботвы данным способом [21, 23]. К ним относятся прутковый транспортер с большими просветами, грохоты с большими просветами между тростями, барабан с большими просветами между расположенными внутри прутками и др. Большинство таких рабочих органов применяют и сейчас в картофелеуборочных комбайнах, главным образом зарубежных («Джонсон», «Уидсед», E665, E675, «Экенгорд», DR-1500, DR-1700 и др.) [35].

Испытания этих комбайнов показали, что в отечественных условиях такие рабочие органы могут качественно выполнять процесс только при хорошо рассредоточенной массе без наличия клубней, прочно удерживаемых на столонах. В любых других случаях без наличия дополнительных рабочих органов для отрыва клубней будут наблюдаться потери (в среднем 6—30 %) [35].

Достоинства устройств, использующих размерные характеристики:

- высокая производительность;

- полнота выделения.

Недостатками устройств, использующих размерные характеристики:

- достаточно высокое повреждение клубней;
- невозможность отрыва клубня от ботвы.

Принципы отрыва клубней основаны на различии разрывных усилий стеблей ботвы и столонов и осуществляются главным образом протаскиванием массы стеблей ботвы с клубнями через щель, размеры которой меньше размеров клубней, при этом надо учесть, что ботва должна надёжно удерживаться ботвоудаляющим устройством с усилием, превышающим усилие отрыва ботвы от клубней. Ботвоудаляющие органы, работающие по этому принципу, различаются в зависимости от того, как создаётся усилие протаскивания. Большое распространение имеют такие рабочие органы, как пара вращающихся навстречу один другому валиков, батарея валиков и др., где усилие протаскивания возникает в момент взаимодействия вращающихся валиков как равнодействующая сил трения валика о протаскиваемую массу. Подобные ботвоудаляющие рабочие органы, как показали наблюдения [35, 61] за работой комбайнов ККР-2, К-1, «Брюнер» могут качественно работать лишь при небольшой подаче, когда масса ботвы подаётся, рассредоточено и равномерно. Этого практически достичь очень сложно.

### **Комбинированные рабочие органы**

В конструкциях комбайнов европейских стран для отделения ботвы используется ряд пальцев перпендикулярных по отношению к направлению движения транспортёра. Пальцы, как правило, изготовлены из стали и укреплены шарнирно на оси, вокруг которой они могут качаться. В заданном положении пальцы поддерживаются противовесами или пружинами. Иногда они изготавливаются из пластмассы или резиновых шлангов. Пальцы направляют растительные остатки, находящиеся на

элеваторе, к валику, вращающемуся в сторону противоположную движению полотна элеватора, который затягивает ботву вниз. На некоторых комбайнах, например фирмы «Гримме», предусматривается двух- или трехкратное удаление ботвы пальчатыми ботвоудалителями. Однако при этом отделяется только 60—70 % ботвы [35].

Применение различных вспомогательных прижимающих устройств на редкопрутковых транспортёрах позволяет произвести разделение операций ботвоотделения, в начале процесса происходит предварительное расслоение массы, стебли ботвы зависают, а клубни проваливаются. Затем стебли прижимаются сверху вспомогательным устройством, и протаскиваются через щель между транспортёром и очёсывающим прутком.

При испытаниях хорошие результаты показало ботвоудаляющее устройство этого типа, впервые примененное на картофелеуборочных комбайнах КГП-2 и К-3 [35, 61].

Анализируя все вышесказанное, можно сделать вывод, что каждое из подобных устройств имеет свои преимущества и недостатки.

### **Анализ конструктивных особенностей и параметров ботвоудалителей, работающих на основе различия размерных характеристик**

Работы по исследованию процесса ботвоудаления на устройствах, основанных на различии размерных характеристик картофельного вороха проводили: Угланов М.Б. [54], Дорошев В.Н. [12, 13], Верещагин Н.И. [9], Пшеченков К.А. [10], Сорокин А.А. [47, 48], Петров Г.Д. [35], Колчин Н.Н. [16, 22, 24], Бышов Н.В. [4, 5, 6, 7, 8, 56, 57], Борычев С.Н. [2], Успенский И.А. [52, 55, 58, 60] и другие.

Этот способ разделения (по размерным характеристикам) изучен не так полно как остальные (по коэффициенту трения и по парусности).

Разделение по различию размерных характеристик картофельного вороха производится на следующих устройствах:

- грохот с большими просветами между прутками;
- барабан с большими просветами между прутками;
- фрикционный баллон со встречно - вращающимся валиком;
- транспортер с продольными щелями;
- пальчато-гребёнчатый ботвоудалитель;
- батарея валиков;
- редкопрутковый транспортёр
- совместно - работающие транспортеры.

Первые четыре устройства в современных копателях-погрузчиках и комбайнах не применяются из-за их не эффективности, связанной с большим повреждением клубней или невозможностью качественно проводить ботвоудаление. Поэтому рассмотрение этих устройств в данной работе не производилось.

Пальчато-гребёнчатые ботвоудалители нашли широкое применение в картофелеуборочных копателях-погрузчиках UN-2212 фирмы «Kverneland» и E-684 (ГДР) и комбайнах DR-1500 фирмы «Grimme» (ФРГ), AVR-220В [16]. Как видно из представленных схем пальчато-гребёнчатый ботвоудалитель может располагаться после первого элеватора (AVR-220В), после второго элеватора (E-684) и за каждым из них (UN 2212, DR-1500). Наличие на двух последних машинах нескольких пальчато-гребёнчатых удалителей вызвано не высокой полнотой удаления растительных примесей данными устройствами, особенно при большой подаче картофельного вороха, что приводит к забиванию устройства и соответственно либо к увеличению потерь клубней, либо к поломке устройства [13] Все эти устройства отличает отсутствие отрывного валика,

который позволяет лучше отделять ботву, что приводит к необходимости использовать другие устройства, например баллоны комкодавители как на Е-684 [5].

Однако следует признать, что гладкий отрывной валик не достаточно эффективен. Для решения этой проблемы Борычевым С.Н. [2] предложен валик с установленными на нём выступами в форме половины усеченного конуса.

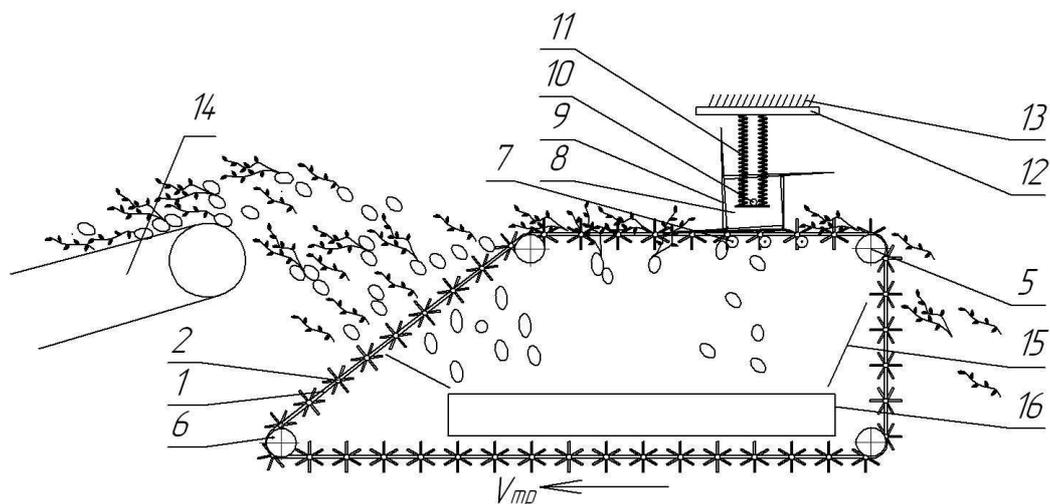
На рисунке 1.1 изображен общий вид устройства; на рисунке 1.2 очёсывающий валик; на рисунке 1.3 - пруток с закрепленной на нём ступицей, снабжённой эластичными пальцами.

Ботвоудалитель картофелеуборочной машины (рисунок 1.1) содержит наклонный редкопрутковый транспортёр 1, выполненный в виде прутков 2, с закрепленными на них упругими пальцами 3, которые укреплены на эластичных ступицах 4, ведущей 5 и поддерживающими 6 звёздочками и очёсывающих валиков 7. В верхней части предлагаемого устройства над очёсывающими валиками расположен прижимной битер 8, который выполнен в виде набора лопастей 9. Битер подпружинен механизмом 10, на который давят пружины 11, прикреплённые к стойке 12, жестко соединенной с рамой машины 13. На ступице находятся эластичные пальцы (рис. 1.3), расположенные под углом  $60^{\circ}$  по окружности между двумя соседними пальцами.

Устройство работает следующим образом.

При падении картофельных клубней и ботвы на наклонную поверхность редкопруткового транспортёра, благодаря различным значениям упругих и фрикционных свойств компонентов, коэффициента трения скольжения, размеров и удельного веса, происходит процесс сепарации картофельного вороха. При этом основная масса клубней и почвы проваливается под поверхность пальчиков 3 вниз (рис. 1.3). Ботва с неоторвавшимися клубнями задерживается на упругих пальцах и доходит до

прижимного битера, где прижимается его лопастями. Проходя через очёсывающие валики, остатки клубней отрываются и падают вниз. Ботва, зажатая эластичными пальцами и лопастями битера, остаётся на транспортёре и проходит дальше, затем после отпускания её лопастями прижимного битера удаляется [25. 26].



 - ботва с неоторвавшимися клубнями;  - клубни картофеля;  
 - ботва и растительные примеси.

1 – наклонный редкопрутковый транспортёр; 2 – прутки; 3 – упругие пальцы; 4 – эластичные ступицы; 5 – ведущая звёздочка; 6 – поддерживающая звёздочка; 7 – очёсывающий валик; 8 – прижимной битер; 9 – эластичные лопасти; 10 – подпружинивающий механизм; 11 – пружины; 12 – стойка; 13 – рама машины; 14 – подающий транспортёр; 15 – скатная доска; 16 – выгрузной транспортёр.

Рисунок 1.1 - Общий вид разработанного устройства [1].

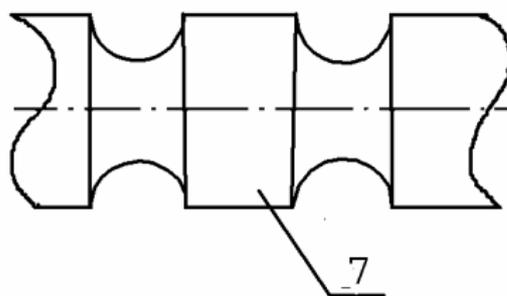
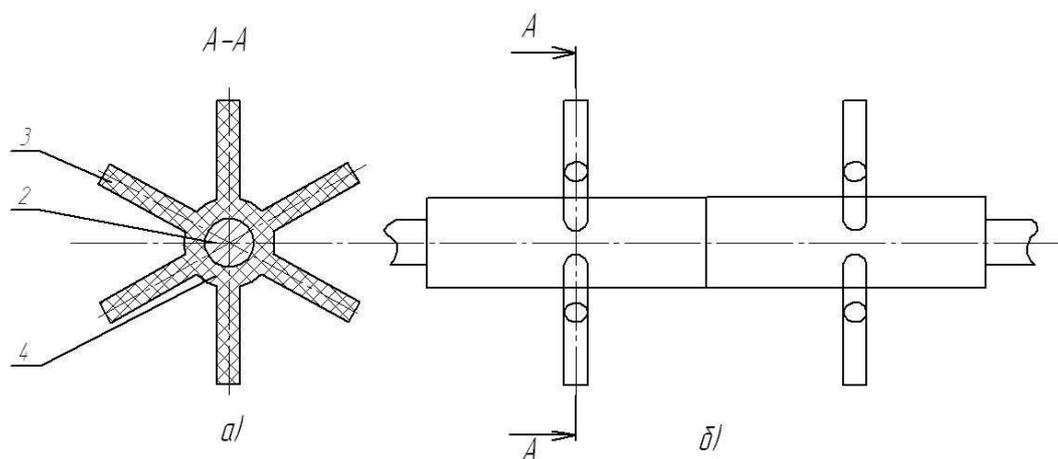


Рисунок 1.2 - Очёсывающий валик[1].



*а) - поперечный разрез; б) – общий вид.*

Рисунок 1.3 - Пруток с закрепленной на нём ступицей, снабженной эластичными пальцами; [1].

Преимуществом предложенного устройства является наличие эластичных пальцев на прутках редкопруткового транспортёра и очёсывающих валиков, в которых в местах прохождения эластичных пальцев выполнены кольцевые канавки. Эластичные пальцы на прутках редкопруткового транспортёра обеспечивают лучшее зацепление за прутки примесей, ботвы и ботвы с неоторвавшимися клубнями при этом не препятствуют прохождению сквозь них клубней картофеля. Очёсывающие валики позволяют отрывать клубни от ботвы, тем самым, уменьшая потери [41].

В процессе полевых исследований надёжности разработанного рабочего органа вторичной сепарации, установленного на модернизированном картофелеуборочном комбайне КПК-2-01, было определено, что самым не долговечным конструктивным элементом, снижающим безотказность предлагаемого устройства, являются эластичные пальцы, установленные на прутках редкопруткового транспортёра, материалом для изготовления которых служила резина КР-29, так как с течением времени происходил выход из строя данных конструктивных элементов, проявлявшийся в отрывании эластичных

пальцев, что в свою очередь приводило к нарушению процесса ботвоудаления. Поскольку данные детали ремонту и регулировке не подлежат [32], и при наступлении отказа требуется их замена, то, проанализировав возможные способы повышения долговечности эластичных пальцев, был выбран подбор альтернативного полимерного материала для их изготовления. Выбранный материал должен обладать сопоставимыми с резиной упругими свойствами (для того, чтобы в случае большей жесткости - не повреждать клубни, а в случае меньшей жесткости – эффективно удерживать стебли ботвы) и при этом превосходить её по своим прочностным и износостойким показателям.

Для изготовления различных резинотехнических изделий и изделий из других полимерных материалов применяют резину, неопрен, полиуретан, поливинилхлорид, полиэтилен высокого давления (ПЭВД), фторопласт, полиамид и др. [3, 14].

Для рационального выбора полимерного материала, независимо от области его применения, необходимо сопоставление множества различных показателей, таких, как [14, 26]:

- специфика эксплуатационных испытаний полимеров;
- количественная информация о температурных областях применения полимеров, диапазоны изменения их механических (прочностных, деформационных) и иных свойств;
- стандартизированные методы испытаний полимеров;
- свойства полимеров, выпускаемых промышленностью;
- основные методы изготовления изделий из полимеров;
- справочные данные по оптимальным (или рекомендуемым) режимам формирования (переработки) полимеров различных типов.

Основными физико-механическими свойствами материала эластичных пальцев, установленных на редкопрутковом транспортёре, влияющими на эффективность функционирования и надежность предлагаемого нами

устройства в целом, являются: упругопрочностные свойства при растяжении, сопротивление раздиру, твердость, истирание, эластичность, морозостойкость (при хранении) и устойчивость к старению [43, 45]. На основании приведенных данных, а также принимая во внимание результаты анализа физико-механических свойств современных полимерных материалов, используемых в сельскохозяйственном машиностроении [3, 14, 34], нами предлагается изготавливать эластичные пальцы из заливочного эластичного полиуретана (ЗЭП).

Полиуретан – это материал, представляющий собой композицию, в которой основой является высокомолекулярное соединение (полимер). Полиуретан получается путем заливки предварительно смешанных компонентов в необходимую форму и доведением смеси до высыхания. Для модификации свойств полиуретанов используют самые разнообразные продукты [3]. Это могут быть другие полимеры, а также неорганические армирующие (усиливающие) компоненты в виде дисперсного наполнителя либо ориентированных структурных элементов (волокон, ткани), которые позволяют создавать на основе базового полимера широкий марочный ассортимент, удовлетворяющий разнообразным технологическим требованиям эксплуатации. В отличие от резиновых эластичных пальцев, пальцы из полиуретана имеют значительные преимущества. Они имеют высокие физико-механические показатели по всем параметрам, как с точки зрения надежности, так и по качеству выполнения технологического процесса сепарации: они износостойки, имеют высокие антиадгезионные показатели. Увеличивая или уменьшая компоненты синтеза, можно получить полиуретаны различной упругости, что важно для снижения повреждений клубней при их взаимодействии с эластичными пальцами. Некоторые марки полиуретанов можно синтезировать и получить изделия из них в обычных лабораторных условиях.

Исследования, проведенные в ПО «Полимерсинтез» (г. Владимир) [33], показали, что полиуретановые полимеры удовлетворяют требованиям к физико-механическим свойствам эластичных материалов, применяемых в сельскохозяйственных машинах. Учитывая разнообразие свойств полиуретанов, оптимальным для изготовления эластичных элементов сельскохозяйственных машин, в том числе эластичных пальцев, установленных на прутках редкопруткового транспортёра, и отвечающим предъявляемым к материалам требованиям, можно считать полиуретан на основе форполимера СКУ-ПФЛ-100, отвержденный «Диаметом-Х», при соотношении  $\text{NH}_2 / \text{NCO} = 0,95$ .

Для сравнительной теоретической оценки долговечности эластичных пальцев, изготовленных из различных материалов, необходимо провести анализ процесса изнашивания поверхности этих деталей.

В зависимости от механизма и характера протекания выделяют следующие основные виды износа [32]:

1) макроскопический износ, при котором происходит вырывание относительно крупных кусков материала в результате сильных локальных воздействий (при взаимодействии с крупными почвенными комками, камнями, случайными металлическими предметами и проч.);

2) абразивный износ, происходящий в результате воздействия на материал острых выступов и кромок истирающей поверхности почвенных примесей;

3) износ посредством «скатывания», при котором микронеровности на поверхности материала деформируются, сворачиваются в «скатку», и отрываются;

4) усталостный износ, при котором в результате многократных деформаций поверхностного слоя материала происходит его медленное разрушение.

Применительно к взаимодействию компонентов вороха с поверхностью эластичных пальцев ботвоудаляющего устройства имеют место все эти виды износа, однако в нашем случае доминирующим является усталостный износ. Как показали результаты полевых исследований, основной причиной отказов эластичных пальцев является их разрыв в области крепления к ступицам. Очевидно, что отказы этого вида обусловлены в первую очередь действием усталостного износа. Таким образом, при оценке долговечности эластичных пальцев, изготовленных из различных материалов, необходимо учитывать процесс усталостного изнашивания. Для решения поставленной задачи примем допущение, что отказы эластичных пальцев вызваны их разрушением исключительно в результате усталостного износа под действием корнеклубнеплодов, камней и лопастей прижимного битера, влиянием остальных видов износа пренебрегаем.

Разработаем методику определения прогнозируемого ресурса и срока службы эластичных пальцев редкопруткового транспортёра, изготовленных из нового материала, опираясь на имеющиеся данные:

1) результаты сравнительных испытаний при лабораторных исследованиях долговечности эластичных пальцев, изготовленных из резины и полиуретана.

2) результаты полевых испытаний, где определены вероятностные значения ресурса и срока службы эластичных пальцев, изготовленных из резины;

Для оценки долговечности эластичных пальцев ботвоудалителя определим вероятностное количество контактов поверхности пальца с компонентами вороха (корнеклубнеплодами, комками почвы и камнями) и лопастями прижимного битера за срок его службы. Примем как допущение, что зависимость ресурса эластичных пальцев, изготовленных из различных материалов, от количества их взаимодействий с

компонентами вороха подчиняется линейному закону [42]. При расчете воспользуемся данными, полученными в результате полевых исследований эффективности функционирования и надёжности разработанного рабочего органа вторичной сепарации, установленного на картофелеуборочном комбайне КПК-2-01.

Прогнозируемое количество корнеклубнеплодов на площади поля, убранной картофелеуборочной машиной за время, равное гамма-процентному сроку службы эластичных пальцев, определится из выражения [42]:

$$N_{\text{ККП}} = W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{P}\gamma} \cdot \frac{Y_{\text{КАР}} \cdot 10^3}{m_{\text{КЛ}}}, \quad (1.1)$$

где:  $W_{\text{ч}}$  – теоретическая производительность картофелеуборочной машины за 1 час чистой работы (в контрольную смену), га/ч;

Производительность картофелеуборочной машины (за чистое время работы) определялась:

$$W_{\text{ч}} = 0.1 \cdot B_{\text{р}} \cdot V_{\text{R}}, \quad (1.2)$$

где:  $B_{\text{р}}$  - ширина захвата машины,  $B_{\text{р}} = 1,4$  м;

$V_{\text{R}}$  - рабочая скорость машины,  $V_{\text{R}} = 2,2$  км/ч.

Исходя из (1.2) определяем  $W_{\text{ч}} = 0,31$  га/ч.

$T_{\text{P}\gamma}$  - гамма-процентный (при  $\gamma\Delta = 90\%$ ) ресурс эластичных пальцев (чистого времени работы), для пальцев из резины (по результатам полевых испытаний)  $T_{\text{P}\gamma} = 309,3$  часа;

$Y_{\text{КАР}}$  – средняя урожайность картофеля,  $Y_{\text{КАР}} = 25$  т/га;

$10^3$  – коэффициент перевода тонн в кг;

$m_{\text{КЛ}}$  – средняя масса клубня картофеля сорта «Удача»,  $m_{\text{КЛ}} = 91,7 \cdot 10^{-3}$  кг (по результатам полевых исследований физико-механических свойств культуры картофель).

Для тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин принято нормированное значение вероятности  $\gamma\Delta$ , равное 0,9 (90%) [15].

В результате расчета в соответствии с выражением (1.1) получаем:

$$N_{\text{ККП}} = 26,14 \cdot 10^6 \text{ штук.}$$

Прогнозируемое количество камней на площади поля, убранной картофелеуборочной машиной за время, равное гамма-процентному сроку службы эластичных пальцев, определится из выражения [46]:

$$N_{\text{КАМ}} = W_{\text{Ч}} \cdot T_{\text{РГ}} \cdot n_{\text{К}} \cdot 10^4, \quad (1.3)$$

где:  $n_{\text{К}}$  – средняя засоренность поля камнями,  $n_{\text{К}} = 0,2 \text{ шт/м}^2$ ;

$10^4$  – коэффициент перевода га в  $\text{м}^2$ .

В результате расчета получаем  $N_{\text{КАМ}} = 0,2 \cdot 10^6$  штук.

Прогнозируемое количество взаимодействий эластичного пальца с прижимным битером за время, равное гамма-процентному сроку службы эластичных пальцев, определится из выражения [46]:

$$N_{\text{БИТ}} = T_{\text{РГ}} \cdot \frac{3600 \cdot V_{\text{мп}}}{l_{\text{мп}}}, \quad (1.4)$$

где  $V_{\text{мп}}$  – скорость редкопруткового транспортёра,  $V_{\text{мп}} = 1,6 \text{ м/с}$ ;

$l_{\text{мп}}$  – длина редкопруткового транспортёра,  $l_{\text{мп}} = 3,11 \text{ м}$ ;

3600 - коэффициент перевода секунд в часы.

В результате расчета получаем  $N_{\text{БИТ}} = 0,6 \cdot 10^6$  раз

Определим прогнозируемое количество взаимодействий компонентов картофельного вороха (корнеклубнеплодов и камней) и лопастей прижимного битера, вошедших в контакт с эластичными пальцами редкопруткового транспортёра за время, равное гамма-процентному сроку службы эластичных пальцев:

$$N_{\text{К+К}} = (N_{\text{ККЛ}} + N_{\text{КАМ}}) \cdot k_{\text{ПКТ}} + N_{\text{БИТ}}, \quad (1.5)$$

где  $k_{\text{ПКТ}}$  - коэффициент, учитывающий количество корнеклубнеплодов и камней, прошедших сквозь полотно редкопруткового транспортёра и

не вступивших во взаимодействие с эластичными пальцами,  $k_{ПКТ} = 0,28$  (по результатам лабораторных исследований);

Определим прогнозируемое количество взаимодействий эластичного пальца с компонентами картофельного вороха (корнеклубнеплодами и камнями) и лопастями прижимного битера за время, равное гамма-процентному сроку службы эластичных пальцев:

$$N_{B3} = \frac{N_{K+K} \cdot K_{mp}}{B_{mp}}, \quad (1.6)$$

где  $K_{mp}$  – шаг установки эластичных пальцев,  $K_{mp} = 0,180$  м;

$B_{mp}$  – ширина редкопруткового транспортёра,  $B_{mp} = 1,26$  м.

Исходя из (1.1...1.5) выражение (1.61) переписывается в виде:

$$N_{B3} = \frac{T_{P\gamma} (0,1B_P V_R (\frac{Y_{КАР}}{m_{КЛ}} + n_{КЛ} \cdot 10) \cdot 10^3 \cdot k_{ПКТ} + \frac{3600 \cdot V_{mp}}{l_{mp}}) \cdot K_{mp}}{B_{mp}}. \quad (1.7)$$

В результате расчета получаем, что за время, равное гамма-процентному сроку службы эластичных пальцев, изготовленных из резины, прогнозируемое количество взаимодействий одного эластичного пальца с компонентами картофельного вороха (корнеклубнеплодами и камнями) и прижимным битером составит  $N_{B3} = 1,14 \cdot 10^6$  раз.

Исходя из выражения (1.7), чтобы спрогнозировать ресурс эластичных пальцев, необходимо знать количество взаимодействий эластичного пальца с компонентами картофельного вороха и лопастями прижимного битера, при достижении которого происходит его разрушение с 90-процентной вероятностью, т.е. величина прогнозируемого гамма-процентного ресурса эластичных дисков определяется выражением:

$$T_{P\gamma} = \frac{N_{B3} \cdot B_{mp}}{(0,1B_P V_R (\frac{Y_{КАР}}{m_{КЛ}} + n_{КЛ} \cdot 10) \cdot 10^3 \cdot k_{ПКТ} + \frac{3600 \cdot V_{mp}}{l_{mp}}) \cdot K_{mp}}, \quad (1.8)$$

Таким образом, для определения прогнозируемого гамма-процентного ресурса эластичного пальца, изготовленного из нового материала,  $T_{\gamma 2}$ , необходимо знать, при достижении какого количества взаимодействий с компонентами вороха и лопастей прижимного битера  $N_{B32}$  вероятность его разрушения достигнет нормативной величины 90%.

Для решения этой задачи воспользуемся результатами ускоренных лабораторных испытаний на долговечность эластичных пальцев, изготовленных из различных материалов.

Прогнозируемое количество воздействий на эластичный палец лопастей прижимного битера, приводящее к разрушению эластичного пальца в лабораторных условиях, определяется по выражению:

$$N_{B3}^{LAB} = \frac{V_{mp}}{l_{mp}} \cdot L_{BD\gamma}^{LAB}, \quad (1.9)$$

где  $L_{BD\gamma}^{LAB}$  –  $\gamma$  процентная наработка на отказ эластичного пальца при лабораторных испытаниях, ч.

Аналитически гамма-процентную наработку на отказ при лабораторных испытаниях определим по выражению [15]:

$$L_{BD\gamma}^{LAB} = \bar{L}_{BD}^{LAB} - H_K(\gamma) \cdot \sigma, \quad (1.10)$$

где  $\bar{L}_{BD}^{LAB}$  – средняя наработка на отказ эластичных пальцев, ч;

$H_K(\gamma)$  – квантиль нормального распределения;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение рассматриваемой величины, ч.

Квантиль нормального распределения при значении  $\gamma\Delta = 0,9$  составляет  $H_K(\gamma) = 1,282$  [34].

В результате расчета определяем, что гамма-процентная наработка на отказ при лабораторных испытаниях для эластичных пальцев из резины и из полиуретана составляет  $\bar{L}_{BD\gamma 1}^{LAB} = 48,49$  ч и  $\bar{L}_{BD\gamma 2}^{LAB} = 118,16$  ч; прогнозируемое количество взаимодействий эластичного пальца с

лопастью битера, приводящее к разрушению пальца, равно  $N_{B31}^{ЛАБ} = 0,17 \cdot 10^6$  и  $N_{B32}^{ЛАБ} = 0,41 \cdot 10^6$  соответственно.

Для сопоставления результатов полевых и лабораторных исследований введём согласующий коэффициент  $k_{СГЛ}$  который после преобразования подставим в (1.11):

$$k_{СГЛ} = \frac{N_{B31}}{N_{B31}^{ЛАБ}} = \frac{N_{B32}}{N_{B32}^{ЛАБ}}, \quad (1.11)$$

где  $N_{B31}$ ,  $N_{B32}$  - прогнозируемое количество взаимодействий пальца с компонентами картофельного вороха (корнеклубнеплодами и камнями) и лопастью битера за время, равное гамма-процентному сроку службы эластичных пальцев, изготовленных из резины и нового материала соответственно.

В нашем случае исходя из первой части выражения (1.11) величина согласующего коэффициента  $k_{СГЛ} = 6,71$ .

Преобразуя выражение (1.7), получаем:

$$N_{B32} = \frac{N_{B32}^{ЛАБ}}{N_{B31}^{ЛАБ}} \cdot N_{B31} = k_{СВМ} \cdot N_{B31}, \quad (1.12)$$

где  $k_{СВМ}$  – коэффициент, учитывающий упругопрочностные свойства материала изделия:

$$k_{СВМ} = \frac{N_{B32}^{ЛАБ}}{N_{B31}^{ЛАБ}}. \quad (1.13)$$

Исходя из результатов лабораторных исследований  $k_{СВМ} = 2,41$ .

Подставляя (1.11) в (1.8), получаем выражение для определения величины прогнозируемого гамма-процентного ресурса эластичных пальцев, изготовленных из нового материала:

$$T_{P\gamma 2} = \frac{N_{B32}^{ЛАБ} \cdot k_{СГЛ} \cdot B_{mp}}{(0,1B_p V_R (\frac{Y_{КАР}}{m_{КЛ}} + n_K \cdot 10) \cdot 10^3 \cdot k_{ПКТ} + \frac{3600 \cdot V_{mp}}{l_{mp}}) \cdot K_{mp}} \cdot 10^{-3}, \quad (1.14)$$

Таким образом, прогнозируемый гамма-процентный ресурс эластичных пальцев, изготовленных из полиуретана, равен  $T_{P\gamma 2} = 749,7$  ч.

Исходя из нормативной загрузки картофелеуборочного комбайна [54], равной 250 ч сменного времени, и зная коэффициент использования времени смены  $\tau = 0,75$ , определяем прогнозируемый гамма-процентный срок службы эластичных пальцев, изготовленных из нового материала:

$$T_{СЛ\gamma 2} = \frac{T_{P\gamma 2}}{250 \cdot \tau}, \quad (1.15)$$

В результате расчета получаем прогнозируемый гамма-процентный срок службы эластичных пальцев, установленных на прутках редкопруткового транспортёра и изготовленных из полиуретана, равный  $T_{СЛ\gamma 2} = 4$  года.

### **Выводы**

1. Предуборочное удаление ботвы не устраняет необходимости применения ботвоудаляющих рабочих органов в картофелеуборочных машинах. В качестве перспективного рабочего органа предложено использовать редкопрутковый транспортёр с эластичными пальцами на его прутках, с очесывающими валиками и прижимным битером (патент РФ № 51450).

2. Применение перспективных ботвоудалителей позволяет повысить качество выполнения агротехнических требований картофелеуборочными машинами, а применение современных эластичных материалов повысить надежность функционирования предлагаемого устройства и машины в целом.

**Список литературы**

1. А.С. RU №51450 U1 кл. А 01 D 33/00. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от ботвы / Колупаев С.В., Борячев С.Н., Успенский И.А., Бышов Н.В. и др. (РФ), Опубл. 27. 02. 2006 бюл. №6.
2. Борячев С.Н. Машинные технологии уборки картофеля с использованием усовершенствованных копателей, копателей-погрузчиков и комбайнов. – диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Рязанская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Костычева. Рязань, 2008.
3. Булатов Г.А. Полиуретаны в современной технике. М.: Машиностроение, 1983. – 272 с.
4. Бышов Н.В. Научно-методические основы расчета сепарирующих рабочих органов и повышение эффективности картофелеуборочных машин Бышов Н.В. / диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Рязань, 2000
5. Бышов Н.В., Сорокин А.А. Успенский И.А, Борячев С.Н.. Дрожжин К.Н. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных комбайнов. Учебное пособие. Рязань, 2005г. - 128 с.
6. Бышов Н.В. Перспективные направления и технические средства для снижения повреждений клубней при машинной уборке картофеля Бышов Н.В., Борячев С.Н., Успенский И.А., Рембалович Г.К., Селиванов В.Г. / Техника и оборудование для села. 2013. № 8 (194). С. 22-24.
7. Бышов Н.В. Теоретические и практические основы применения современных сепарирующих устройств со встряхивателями в картофелеуборочных машинах Бышов Н.В., Борячев С.Н., Успенский И.А., Бышов Д.Н., Рембалович Г.К., Паршков А.В., Голиков А.А. / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 89. С. 488-498.
8. Бышов Н.В. / Технологическое и теоретическое обоснование конструктивных параметров органов вторичной сепарации картофелеуборочных комбайнов для работы в тяжелых условиях / Бышов Н.В., Борячев С.Н., Успенский И.А., Рембалович Г.К., Павлов В.А., Безносюк Р.В., Голиков А.А. / Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2012. № 4 (16). С. 87-90.
9. Верещагин Н.И. Обоснование процесса и средств механизации картофеля, снижающих повреждение картофеля. Дис. докт.техн.наук в форме научного доклада – М.:1991.-33с.
10. Верещагин Н.И. , Пшеченков К. А. , Герасимов В.С. Уборка картофеля в сложных условиях. - М.: Колос,1983. - 208 с
11. Голиков А.А., Математическая модель вероятностной оценки наступления технологического отказа картофелеуборочной машины / Голиков А.А., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Успенский И.А. / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 99. С. 244-255.
12. Дорошев В.Н. Теоретическое обоснование ботвоудаляющего устройства транспортного типа в картофелеуборочном комбайне. / Исследование и выбор некоторых параметров машин для возделывания и уборки корнеклубнеплодов. Сб. научн. тр. ВИСХОМ. - М. 1963. - с. 42-79.
13. Дорошев В.Н., Плешаков Г.Ф. К расчету приемной части ботвоудаляющего устройства транспортного типа. «Тракторы и сельхозмашины». 1963. №3.
14. Жернаков А.А. Применение эластичного пенополиуретана для картофелеуборочной техники. / Совершенствование средств механизации,

возделывания и уборки картофеля и овощей. // Научные труды ЧИМЭСХ. Челябинск, 1983.

15. Кардашевский С.В., Погорелый Л.В., Фудиман Г.М. Испытания сельскохозяйственной техники. – М.: Машиностроение, 1979. – 288 с., ил.

16. Колчин Н.Н., Орлов П.Е. Техника для уборки и доработки картофеля: иностранная техника. «Тракторы и сельхозмашины», 1989, №5. - с. 55-58.

17. Колчин Н.Н., Туболев С.С., Бышов Н.В., Успенский И.А., Рембалович Г.К. Инновационные машинные технологии в картофелеводстве России. Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 3-5.

18. Колчин Н.Н., Елизаров В.П., Михеев В.В., Пономарев А.Г. Современные технологии и техника для подготовки семенного картофеля. Картофель и овощи. 2014. № 5. С. 27-29.

19. Колчин Н.Н., Пономарев А.Г. Система машинных технологий и машин для картофелеводства. В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 269-274.

20. Колчин Н.Н. Современная техника для машинного производства картофеля. Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 6. С. 51-55.

21. Колчин Н.Н. Комплекс специальных машин для картофелеводства. Техника и оборудование для села. 2011. № 8. С. 18-21.

22. Колчин Н.Н. Специальная техника для производства картофеля в хозяйствах малых форм Колчин Н.Н., Бышов Н.В., Бoryчев С.Н., Успенский И.А., Рембалович Г.К. / Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. С. 48-55.

23. Колчин Н.Н., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 43-47.

24. Колчин Н.Н., Технология и комплексы машин для возделывания важнейших сельскохозяйственных культур / Колчин Н.Н., Фирсов М.М., Черепяхин А.Н. / Москва, 1997. Том Часть 1 Картофель

25. Колупаев С.В., Классификация ботвоудаляющих рабочих органов Сб. научных трудов. Научно-практическая конференция. – Рязань: ГАТУ- 2008. – С. 127-131.

26. Колупаев С.В., Успенский И.А., Рембалович Г.К., Юхин И.А., Ахмедов М.К. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от ботвы Сб. научных трудов. Международная научно-техническая конференция. МГУ им. Н.П. Огарева - Саранск: 2007. – С. 321-326.

27. Колупаев С.В., Рембалович Г.К., Успенский И.А. Улучшенный ботвоудалитель М: Сельский механизатор. – 2009 - №12. С. 8-9.

28. Костенко М.Ю., Вероятностная оценка сепарирующей способности элеватора картофелеуборочного комбайна / Костенко М.Ю., Костенко Н.А. / Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2009. № 12. С. 4.

29. Костенко М.Ю., Исследование сепарирующей способности прутковых элеваторов / Костенко М.Ю., Костенко Н.А. / В сборнике: СБОРНИК научных трудов профессорско-преподавательского состава Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А.Костычева Рязань, 2008. С. 146-148.

30. Костенко М.Ю., Прогнозирование качества работы картофелеуборочной машины / Костенко М.Ю., Терентьев В.В., Шемякин А.В., Костенко Н.А. / Сельский механизатор. 2013. № 5 (51). С. 6-7.

31. Костенко М.Ю., Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин / Костенко М.Ю. / диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Рязанская государственная сельскохозяйственная академия. Рязань, 2011
32. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А. Надежность и ремонт машин. М., Колос, 2000. – 776 с.
33. Нерсисян Г.Л. Повышение эксплуатационной надежности сепарирующих горок машин для уборки и обработки картофеля и корнеплодов. Дис... уч. ст. канд. техн. наук. - М.:, 1998.
34. Нормативно-справочные материалы для экономической оценки сельскохозяйственной техники. М.: ЦНИИТЭИ, 1983. – 297 с.
35. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. 2-е изд. переработ. и доп. - М.: Машиностроение, 1984. - 320 с.
36. Петров Г.Д., Матвеева Е.А. Тенденции развития конструкций машин для возделывания и уборки картофеля. - М.,1989. - 54 с. - (Сер.2, с-х машин и орудия: обзор. информ. / ЦНИИТЭИ тракторосельхозмашин: Вып.б).
37. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля / Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №04(088). С. 509 – 518. – IDA [article ID]: 0881304034. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>, 0,625 у.п.л.
38. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта и мобильной сельскохозяйственной техники при внутрехозяйственных перевозках / Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №04(088). С. 156 – 166. – IDA [article ID]: 0881304034. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>.
39. Рембалович Г.К. / Анализ эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам и показателей их работы в условиях рязанской области / Рембалович Г.К., Успенский И.А., Голиков А.А., Безносюк Р.В., Ахмедов Р.К. / Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2013. № 1 (17). С. 64-68.
40. Рембалович Г.К. / Инновационные решения уборочнотранспортных технологических процессов и технических средств в картофелеводстве / Рембалович Г.К., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Рязанов Н.А., Безносюк Р.В., Булатов Е.П. / Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 1. С. 23-25.
41. Рембалович Г.К., Колупаев С.В., Успенский И.А. Перспективная конструкция ботвоудаляющего редкопруткового транспортёра картофелеуборочной машины Сб. научных трудов МГАУ Международная научно-практическая конференция. – М: 2007. – С. 270-272.
42. Рембалович Г.К., «Повышение эффективности функционирования и надёжности сепарирующей горки картофелеуборочных машин». - Дис... канд. техн. наук. – Рязань: РГСХА им. П.А. Костычева, 2005.
43. Рембалович Г.К., Повышение надежности технологического процесса и технических средств машинной уборки картофеля по параметрам качества продукции / Рембалович Т.К., Успенский И.А., Безносюк Р.В., Рязанов Н.А., Селиванов В.Г. / Техника и оборудование для села. 2012. № 3. С. 6-8.

44. Рембалович Г.К., Успенский И.А., Голиков А.А. Анализ динамики производства картофеля в рязанской области/ Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2011. № 3. С. 67-70.

45. Рембалович Г.К. Взаимосвязь характеристик повреждаемости клубней с параметрами технического состояния сельскохозяйственной техники в процессе производства картофеля Рембалович Г.К., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Юхин И.А., Булатов Е.П., Голиков А.А., Павлов В.А., Волченков Д.А., Рязанов Н.А. / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 74. С. 197-207.

46. РТМ-23236-72. Основы планирования экспериментов в с/х машинах.- М., 1974.-116с.

47. Сорокин А.А. Клубнезадерживающая гребенка картофелеуборочного комбайна. / Машины для уборки и послеуборочной обработки урожая. Реф. сб. ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш. - М., 1975. Вып. 1(8). - с.9-10.

48. Сорокин А.А. О базовой модели картофелеуборочного комбайна для производства в России. «Тракторы и сельскохозяйственные машины», 1998, №6. - с.15-18.

49. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / Рембалович Г.К., Волченков Д.А., Бышов Н.В., Паршков А.В., Успенский И.А., Борычев С.Н. / патент на изобретение RUS 2464765 15.02.2011

50. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / Рязанов Н.А., Успенский И.А., Рембалович Г.К., Юхин И.А., Кулик С.Н., Булатов Е.П. / патент на изобретение RUS 2438289 06.07.2009

51. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / Рембалович Г.К., Голиков А.А., Бышов Д.Н., Успенский И.А., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Вирабян Г.Г. / патент на полезную модель RUS 129345 01.08.2012

52. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / Волченков Д.А., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Успенский И.А., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Голиков А.А. / патент на полезную модель RUS 157146 02.06.2015

53. СПОСОБ УБОРКИ И ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ / Рембалович Г.К., Борычев С.Н., Успенский И.А., Паршков А.В., Ищук Д.Н., Колчин Н.Н. / патент на изобретение RUS 2362294 16.04.2007

54. Угланов М.Б. и др. Краткий справочник по машинам для возделывания и уборки картофеля. - М.: Колос, 1976. - 44 с.

55. Успенский И.А. / Основы совершенствования технологического процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин / Успенский И.А. / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения имени В.П. Горячкина. Москва, 1996

56. Устройство для гашения энергии падающих клубней плодов картофеля Бышов Н.В. Борычев С.Н., Бышов Н.В., Успенский И.А., Рембалович Г.К., Бойко А.И. / патент на полезную модель RUS 102171 11.06.2010

57. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей Бышов Д.Н., Борычев С.Н., Рембалович Г.К., Бойко А.И. / патент на изобретение RUS 2399191 24.02.2009

58. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей Безносюк Р.В., Бышов Д.Н., Рембалович Г.К., Успенский И.А., Борычев С.Н. / патент на полезную модель RUS 95960 24.02.2010

59. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей / Борычев С.Н., Рембалович Г.К., Успенский И.А. / патент на изобретение RUS 2245011 12.05.2003

60. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей / Павлов В.А., Рембалович Г.К., Безносюк Р.В., Бышов Н.В., Паршков А.В., Успенский И.А., Бoryчев С.Н. / патент на изобретение RUS 2454850 14.02.2011

61. Фирсов Н.В. Машины для удаления картофельной ботвы. Отчет. ВИСХОМ. –М., 1955 г. 74 с.

## References

1. A.S. RU №51450 U1 kl. A 01 D 33/00. Ustrojstvo dlya otdeleniya korneklubneplodov ot botvy / Kolupaev S.V., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Byshov N.V. i dr. (RF), Opubl. 27. 02. 2006 byul. №6.

2. Borychev S.N. Mashinnye tekhnologii uborki kartofelya s ispol'zovaniem usovershenstvovannykh kopatelej, kopatelej-pogruzchikov i kombajnov. – dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Ryazanskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya im. P.A. Kostycheva. Ryazan', 2008.

3. Bulatov G.A. Poliuretany v sovremennoj tekhnike. M.: Mashinostroenie, 1983. – 272 s.

4. Byshov N.V. Nauchno-metodicheskie osnovy rascheta separiruyushchih rabochih organov i povyshenie ehffektivnosti kartofeleuborochnyh mashin Byshov N.V. / dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Ryazan', 2000.

5. Byshov N.V., Sorokin A.A. Uspenskij I.A., Borychev S.N., Drozhzhin K.N. Principy i metody rascheta i proektirovaniya rabochih organov kartofeleuborochnyh kombajnov. Uchebnoe posobie. Ryazan', 2005g. - 128 s.

6. Byshov N.V. Perspektivnye napravleniya i tekhnicheskie sredstva dlya snizheniya povrezhdenij klubnej pri mashinnoj uborke kartofelya Byshov N.V., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Rembalovich G.K., Selivanov V.G. / Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2013. № 8 (194). S. 22-24.

7. Byshov N.V. Teoreticheskie i prakticheskie osnovy primeneniya sovremennykh separiruyushchih ustrojstv so vstryahivatelyami v kartofeleuborochnyh mashinah Byshov N.V., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Byshov D.N., Rembalovich G.K., Parshkov A.V., Golikov A.A. / Politematicheskij setевой ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 89. S. 488-498.

8. Byshov N.V. / Tekhnologicheskoe i teoreticheskoe obosnovanie konstruktivnykh parametrov organov vtorichnoj separacii kartofeleuborochnyh kombajnov dlya raboty v tyazhelykh usloviyah / Byshov N.V., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Rembalovich G.K., Pavlov V.A., Beznosyuk R.V., Golikov A.A. / Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2012. № 4 (16). S. 87-90.

9. Vereshchagin N.I. Obosnovanie processa i sredstv mekhanizacii kartofelya, snizhayushchih povrezhdenie kartofelya. Dis. dokt.tekhn.nauk v forme nauchnogo doklada – M.:1991.-33s.

10. Vereshchagin N.I. , Pshechenkov K. A. , Gerasimov B.C. Uborka kartofelya v slozhnykh usloviyah. - M.: Kolos,1983. - 208 s

11. Golikov A.A., Matematicheskaya model' veroyatnostnoj ocenki nastupleniya tekhnologicheskogo otkaza kartofeleuborochnoj mashiny / Golikov A.A., Kostenko M.YU., Rembalovich G.K., Uspenskij I.A. / Politematicheskij setевой ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014. № 99. S. 244-255.

12. Doroshev V.N. Teoreticheskoe obosnovanie botvoudalyayushchego ustrojstva transportnogo tipa v kartofeleuborochnom kombajne. / Issledovanie i vybor nekotorykh parametrov mashin dlya vozdeleyvaniya i uborki korneklubneplodov. Sb. nauchn. tr. VISKHOM. - M. 1963. - s. 42-79.

13. Doroshev V.N., Pleshakov G.F. K raschetu priemnoj chasti botvoudalyayushchego ustrojstva transportnogo tipa. «Traktory i sel'hozmashiny». 1963. №3.
14. ZHernakov A.A. Primenenie ehlastichnogo penopoliuretana dlya kartofeleuborochnoj tekhniki. / Sovershenstvovanie sredstv mekhanizacii, vozdelyvaniya i uborki kartofelya i ovoshchej. // Nauchnye trudy CHIMEHSHK. CHelyabinsk, 1983.
15. Kardashevskij S.V., Pogorelyj L.V., Fudiman G.M. Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 288 s., il.
16. Kolchin N.N., Orlov P.E. Tekhnika dlya uborki i dorabotki kartofelya: inostrannaya tekhnika. «Traktory i sel'hozmashiny», 1989, №5. - s. 55-58.
17. Kolchin N.N., Tubolev S.S., Byshov N.V., Uspenskij I.A., Rembalovich G.K. Innovacionnye mashinnye tekhnologii v kartofelevodstve Rossii. Traktory i sel'hozmashiny. 2012. № 10. S. 3-5.
18. Kolchin N.N., Elizarov V.P., Miheev V.V., Ponomarev A.G. Sovremennye tekhnologii i tekhnika dlya podgotovki semennogo kartofelya. Kartofel' i ovoshchi. 2014. № 5. S. 27-29.
19. Kolchin N.N., Ponomarev A.G. Sistema mashinnyh tekhnologij i mashin dlya kartofelevodstva. V sbornike: Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoj mekhaniki akademika V.P. Goryachkina. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva. 2013. S. 269-274.
20. Kolchin N.N. Sovremennaya tekhnika dlya mashinnogo proizvodstva kartofelya. Traktory i sel'hozmashiny. 2011. № 6. S. 51-55.
21. Kolchin N.N. Kompleks special'nyh mashin dlya kartofelevodstva. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2011. № 8. S. 18-21.
22. Kolchin N.N. Special'naya tekhnika dlya proizvodstva kartofelya v hozyajstvah malyh form Kolchin N.N., Byshov N.V., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Rembalovich G.K. / Traktory i sel'hozmashiny. 2012. № 5. S. 48-55.
23. Kolchin N.N., Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P., Kynev N.G. Sovremennye tekhnologii i special'naya tekhnika dlya kartofelevodstva. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2015. № 3. S. 43-47.
24. Kolchin N.N., Tekhnologiya i komplekсы mashin dlya vozdelyvaniya vazhnejshih sel'skohozyajstvennyh kul'tur / Kolchin N.N., Firsov M.M., CHerepahin A.N. / Moskva, 1997. Tom CHast' 1 Kartofel'
25. Kolupaev S.V., Klassifikaciya botvoudalyayushchih rabochih organov Sb. nauchnyh trudov. Nauchno-prakticheskaya konferenciya. – Ryazan': GATU- 2008. – S. 127-131.
26. Kolupaev S.V., Uspenskij I.A., Rembalovich G.K., YUhin I.A., Ahmedov M.K. Ustrojstvo dlya otdeleniya korneklubneplodov ot botvy Sb. nauchnyh trudov. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya. MGU im. N.P. Ogareva - Saransk: 2007. – S. 321-326.
27. Kolupaev S.V., Rembalovich G.K., Uspenskij I.A. Uluchshennyj botvoudalitel' M: Sel'skij mekhanizator. – 2009 - №12. S. 8-9.
28. Kostenko M.YU., Veroyatnostnaya ocenka separiruyushchej sposobnosti ehlevatora kartofeleuborochnogo kombajna / Kostenko M.YU., Kostenko N.A. / Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2009. № 12. S. 4.
29. Kostenko M.YU., Issledovanie separiruyushchej sposobnosti prutkovykh ehlevatorov / Kostenko M.YU., Kostenko N.A. / V sbornike: SBORNIK nauchnyh trudov professorsko-prepodavatel'skogo sostava Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A.Kostycheva Ryazan', 2008. S. 146-148.

30. Kostenko M.YU., Prognozirovaniye kachestva raboty kartofeleuborochnoj mashiny / Kostenko M.YU., Terent'ev V.V., SHemyakin A.V., Kostenko N.A. / Sel'skij mekhanizator. 2013. № 5 (51). S. 6-7.
31. Kostenko M.YU., Tekhnologiya uborki kartofelya v slozhnyh polevyh usloviyah s primeneniem innovacionnyh reshenij v konstrukcii i obsluzhivanii uborochnykh mashin / Kostenko M.YU. / dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Ryazanskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya. Ryazan', 2011
32. Kurchatkin V.V., Tel'nov N.F., Achkasov K.A. Nadezhnost' i remont mashin. M., Kolos, 2000. – 776 s.
33. Nersisyan G.L. Povyschenie ehkspluacionnoj nadezhnosti separiruyushchih gorok mashin dlya uborki i obrabotki kartofelya i korneplodov. Dis... uch. st. kand. tekhn. nauk. - M.:, 1998.
34. Normativno-spravochnye materialy dlya ehkonomicheskoy ocenki sel'skohozyajstvennoj tekhniki. M.: CNIITEHI, 1983. – 297 s.
35. Petrov G.D. Kartofeleuborochnye mashiny. 2-e izd. pererabot. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1984. - 320 s.
36. Petrov G.D., Matveeva E.A. Tendencii razvitiya konstrukcij mashin dlya vzdelyvaniya i uborki kartofelya. - M.,1989. - 54 s. - (Ser.2, s-h mashin i oru diya: obzor. inform. / CNIITEHI traktorosel'hozmashin: Vyp.b).
37. Povyschenie ehkspluacionno-tekhnologicheskikh pokazatelej transportnoj i special'noj tekhniki na uborke kartofelya / G.K. Rembalovich, N.V. Byshov, S.N. Borychev i dr. // Politematicheskij setевой ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [EHlektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №04(088). S. 509 – 518. – IDA [article ID]: 0881304034. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>, 0,625 u.p.l.
38. Povyschenie ehffektivnosti ehkspluatscii avtotransporta i mobil'noj sel'skohozyajstvennoj tekhniki pri vnutrekhozyajstvennyh perevozkah / G.K. Rembalovich, N.V. Byshov, S.N. Borychev i dr. // Politematicheskij setевой ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [EHlektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №04(088). S. 156 – 166. – IDA [article ID]: 0881304034. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>.
39. Rembalovich G.K. / Analiz ehkspluacionno-tekhnologicheskikh trebovanij k kartofeleuborochnym mashinam i pokazatelej ih raboty v usloviyah ryazanskoj oblasti / Rembalovich G.K., Uspenskij I.A., Golikov A.A., Beznosyuk R.V., Ahmedov R.K. / Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2013. № 1 (17). S. 64-68.
40. Rembalovich G.K. / Innovacionnye resheniya uborochnotransportnykh tekhnologicheskikh processov i tekhnicheskikh sredstv v kartofelevodstve / Rembalovich G.K., Byshov N.V., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Ryazanov N.A., Beznosyuk R.V., Bulatov E.P. / Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2013. № 1. S. 23-25.
41. Rembalovich G.K., Kolupaev S.V., Uspenskij I.A. Perspektivnaya konstrukciya botvoudalyayushchego redkoprutkovogo transportyora kartofeleuborochnoj mashiny Sb. nauchnyh trudov MGAU Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. – M: 2007. – S. 270-272.
42. Rembalovich G.K., «Povyschenie ehffektivnosti funkcionirovaniya i nadyozhnosti separiruyushchej gorki kartofeleuborochnykh mashin». - Dis... kand. tekhn. nauk. – Ryazan': RGSKHA im. P.A. Kostycheva, 2005.
43. Rembalovich G.K., Povyschenie nadezhnosti tekhnologicheskogo processa i tekhnicheskikh sredstv mashinnoj uborki kartofelya po parametram kachestva produkcii /

Rembalovich T.K., Uspenskij I.A., Beznosyuk R.V., Ryazanov N.A., Selivanov V.G. / *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2012. № 3. S. 6-8.

44. Rembalovich G.K., Uspenskij I.A., Golikov A.A. Analiz dinamiki proizvodstva kartofelya v ryazanskoj oblasti/ *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. 2011. № 3. S. 67-70.

45. Rembalovich G.K. Vzaimosvyaz' harakteristik povrezhdaemosti klubnej s parametrami tekhnicheskogo sostoyaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki v processe proizvodstva kartofelya Rembalovich G.K., Uspenskij I.A., Kokorev G.D., YUhin I.A., Bulatov E.P., Golikov A.A., Pavlov V.A., Volchenkov D.A., Ryazanov N.A. / *Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011. № 74. S. 197-207.

46. RTM-23236-72.Osnovy planirovaniya ehksperimentov v s/h mashinah.- M.,1974.-116s.

47. Sorokin A.A. Klubnezaderzhivayushchaya grebenka kartofeleuborochnogo kombajna. / *Mashiny dlya uborki i posleuborochnoj obrabotki urozhaya*. Ref. sb. CNIITEHI traktorsel'hozmash. - M., 1975. Vyp. 1(8). - s.9-10.

48. Sorokin A.A. O bazovoj modeli kartofeleuborochnogo kombajna dlya proizvodstva v Rossii. «Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny», 1998, №6. - s.15-18.

49. Separiruyushchee ustrojstvo korneklubneuborochnoj mashiny / Rembalovich G.K., Volchenkov D.A., Byshov N.V., Parshkov A.V., Uspenskij I.A., Borychev S.N. / patent na izobretenie RUS 2464765 15.02.2011

50. Separiruyushchee ustrojstvo korneklubneuborochnoj mashiny / Ryazanov N.A., Uspenskij I.A., Rembalovich G.K., YUhin I.A., Kulik S.N., Bulatov E.P. / patent na izobretenie RUS 2438289 06.07.2009

51. Separiruyushchee ustrojstvo korneklubneuborochnoj mashiny / Rembalovich G.K., Golikov A.A., Byshov D.N., Uspenskij I.A., Byshov N.V., Borychev S.N., Virabyan G.G. / patent na poleznuyu model' RUS 129345 01.08.2012

52. Separiruyushchee ustrojstvo korneklubneuborochnoj mashiny / Volchenkov D.A., Rembalovich G.K., Kostenko M.YU., Uspenskij I.A., Byshov N.V., Borychev S.N., Golikov A.A. / patent na poleznuyu model' RUS 157146 02.06.2015

53. СПОСОБ УБОРКИ И ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ / Rembalovich G.K., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Parshkov A.V., Ishchuk D.N., Kolchin N.N. / patent na izobretenie RUS 2362294 16.04.2007

54. Uglanov M.B. i dr. Kratkij spravochnik po mashinam dlya vozdeleyvaniya i uborki kartofelya. - M.: Kolos, 1976. - 44 s.

55. Uspenskij I.A. / Osnovy sovershenstvovaniya tekhnologicheskogo processa i snizheniya ehnergozatrata kartofeleuborochnykh mashin / Uspenskij I.A. / Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskix nauk / Nauchno-issledovatel'skij institut sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya imeni V.P. Goryachkina. Moskva, 1996

56. Ustrojstvo dlya gasheniya ehnergii padayushchih klubnej plodov kartofelya Byshov N.V. Borychev S.N., Byshov N.V., Uspenskij I.A., Rembalovich G.K., Bojko A.I. / patent na poleznuyu model' RUS 102171 11.06.2010

57. Ustrojstvo dlya otdeleniya korneklubneplodov ot primesej Byshov D.N., Borychev S.N., Rembalovich G.K., Bojko A.I. / patent na izobretenie RUS 2399191 24.02.2009

58. Ustrojstvo dlya otdeleniya korneklubneplodov ot primesej Beznosyuk R.V., Byshov D.N., Rembalovich G.K., Uspenskij I.A., Borychev S.N. / patent na poleznuyu model' RUS 95960 24.02.2010

59. Ustrojstvo dlya otdeleniya korneklubneplodov ot primesej / Borychev S.N., Rembalovich G.K., Uspenskij I.A. / patent na izobretenie RUS 2245011 12.05.2003

60. Ustrojstvo dlya otdeleniya korneklubneplodov ot primesej / Pavlov V.A., Rembalovich G.K., Beznosyuk R.V., Byshov N.V., Parshkov A.V., Uspenskij I.A., Borychev S.N. / patent na izobrenenie RUS 2454850 14.02.2011

61. Firsov N.V. Mashiny dlya udaleniya kartofel'noj botvy. Otchet. VISKHOM. –M., 1955 g. 74 s.