

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ПОСАДКИ
ПРОРОЩЕННЫХ КЛУБНЕЙ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ КАРТОФЕЛЕСАЖАЛКОЙ****Гаврилов В.Н., Семенов А.В., Новиков А.М., Иванов В.А., Терентьев А.Г.**

Реферат. Важную роль при производстве ранней продукции картофеля играет проращивание семенных клубней и последующая механизированная их посадка. В виду более жестких требований к процессу посадки пророщенных клубней использование автоматических сажалок при выращивании раннего картофеля ограничено. В такой ситуации удовлетворить все агротехнические требования можно путем их совершенствования для посадки в полуавтоматическом режиме. С этой целью картофелесажалка с элеваторным высаживающим аппаратом снабжается реверсивным механизмом, который позволяет сократить длину пути движения клубней и уменьшить высоту их падения при сходе с ложечек. Однако эти изменения могут ухудшить равномерность раскладки клубней на дне борозды. Для решения такой проблемы разработана конструкция специального удлинителя кожуха клубнепровода, изогнутого по радиусу на 80...90°, позволяющая снизить отклонение равномерности посадки клубней от среднего значения в 1,5 раза. В последующих теоретических исследованиях установлены основные параметры движения клубней (абсолютная скорость, время падения, перемещение в горизонтальной плоскости) и получено аналитическое выражение, с использованием которого можно рассчитать расстояния между клубнями на уровне дна борозды. Это уравнение полиномиальной функции второй степени, которое служит математической моделью раскладывания клубней борозде высаживающим аппаратом при несовпадении направления его вращения с движения сажалки. По результатам расчетов, проведенных по установленной зависимости, оптимальное распределение клубней в посадочной борозде достигается при посадке картофеля средней фракции (40...55 мм) со скоростью движения сажалки 1,5 км/ч. При этом показатель надежности процесса посадки – коэффициент равномерности распределения клубней – составляет 85,8 %, что соответствует агротехническим требованиям.

Ключевые слова: картофелесажалка, высаживающий аппарат, динамическая система, пророщенные клубни, равномерность посадки, математическая модель, надежность процесса.

Введение. Картофель занимает важное место в структуре сельскохозяйственной продукции в нашей стране и имеет важное продовольственное значение. Однако спрос на этот вид продукции в ранние сроки, особенно в июне и июле, удовлетворяется недостаточно. Основные причины низкой урожайности молодого картофеля – нарушения агротехники возделывания, а именно, неправильный выбор посадочного материала, несовершенная предпосадочная подготовка семенных клубней, несвоевременная и некачественная посадка и др. При этом даже в неблагоприятных условиях можно добиться увеличения производства продукции путем грамотного использования современных технологий возделывания, которые обеспечивают экономию по таким статьям затрат как горюче-смазочные материалы, удобрения, оплата труда [1, 2].

Проращивание клубней картофеля – старейший прием подготовки посадочного материала. При его проведении под влиянием тепла и света ускоряется деятельность ферментов в клубнях и создается повышенная концентрация питательных веществ в зоне расположения глазков. Это в значительной мере стимулирует прорастание почек и дальнейшее развитие ростков [3, 4]. На практике применяют различные способы проращивания клубней, которые различаются между собой режимом, продолжительностью и эффективностью.

Один из приемов, ускоряющих появление всходов и последующее развитие картофеля с гарантированным урожаем, – комбинирован-

ное проращивание семенных клубней перед посадкой. Суть этого способа заключается в следующем. На начальном этапе проводят предварительное световое проращивание клубней в течение 15...20 дней при температуре 12...15 °С до появления ростков длиной 3...5 мм. Затем обволакивают клубни, предварительно смоченные клеящим крахмальным клейстером, торфоминеральной питательной смесью и подвергают световому проращиванию на протяжении 8...10 дней при температуре 15...25 °С. К завершению этого периода образуются ростки длиной 15...20 мм со сформированной корневой системой внутри оболочки. Такое комбинированное проращивание значительно ускоряет появление всходов [5].

Экспериментальные исследования отечественных [6, 7] и зарубежных [8, 9] ученых показали, что прочность ростков зависит от следующих основных факторов: размеры и сортовые особенности картофеля; способ проращивания; манипуляции с клубнями. На основании результатов испытания прочности ростков, с учетом допустимых усилий, исключаящих их обламывание, было установлено, что расчетная высота падения пророщенных клубней не должна превышать 200 мм [10].

Для производства ранней продукции картофеля, кроме предпосадочного проращивания клубней, немаловажную роль играет механизированная посадка. При этом обеспечение ее надежности при использовании пророщенных клубней имеет важное практическое зна-

чение. С развитием технологий предпосадочного проращивания клубней изменились требования к посадочным машинам, в частности, применительно к повреждению ростков – их обламывание должно составлять не более 17 %. Существующие картофелесажалки не в полной мере удовлетворяют предъявляемым требованиям. По этой причине их проектирование и модернизация требует комплексного решения технических, биологических и технологических проблем [11].

В современных условиях для АПК актуальна концепция создания многовариантной техники, адаптируемой к изменяющимся производственным и агротехническим условиям [12]. В виду небольшого разнообразия отечественных машин для посадки пророщенного картофеля актуальное направление развития техники для посадки – модернизация путем расширения технологических возможностей. При этом повышение качественных показателей работы картофелесажалок возможно путем совершенствования высаживающих аппаратов. Решение проблемы возможно путем переоборудования таких машин для посадки в полуавтоматическом режиме. С этой целью автоматическую картофелесажалку с элеваторным высаживающим аппаратом необходимо снабдить реверсивным механизмом для изменения направления движения ложечек и ручной укладки пророщенных клубней сажальщиками. Это позволяет сократить длину пути движения клубней в высаживающем аппарате и уменьшить высоту их падения при спуске с ложечек. Однако одновременно возможно изменение равномерности раскладки клубней на уровне дна борозды, что связано со сменой параметров движения клубней в высаживающем аппарате и посадочной борозде.

В связи с изложенным основная цель исследований – обеспечение равномерности посадки пророщенных клубней модернизированной сажалкой элеваторного типа в полуавтоматическом режиме. Для ее достижения решали следующие задачи:

выявить основные факторы, влияющие на равномерность посадки;

определить изменение абсолютной скорости клубня при разных направлениях вращения высаживающего аппарата;

установить оптимальную точку сброса клубней, которая минимизирует влияние их изменчивости на равномерность посадки высаживающим аппаратом при обратном его вращении;

получить аналитическую зависимость, описывающую модель рабочего процесса полуавтоматической картофелесажалки, для оценки равномерности посадки.

Условия, материалы и методы исследований. При теоретических изысканиях картофелесажалка была представлена в виде сложной технической системы, основная цель которой – преобразование входных воздей-

ствий на выходные процессы, характеризующие качество технологического процесса. Функционирование полуавтоматической сажалки с высаживающими аппаратами элеваторного типа, как системы, должно обеспечить надежность процесса посадки, которая оценивается отсутствием повреждений ростков клубня и равномерностью раскладки картофеля на уровне дна борозды.

Методика исследований предусматривала изыскание теоретических предпосылок увеличения надежности процесса формирования равномерности посадки элеваторным высаживающим аппаратом. Теоретические исследования выполняли с использованием основных положений законов и методов теоретической механики и математики. Обработку результатов расчетов и экспериментов проводили на персональном компьютере с использованием стандартных программ и приложений Microsoft Office и STATISTICA ver. 10.

Анализ и обсуждение результатов исследований. Согласно ГОСТ 28309-2018, один из основных показателей надежности и качества выполнения технологического процесса посадки полуавтоматической картофелесажалкой – равномерность посадки клубней $P_{II}(t)$, которую можно представить в виде функции:

$$P_{II}(t) = f([I_k(t); V_m(t); H(t); \rho_n(t); \delta(t)]), \quad (1)$$

где $I_k(t)$ – изменчивость размера клубней, м;

$V_m(t)$ – скорость движения сажалки, м/с;

$H(t)$ – высота падения клубней из высаживающего аппарата, м;

$\rho_n(t)$ – плотность дна борозды, г/см³;

$\delta(t)$ – скольжение опорно-приводных колес (при соблюдении агротехнических условий возделывания в основном будет определяться коэффициентом скольжения колес по почве).

Эта функция устанавливает зависимость неравномерного распределения клубней в борозде картофелесажалкой от следующих основных факторов: различия размеров и формы клубней; высота падения; плотность почвы; скорость движения агрегата; скольжение колес машины.

На равномерность расстояния между клубнями картофеля при раскладке в борозде в значительной степени влияет траектория движения клубня с ложечкой высаживающего аппарата. Мы рассмотрели ее для двух вариантов: совпадение (рисунок 1, а) и несовпадение (рисунок 1, б) направления движения высаживающего аппарата с направлением движения машины. При этом перемещение ложечки по клубнепроводу будет характеризоваться поступательным движением, а при нахождении ее на ведущей звездочке в момент сбрасывания клубня – вращательным движением.

В результате теоретических изысканий по установлению движения клубня, как материальной точки [13], было выявлено, что абсо-

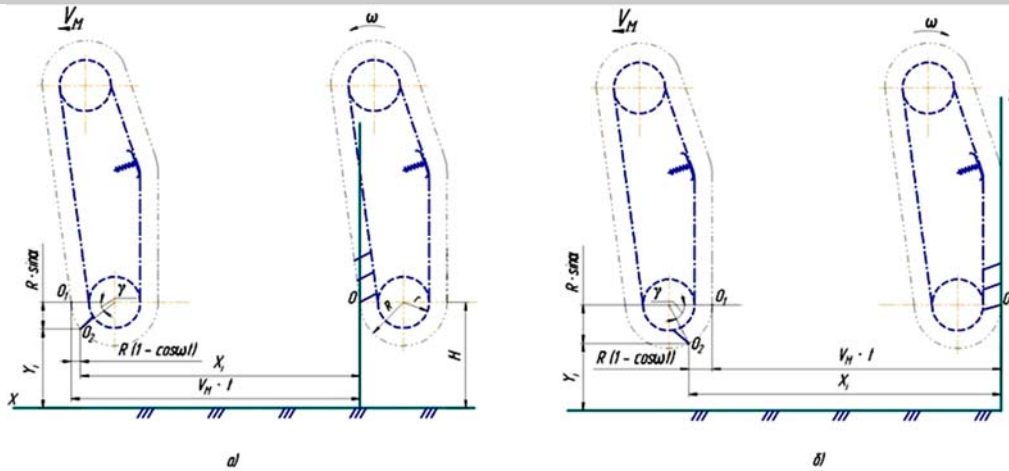


Рисунок 1 – Схема работы элеваторного высаживающего аппарата, при совпадении (а) и несовпадении (б) направления его движения с движением картофелесажалки: ω – угловая скорость высаживающего аппарата; X_i и Y_i – координаты точки (ложечки) в момент сбрасывания клубней

лютная скорость клубня в момент схождения с ложечки высаживающего аппарата будет минимальной при совпадении направления движений высаживающего аппарата и картофелесажалки. В таком случае достигается наименьшее смещение клубней один относительно другого на уровне дна борозды. Абсолютная скорость движения клубня при этом будет определяться выражением:

$$V_{abc} = V_M \cdot \sqrt{1 - 2\lambda \cdot \sin \gamma + \lambda^2}, \quad (2)$$

где V_M – скорость движения картофелесажалки, м/с;

$\lambda = V_0 / V_M$ – коэффициент, характеризующий режим работы аппарата;

V_0 – окружная скорость ложечки, при ее движении по ведущей звездочке высаживающего аппарата, м/с;

γ – угол поворота ложечки, град.

Однако реализация указанного наиболее предпочтительного варианта направления движения высаживающего аппарата при посадке пророщенного картофеля повышает вероятность повреждения ростков из-за увеличения длины пути движения клубней и их опрокидывания на предыдущую ложечку. По этой при-

чине более целесообразно использовать траекторию движения высаживающего аппарата несовпадающую с направлением движения сажалки. Для этого его необходимо снабдить реверсивным механизмом, что позволит сократить длину пути клубня и гарантированно обеспечит мягкую его укладку в посадочную борозду, благодаря снижению высоты падения. Однако процесс формирования равномерности посадки элеваторным высаживающим аппаратом станет еще важнее, так как на нее будет влиять изменчивость размеров клубней. Воздействие этого фактора в конструкции серийной сажалки минимизировано в результате наклона клубнепровода на $110...120^\circ$, относительно горизонтальной оси ведущей звездочки высаживающего аппарата. При работе сажалки в полуавтоматическом режиме с обратным движением высаживающего аппарата вертикальный клубнепровод не может снизить влияние различия размеров клубней на равномерность их распределения в посадочной борозде. В связи с этим был рассмотрен процесс сбрасывания клубней высаживающим аппаратом в зависимости от их размеров (рисунок 2).

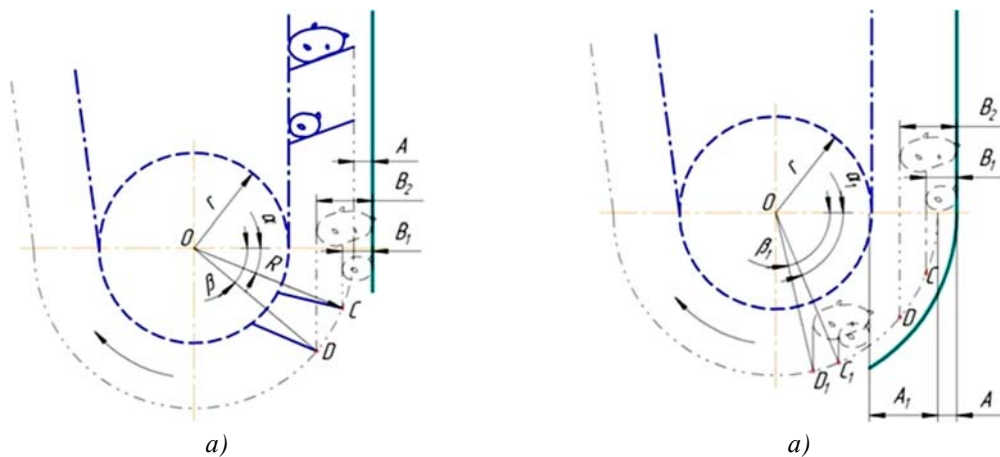


Рисунок 2 – Схема сбрасывания клубней серийным (а) и модернизированным (б) элеваторным высаживающим аппаратом при изменении направления вращения:

A – зазор между клубнепроводом и вершиной ложечки

Согласно рассматриваемой схеме мелкие клубни размером B_1 начинают свободно падать в борозду при положении ложечки в точке C , а крупные размером B_2 – в точке D . В этих точках ложечки будут повернуты, относительно горизонтальной плоскости оси вращения ведущей звездочки аппарата, соответственно на угол α и β . Изменчивость размеров клубней ΔB , пост ивующих в высаживающий аппарат из питательного бункера, при этом можно выразить уравнением:

$$\Delta B = R \cdot \cos \alpha - R \cdot \cos \beta = R (\cos \alpha - \cos \beta), \quad (3)$$

где R – радиус вращения конца ложечки в момент нахождения на ведущей звездочке, мм.

При этом зависимость разности углов $(\beta - \alpha)$ как функция от изменчивости размеров клубней (ΔB) будет определяться выражением:

$$\beta - \alpha = \arccos \frac{R + A - B_2}{R} - \arccos \frac{R + A - B_1}{R}, \quad (4)$$

С целью уменьшения влияния размеров клубней на равномерность посадки в рассматриваемой схеме используем новый конструктивный параметр A_1 (рисунок 2, б), характеризующий точку сброса клубней, при котором влияние их размеров будет минимальным. В этом случае величина углов будет выражаться разностью $(\beta_1 - \alpha_1)$ которая будет определять изменение расстояния ΔS между клубнями в борозде:

$$\Delta S = \pm \frac{\pi r \cdot i \cdot (\beta_1 - \alpha_1)}{180} = \pm \frac{\pi r \cdot i}{180} \left[\arccos \frac{R + A_1 - B_2}{R} - \arccos \frac{R + A_1 - B_1}{R} \right], \quad (5)$$

где i – передаточное число от обода колеса к высаживающему аппарату;

r – радиус ведущей звездочки высаживающего аппарата, мм.

Предложенная ранее модернизация конструкции элеваторного аппарата путем допол-

нения специальным удлинителем кожуха клубнепровода, изогнутого по радиусу на $80 \dots 90^\circ$, позволит снизить отклонение клубней от среднего значения шага посадки в 1,5 раза [10].

Рассмотрим процесс посадки пророщенных клубней полуавтоматической картофелесажалкой с предлагаемыми изменениями в виде статической модели (рисунок 3), реализующей два этапа: создание потока клубней и их сбрасывание высаживающим аппаратом; преобразование потока клубней и их фиксация системой конечного взаимодействия (почва дна борозды).

Согласно приведенной модели клубень, находящийся на ложечке высаживающего аппарата, перемещается из точки O_1 в точку O_2 и начинает свободно падать. При этом картофелесажалка пройдет путь $V_M \cdot t_\gamma$, а ложечка повернется на угол γ . Одновременно позиция точки O_2 будет определять наиболее выгодную точку сбрасывания клубня, характеризующую высоту падения. За время падения клубня высаживающий аппарат пройдет путь $V_M \cdot t_{nad}$ и точка сбрасывания O_2 переместится в новое положение O_2' . Такое перемещение клубня в горизонтальной плоскости X_{nad} будет описывать траекторию движения от точки сброса до точки укладки в борозде. В итоге конечное положение клубня, без учета его перекатывания по дну борозды, будет характеризовать точка n_1 . Таким образом, процесс посадки модернизированным высаживающим аппаратом, в части формирования потока клубней и их раскладки на уровне дна борозды, будет характеризоваться рядом интервалов, определяемым уравнением:

$$\Delta l_i = V_M \cdot (t_\gamma + t_{nad}) + R(1 - \cos \gamma) + R_1 \cdot \omega \cdot \sin \gamma \cdot t_{nad}, \quad (6)$$

где t_γ – промежуток времени на перемещение клубня от O_1 до O_2 , с;

t_{nad} – время падения клубня, с;

R_1 – радиус вращения клубня в высаживающем аппарате, м;

ω – угловая скорость, c^{-1} .

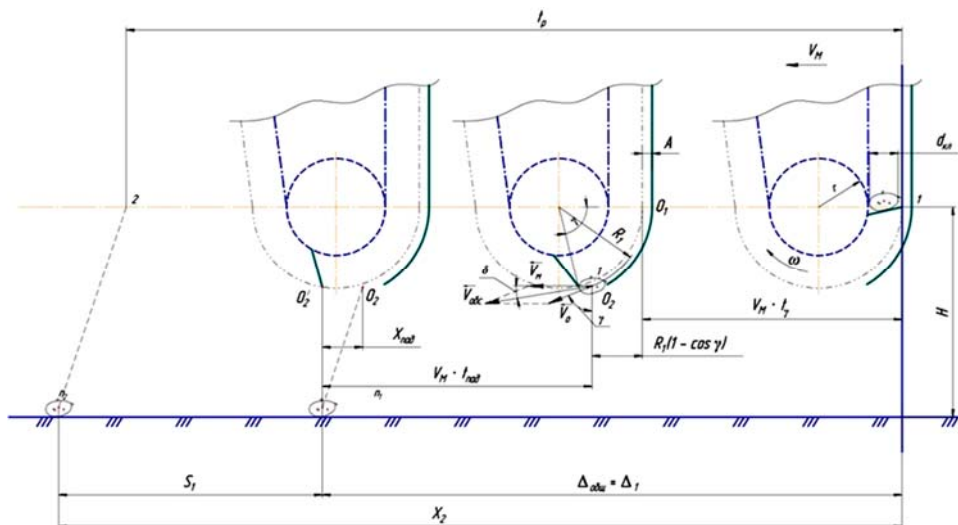


Рисунок 3 – Схема статической модели посадки картофеля полуавтоматической картофелесажалкой: H – высота расположения вала ведущей шестерни высаживающего аппарата над поверхностью борозды;

S_1 – расстояние между первым и последующим клубнем в посадочной борозде;

t_p – интервал времени между клубнями относительно начала отсчета

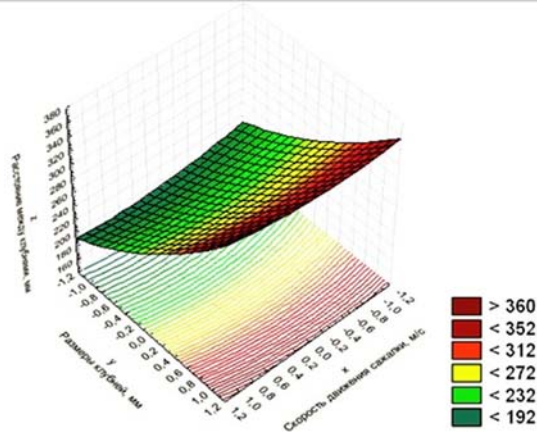


Рисунок 4 – Поверхность отклика распределения клубней картофеля элеваторным аппаратом при обратном его вращении

По результатам проведенных теоретических исследований можно отметить, что надежность процесса посадки пророщенного картофеля полуавтоматической сажалкой $P_{IT}(t)$ в основном зависит от изменчивости размеров клубней, характеризуемой радиусом R_1 их вращения, а также от скорости движения сажалки и высоты падения клубней. Эти факторы определяют величину Δ_i потока клубней, фиксируемых почвой посадочной борозды.

При этом высота падения клубня характеризуется точкой его сбрасывания O_2 (рисунок 3) и будет определяться:

$$h = H - R_1 \cdot \sin \gamma.$$

В модернизированном высаживающем аппарате клубень начинает свободно падать при величине угол γ , относительно горизонтальной плоскости оси шестерни, который равен:

$$\gamma = \arccos(R + A - d_{кз} / R).$$

Время падения клубня при этом составит:

$$t_{пад} = \frac{\sqrt{(R_1 \cdot \omega \cdot \cos \gamma)^2 + 2g(H - R_1 \cdot \sin \gamma)} - R_1 \cdot \omega \cdot \cos \gamma}{g}.$$

Из этого следует, что величина высоты падения клубня будет зависеть главным образом от размера (диаметра) клубня и времени его падения.

Для оценки надежности процесса посадки модернизируемой картофелесажалки, с учетом конструктивных и технологических характеристик, был спланирован полный двухфакторный эксперимент первого порядка, с выделением наиболее значимых факторов: X_1 – скорость движения сажалки $V_M = 1...2$ км/ч; X_2 – размеры клубней $d_K = 30...75$ мм. Их числовые величины были закодированы: нижний (-1) и верхний (+1) уровень.

В результате оптимизации конструктивных и технологических параметров полуавтоматической сажалки по критерию минимального отклонения от шага посадки была получена математическая модель рабочего процесса посадки следующего вида:

$$\hat{Y} = 255,42 - 1,17 \cdot x_1 + 67,08 \cdot x_2 + 7,06 \cdot x_1^2 + 5,19 \cdot x_1 \cdot x_2 + 11,35 \cdot x_2^2. \quad (7)$$

Ее достоверность определяли с использованием критерия Фишера, на основании которого с вероятностью 0,95 можно утверждать, что уравнение адекватно описывает исследуемый процесс, и математическую модель можно принять для оценки результатов эксперимента.

Анализ графика поверхности отклика (рисунок 4), устанавливающего влияние скорости движения сажалки и размеров клубней на расстояние между клубнями на уровне дна борозды, свидетельствует, что оптимум функции достигается при посадке клубней средней фракции (40...55 мм) со скоростью движения сажалки 1,5 км/ч. При этом показатель надежности процесса посадки – коэффициент равномерности распределения клубней составляет 85,8 %, что соответствует агротехническим требованиям.

Выводы. На основании проведенных исследований технологического процесса полуавтоматической картофелесажалкой подтверждено влияние скорости машины и изменчивости размеров клубней на равномерность посадки. Влияние высоты падения на равномерность распределения клубней в посадочной борозде минимизировано путем установления оптимальной точки их сбрасывания модернизированным высаживающим аппаратом. При этом рабочий процесс высаживающего аппарата по формированию равномерной посадки представлен в виде математической модели, описывающей интервалы Δ_i между клубнями. Анализ зависимости, характеризующей распределения клубней в посадочной борозде при несовпадении направления вращения высаживающего аппарата и движения сажалки, показал, что оно оптимально при посадке картофеля средней фракции (40...55 мм) и скорости движения сажалки 1,5 км/ч. При этом коэффициент равномерности распределения клубней составляет 85,8 %, что соответствует агротехническим требованиям.

Литература

1. Старовойтов В.И. Высокоточные технологии возделывания картофеля / В. И. Старовойтов, Е. А. Симаков, Б. В. Анисимов и др. М.: РАСХН, 2011. 50 с.
2. Патент 2286666 РФ, МПК А 01 G 1/00. Способ возделывания картофеля / Старовойтов В. И. Черников В. И., Холстинин А. Ю. и др., заявл. 24.02.2005; опубл. 10.11.2006.
3. Старовойтов В.И., Молчанова Е.Я., Старовойтова О.А. Технология выращивания раннего картофеля для дачных и фермерских хозяйств // Картофелеводство. Материалы научно-практической конференции. М.: ВНИИКС, 2017. С. 217-221.
4. Самаркин А.А., Шашкаров Л.Г., Григорьев Я.М. Структура, качество продукции и товарность урожая в зависимости от проращивания и проявливания клубней картофеля перед посадкой и расчетных доз удобрений // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. №4 (42). С. 44-48.
5. Патент 2624960 РФ, МПК А 01 С 1/06. Способ предпосадочного проращивания клубней картофеля / Семенов А.В., Михайлов Б.В., Доброхотов Ю.Н., заявл. 29.03.2016; опубл. 11.07.2017, Бюл. №20.
6. Большаков Н.Ф. Исследование повреждаемости ростков яровизированного картофеля в бункере сажалки // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 1971. №5. С. 168-172.
7. Колесников Н.С. Повреждаемость ростков яровизированного картофеля сажалками элеваторного типа и ее влияние на его урожайность // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Материалы международной науч. - практ. конференции. 2014. С. 336-340.
8. Shardina G.E., Karpov M.V. Justification kinematical parameters spoon-belt apparatus are planted // Scientific Review. 2011. №4. P. 117-121.
9. Rykaczewska K. Effect of physiological age of mother tubers and desprouting before planting on plant development and yield of early cultivars. Bulletin of Plant Breeding and Institute. Warsaw, 2000. №. 209. S. 97-110.
10. Гаврилов В.Н. Исследование физико-механических свойств ростков клубней и совершенствование картофеля-сажалки для пророщенного картофеля: дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2004. 133 с.
11. Kalimullin M. Improvement of potato cultivation technology / M. Kalimullin, R. Abdrakhmanov, R. Andreev etc // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/346/1/012017/pdf> (дата обращения: 18.05.2020).
12. Алатырев С.С., Мишин П.В., Алатырев А.С. Новый капустоуборочный комбайн // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. №1 (48). С. 102-107.
13. Гаврилов В.Н., Семенов А.В., Новиков А.М. Процесс формирования равномерности посадки полуавтоматической картофелесажалкой // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (9). С. 74-80.

Сведения об авторах:

Гаврилов Владислав Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, e-mail: gavrilov-vlad21@yandex.ru

Семенов Александр Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, e-mail: s.alexander2011@yandex.ru

Новиков Алексей Михайлович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: novam1@mail.ru

Иванов Владимир Андреевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: Vladimir21VA@mail.ru

Терентьев Алексей Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор, e-mail: stl_mstu@mail.ru
ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия.

UNIFORM PLANTING OF SPROUTED TUBERS
SEMI-AUTOMATIC POTATO PLANTER
Gavrilov V.N., Semenov A.V., Novikov A.M., Ivanov V.A., Terentev A.G.

Abstract. In order to obtain early potato production, pre-planting germination of tubers and subsequent furrow-reduced planting of tubers play an important role. In view of the more stringent requirements for the process of planting sprouted tubers, the use of automatic seedlings in the production of early potatoes is limited. In this situation, the improvement of such machines for semi-automatic landing allows to satisfy all agricultural technical requirements. To this end, the potato planter with the elevator planting apparatus is provided with a reversible mechanism that reduces the length of the tuber path and reduces the height of their fall when leaving the spoons. However, these proposed changes may change the uneven layout of tubers at the furrow bottom level. To solve this point, the design of a special extension of the tuber duct casing has been developed, bent along the radius by the value of the angle of 80...90 degrees, which allows to reduce by 1.5 times the deviation of uniformity of tubers from the average value. In subsequent theoretical studies, the main parameters of tuber movement (absolute speed, fall time, movement in the horizontal plane) were established and an analytical expression was obtained describing the values of the distances between tubers at the level of the bottom of the furrow. This model is described by the equation of the polynomial function of the second degree and is a mathematical model of the laying of tubers to the furrow by the planting apparatus when the direction of its rotation does not match with the movement of the seedling. Analysis of analytical dependence (7) shows that the optimal distribution of tubers in the planting furrow is achieved when planting medium-sized potatoes (40... 55 mm) with a planting speed of 1.5 km/h. At the same time, the reliability index of the landing process is 85.8%, which corresponds to agricultural technical requirements.

Keywords: potato planter, planting apparatus, dynamic system, sprouted tubers, uniformity of planting, mathematical model, reliability of the process.

References

1. Starovoytov V. I. *Vysokotochnnye tehnologii vozdelvaniya kartofelya* [High-precision potato cultivation technology]. / V. I. Starovoytov, E. A. Simakov, B. V. Anisimov and others. Moscow: RASKhN, 2011. P. 50.
2. Patent 2286666 RF, МПК А 01 G 1/00. *Sposob vozdelvaniya kartofelya*. [Potato cultivation method]. /

- Starovoytov V. I., Chernikov V. I., Kholstinin A. Yu. And others. zayavl. 24.02.2005; opubl. 10.11.2006.
3. Starovoytov V.I., Molchanova E.Ya., Starovoytova O.A. *Tehnologiya vyraschivaniya rannego kartofelya dlya dachnyh i fermerskih khozyaystv*. [Early potato technology for summer and farming] // *Kartofelevodstvo. Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii*. M., 2017. S. 217-221
 4. Samarkin A.A., Shashkarov L.G., Grigorev Ya.M. *Struktura, kachestvo produktsii i tovarnost urozhaya v zavisimosti ot proraschivaniya i provyalivaniya klubney kartofelya pered posadkoj i raschetnyh doz udobreniy*. [Crop structure, quality and marketability depending on the germination and venting of potato tubers before planting and estimated fertilizer doses]. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2016. Vol. 11. №4 (42). P. 44-48.
 5. Patent 2208924 RF, MPK 7 A 01 S 1/06. *Sposob predposadochnogo proraschivaniya klubney kartofelya*. [Method for pre-planting germination of potato tubers]. / Semenov A.V., Mikhaylov B.V., Dobrokhotov Yu.N. zayavl. 29.03.2016; opubl. 11.07.2017, Byul. №20.
 6. Bolshakov N.F. *Issledovanie povrezhdaemosti rostkov yarovizirovannogo kartofelya v bunkere sazhalki*. [Investigation of damageability of vernalized potato sprouts in the bunker of a planter]. // *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. - Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products*. 1971. №5. P. 168-172.
 7. Kolesnikov N.S. *Povrezhdaemost rostkov yarovizirovannogo kartofelya sazhalkami elevatornogo tipa i ee vliyanie na ego urozhaynost*. // *Resursosberegayuschie ekologicheski bezopasnye tehnologii proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii. Materialy mezhdunarodnoy nauch.- prakt. konferentsii*. [Damage to sprouts of vernalized potatoes by planters of an elevator type and its effect on its productivity]. // *Resource-saving environmentally friendly technologies of production and processing of agricultural products. Proceedings of International scientific and practical conference*. 2014. P. 336-340.
 8. Shardina G.E, Karpov M.V. *Justification kinematical parameters spoon-belt apparatus are planted* // *Scientific Review*. 2011. №4. P. 117-121
 9. Rykaczewcka K. *Effect of physiological age of mother tubers and desprouting befor planting on plant development and yield of early cultivars*. *Bulletin of Plant Breeding and Institute*. Warsaw, 1999. No. 209. P. 97-110
 10. Gavrilov V.N. *Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv rostkov klubney i sovershenstvovanie kartofelesazhalki dlya proroschennogo kartofelya: dis. ... kand. s.-kh. nauk*. (Research of physical and mechanical properties of tubers sprouts and improvement of potato planter for sprouted potatoes: dissertation for a degree of Ph.D. of agricultural sciences). Moscow, 2004. P. 133.
 11. Kalimullin M. *Improvement of potato cultivation technology / M. Kalimullin, R. Abdrakhmanov, R. Andreev etc* // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/346/1/012017/pdf> (circulation date: 18.05.2020)
 12. Alatyrev S.S., Mishin P.V., Alatyrev A.S. *Novyy kapustoborochnyy kombayn*. [New harvester of cabbage]. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2018. Vol. 13. №1 (48). P. 102-107.
 13. Gavrilov V.N., Semenov A.V., Novikov A.M. *Protsess formirovaniya ravnomernosti posadki poluavtomaticheskoy kartofelesazhalkoy*. [The process of forming the uniformity of planting by semi-utomatic potato planter]. // *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. – The Herald of Chuvash State Agricultural Academy*. 2019. № 2 (9). P. 74-80

Authors:

Gavrilov Vladislav Nikolaevich – Ph. D. of Agricultural Sciences, Associate professor, e-mail: gavrilovvlad21@yandex.ru
 Semenov Aleksandr Valerevich – Ph. D. of Agricultural Sciences, Associate professor, e-mail: s.alexander2011@yandex.ru
 Novikov Aleksey Mikhaylovich – Ph. D. of Technical Sciences, Associate professor, e-mail: novam1@mail.ru
 Ivanov Vladimir Andreevich – Ph. D. of Technical Sciences, Associate professor, e-mail: Vladimir21VA@mail.ru
 Terentev Aleksey Grigorevich – D. of Physics and Mathematics Sciences, Professor, e-mail: stl_mstu@mail.ru
 Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia.