

Ю. Н. Бабак¹, В. В. Голдыбан², А. С. Воробей², Д. И. Комлач², М. И. Курилович²

¹ГУ «Белорусская МИС»

пос. Привольный, Минский р-н, Республика Беларусь

E-mail: yuribabak@tut.ru

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labpotato@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРТОФЕЛЕСАЖАЛКИ С ВЫСАЖИВАЮЩИМ АППАРАТОМ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТИПА

Аннотация. В статье проведены экспериментальные исследования высаживающего аппарата пневматического типа. Экспериментальными исследованиями определено минимальное давление присасывания клубней для стационарных условий эксплуатации картофелесажалки. Для клубней средней фракции (30–55 мм) оно составило 4,5–5,3 кПа, для клубней крупной фракции (55–80 мм) – 6,7–7,5 кПа. При работе сажалки в полевых условиях из-за рельефа местности давление, удерживающее клубни, увеличивается для средней фракции – 8,0 кПа, для крупной – 9,7 кПа.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, пневматический высаживающий аппарат, доля пропусков, доля двойников, равномерность раскладки, клубни, картофель, вакуум, точная посадка.

U. N. Babak¹, V. V. Goldyban², A. S. Verabei², D. I. Komlach², M. I. Kurilovich²

¹SI “Belarusian MTS”

s. Privolny, Minsk dis., Republic of Belarus

E-mail: yuribabak@tut.ru

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labpotato@mail.ru

EXPIREMENT REASACHES OF PLANTER APPARAT PNEUMATIC TYPE FOR PLANTER FOR PRECISE PLANT TUBERS POTATOES

Abstract. In article were provide expirement resaches of planter apparat pneumatic type. Expirement reaches was dimined minimum presser sucking of tubers for stationary conditions working planter. The tubers for medium fraction (30–55 mm) the presser was 4,5–5,3 kPa, for tuber big fraction (55–80 mm) – 6,7–7,5 kPa. For worckes the planter in a field conditions bisides the terrain the vacuum presser holder of tubers to increase for medium fraction – 8,0 kPa, for big fraction – 9,7 kPa.

Keywords: expirement reaches, the share of passes, the share of twins, the uniformity of the layout, pneumatic planter's apparats, tubers, potatoes, vacuum, precise planter.

Введение

Картофель является одним из основных продуктов питания в рационе многих людей во всём мире и занимает второе место, после риса, по степени широкомасштабного глобального распространения. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, в 2020 г. в сельскохозяйственных и фермерских хозяйствах картофель возделывался на площади 25,4 тыс. га, валовый сбор составил 6 913 600 т, при средней урожайности 282,0 ц/га. Значимость этой культуры подчеркивается и тем, что она включена в Государственную программу развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2020–2025 гг.

Одной из основных операций при возделывании картофеля является посадка. Основными задачами посадки являются обеспечение заданной площади питания и глубины заделки, кото-

рые во многом определяют качество будущего урожая, так как от них зависит дальнейший рост и развитие растений.

Для посадки клубней картофеля чаще всего используют четырехрядные сажалки, с высаживающим аппаратом ленточного либо цепного типа с двумя рядами ложечек для захвата и транспортирования семенного материала. С данными типами высаживающих аппаратов отечественной промышленностью выпускаются картофелесажалки СК-4 (ГП «Экспериментальный завод» РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск), КСМ-4 (ОАО «Агропромсельмаш», г. Лида), Л-202 и Л-207 (ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш», г. Лида). Использование двух рядов ложечек позволяет обеспечить производительность отечественных сажалок до 6–10 га за смену.

Основная часть

С целью повышения равномерности распределения клубней в поле, снижения количества двойников и пропусков лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов предложена новая конструкция высаживающего аппарата пневматического типа.

Несмотря на то, что производительность высаживающих аппаратов ложечного типа достаточно высокая, вместе с тем данная конструкция не обеспечивает равномерного распределения клубней в гнезде. Это связано, в первую очередь, с естественными вариациями формы и размера клубней, плохой их текучестью в бункере и инерционностью клубней в момент схода с ложки и поступления в борозду. Первые два фактора обуславливают захват ложечкой двух клубней, либо их отсутствие, в результате чего в поле могут встретиться гнезда с числом клубней от 0 до 4. Инерционность клубней также влияет на равномерность распределения клубней в борозде. Для распределения клубней картофеля в борозде с заданным шагом необходимо, чтобы клубни сбрасывались на дно борозды ложечкой с горизонтальной абсолютной скоростью равной нулю. На практике клубни выбрасываются из ложечки центростремительной силой, при этом происходит их раскатывание в гнездах, что, в свою очередь, изменяет равномерность размещения гнезд вдоль рядков. Из-за особенности подачи клубней ложечкой в борозду равномерность распределения клубней в поле картофелепосадочными машинами с ленточно-ложечковыми высаживающими не превышает 65–80 %.

Повысить равномерность распределения клубней в поле, снизить количество двойников и пропусков можно за счет изменения конструкции пневматического высаживающего аппарата.

Особенностью конструкции данного высаживающего аппарата является возможность повышения равномерности посадки клубней картофеля на высоких скоростях с помощью отрицательного (вакуумного) давления, чтобы захватывать посевной материал, и положительного (воздушного) давления, чтобы высаживать его точно в борозду для равномерной раскладки клубней картофеля.

Для исследования влияния параметров и режимов работы нами использовалась экспериментальная установка – высаживающий аппарат пневматического типа. Внешний вид его конструкции и режимы работы представлены на рисунке 1.

Процесс работы высаживающего колеса характеризуется четырьмя режимами: режим захвата, транспортировки, продувки и сброса (рисунок 2).

Первый режим – режим захвата клубня: когда всасывающие рукава захватывают клубни в условиях вакуума.

Второй – режим транспортировки: клубни, удерживаемые вакуумом, перемещаются к области сброса.

Третий – режим сброса клубня: положительное вакуумное давление прекращается, под действием силы тяжести клубни отделяются от сопла всасывающего рукава и падают в борозду.

Четвертый – режим продувки: в процессе работы высаживающего колеса в вакуумную камеру попадает разнообразный мусор (песок, частицы почвы и другой абразив), что в свою очередь приводит рабочие органы к изнашиванию. Поэтому необходимо периодически в процессе работы высаживающего колеса использовать режим продувки.

Одним из важных элементов высаживающего аппарата является вентилятор, он предназначен для создания вакуумного давления в вакуумной камере. Конструкция и режимы вентилятора представлены на рисунке 3.



Рисунок 1 – Высаживающий аппарат пневматического типа с обоснованными конструктивными и режимными параметрами

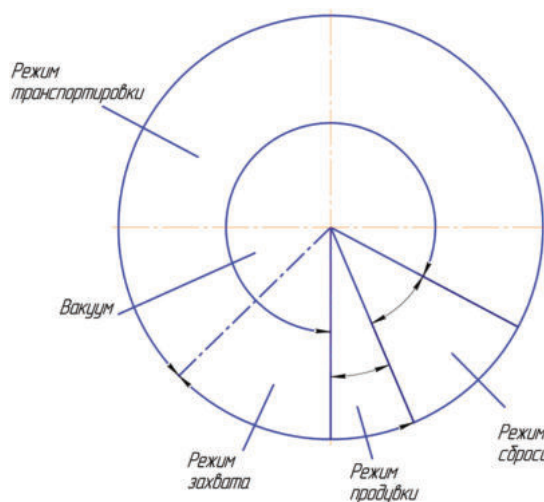


Рисунок 2 – Схема основных режимов высаживающего колеса

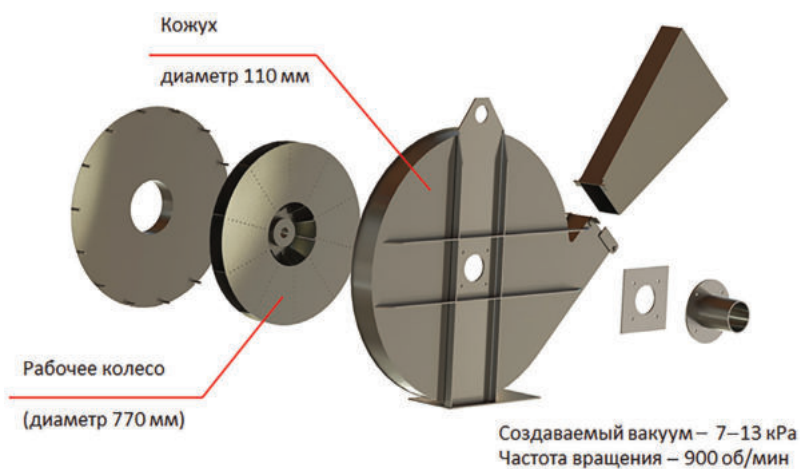


Рисунок 3 – Вентилятор и режимы его работы

В процессе экспериментальных исследований была произведена посадка клубней картофеля (рисунки 4, 5). Теоретическое расстояние между клубнями бралось 20 см (рисунок 6). К основным параметрам, которые оказывают наибольшее влияние на качество посадки, относятся: частота вращения высаживающего колеса, высота заполнения бункера клубнями картофеля, вакуумное давление.



Рисунок 4 – Высаживающий аппарат пневматического типа (общий вид):
1 – высаживающее колесо; 2 – всасывающий рукав; 3 – всасывающее сопло



Рисунок 5 – Работа пневматической высаживающей системы в поле



Рисунок 6 – Равномерность раскладки клубней картофеля

Нижнее значение уровня вакуумного давления 8 кПа было выбрано в процессе эксперимента. Это тот предел давления, который удерживал средний клубень, а верхнее значение 12 кПа было определено экспериментально и взято на 15 % больше с учетом тяжелых условий эксплуатации картофелесажалки, тот предел давления, который удерживал как средний, так и крупный клубни (таблица 1).

Частота вращения высаживающего колеса менялась при помощи ВОМ трактора и замерялась на панели управления в кабине трактора.

Вакуумное давление измерялось с помощью прибора ППДУ-01. Для значений фракций клубней размером 30–50 мм достаточно было давления 5,3 кПа, а чтобы удерживать клубни картофеля обеих фракций размером от 30 до 80 мм необходимо давление 8 кПа.

Таблица 1 – Обоснование рабочего давления присасывания клубня

Размер клубней	Значения, мм	Наименьшее давление присасывания, кПа	Давление, удерживающее клубень при работе сажалки, кПа
Средний	30–55	4,5–5,3	8,0
Крупный	55–80	6,7–7,5	9,7

Высота заполнения бункера для клубней изменялась при помощи датчика уровня высоты. В качестве измеряемых показателей для процесса посадки мы выбираем: равномерность распределения клубней в рядке, долю пропусков и долю двойников, которые рассчитываются по формулам.

Равномерность распределения клубней по полю рассчитываем по формуле:

$$R = \frac{i}{n} \cdot 100, \quad (1)$$

где i – число высаженных клубней, фактическое расстояние между которыми составляет от 0,8 до 1,2 установочного расстояния между клубнями в ряду; n – общее число клубней, высаженных на измерительном участке с установочным расстоянием между клубнями в ряду.

Долю пропусков (M) в процентах определяют по формуле:

$$M = \frac{j}{n} \cdot 100, \quad (2)$$

где j – число пропусков.

Долю двойников (D) в процентах определяют по формуле:

$$D = \frac{k}{n} \cdot 100, \quad (3)$$

где k – число двойников.

Основной задачей планирования эксперимента является получение статистической математической модели объекта исследования в виде полинома (уравнения регрессии), чаще всего первой или второй степени.

Качество равномерности (y_1) на выходе в нашем случае является параметром оптимизации: $y_{1\max} = 1$ – при 100-процентной равномерности раскладки клубней.

Качество работы посадки будет наилучшим в том случае, когда на выходе клубни имеют 100-процентную долю пропусков и не имеют двойников, т. е. $y_1 = 1$.

Для проведения экспериментальных исследований был выбран симметричный некомпозиционный план Бокса – Бенкена, т. е. способ построения симметричных близких к ротатабельным планов второго порядка при условии, что каждая переменная может изменяться не более, чем на трех уровнях ($-1, 0, +1$). В отличие от планов на сфере, планы Бокса – Бенкена строятся на гиперкубе и представляют собой комбинации двухуровневых ($-1; +1$) полных факторных экспериментов с неполноблочными сбалансированными планами (таблица 2).

Таблица 2 – Симметричный некомпозиционный план Бокса – Бенкена

Число факторов, k	Матрица планирования			План для факторов, имеющих уровни ± 1	Число опытов		
	x_1	x_2	x_3		В выборке из плана 3^k	На нулевом уровне N_0	Всего N
3	+1	-1	0	2^2	27	3	9
	0	0	+1				
	-1	0	0				
	0	-1	+1				
	+1	0	-1				
	0	+1	0				
	0	0	0				
	+1	+1	+1				
	-1	-1	-1				

Перед проведением эксперимента выбираем базовые уровни и интервалы варьирования факторов, количество параллельных опытов в каждой точке плана и порядок его реализации. При выборе факторов оптимизации учитываем, что они должны непосредственно воздействовать на изучаемый объект, быть действительно независимыми, изменяемыми и управляемыми. Исходя из этих требований, в качестве факторов оптимизации выбираем:

- частоту вращения высаживающего колеса x_1 ;
- отрицательное давление x_2 ;
- высоту заполнения бункера картофеля x_3 .

Условия опытов выбраны неслучайно, теоретические расчеты по определению режимов работы высаживающего аппарата пневматического типа позволяют считать, что исходный уровень уже находится в области оптимума. Опыты не дублировали, поскольку центральный опыт повторяли трижды.

Для эксперимента был выбран сорт картофеля Гала. Клубни были трех фракций: крупной, средней и малой с влажностью 79,7 %. Для данного сорта Гала была произведена выборка по размерно-массовым характеристикам клубней согласно ТКП 277-2010 (таблица 4).

Эксперимент проводился с трехкратной последовательностью фактических интервалов между клубнями картофеля при равномерном вращении высаживающего колеса. Данные были обработаны для получения значений критериев оценки.

В качестве экспериментальных факторов были выбраны: частота вращения высаживающего колеса от 10 до 30 об/мин, вакуумметрическое давление пневматической системы от 8 до 12 кПа и высота посевного материала от 15 до 25 см (таблица 3).

Значения экспериментальных данных, полученные на определенных уровнях, и результаты экспериментальных исследований показаны в таблице 4.

Таблица 3 – Факторы и уровни эксперимента для посадки клубней

Факторы	Частота вращения высаживающего колеса, об/мин, x_1	Высота заполнения, см, x_2	Отрицательное давление вакуумной камеры, кПа, x_3
Основной уровень x_{i0}	20	20	10
Интервалы варьирования Δx_i	10	5	2
Верхний уровень $x_i = +1$	30	25	12
Нижний уровень $x_i = -1$	10	15	8

Таблица 4 – Анализ результатов экспериментальных данных

Критерии и оценки	Факторы	Оптимальный уровень	Комбинированный оптимальный уровень	Значение комбинированного оптимального уровня
Доля двойников	X_1	30	Частота вращения высаживающего колеса – 30 об/мин; вакуумное давление – 8 кПа; высота заполнения – 25 см	Доля двойников – 0,1 %
	X_2	25		
	X_3	8		
Доля пропусков	X_1	10	Частота вращения высаживающего колеса – 10 об/мин; вакуумное давление – 12 кПа; высота заполнения – 15 см	Доля пропусков – 0,2 %
	X_2	15		
	X_3	12		
Качество	X_1	20	Частота вращения высаживающего колеса – 20 об/мин; вакуумное давление – 10 кПа; высота заполнения – 25 см	Равномерность раскладки – 92,1 %
	X_2	25		
	X_3	10		

В процессе экспериментальных исследований было установлено, что при значениях уровней частоты вращения высаживающего колеса – 30 об/мин, вакуумном давлении 8 кПа, высоте заполнения 25 см доля двойников составила наилучший показатель – 0,1 %. При значениях уровней частоты вращения высаживающего колеса – 10 об/мин, вакуумного давления 12 кПа, высоте заполнения 15 см было достигнуто наилучшее значение доли пропусков – 0,2 %. При значениях уровней частоты вращения высаживающего колеса – 20 об/мин, вакуумном давлении 10 кПа, высоте заполнения 25 см была получена наилучшая раскладка клубней в рядке, чему соответствовал критерий качества 92,1 %.

Заключение

Экспериментальными исследованиями определено минимальное давление присасывания клубней для стационарных условий эксплуатации картофелесажалки. Для клубней средней фракции (30–55 мм) оно составило 4,5–5,3 кПа, для клубней крупной фракции (55–80 мм) – 6,7–7,5 кПа. При работе сажалки в полевых условиях из-за рельефа местности давление, удерживающее клубни, увеличивается для средней фракции – 8,0 кПа, для крупной – 9,7 кПа.

Установлено, что увеличение частоты вращения высаживающего колеса свыше 20 об/мин приводит к большей силе инерции клубня, сокращающей время прохождения вакуумного захвата через ворох клубней в питающем бункере, сокращает время контакта между вакуумным захватом и клубнем, что приводит к ухудшению условий захвата и увеличению доли пропусков. Рост всасывающего давления свыше 10 кПа обеспечивает надежный захват клубней картофеля, а при достижении 12 кПа способствует захвату нескольких клубней сразу.

В результате экспериментальных исследований установлено, что наилучшее качество посадки картофеля вакуумным высаживающим аппаратом обеспечивается при следующих параметрах: высоте материала в питающем бункере – 20 см, частоте вращения высаживающего колеса – 30 об/мин, вакуумном давлении – 8 кПа, где доля пропусков составляет – 0,1 %, доля двойников – 0,2 %, равномерность раскладки клубней картофеля в рядке – 92,1 %. Согласно агротехническим требованиям для посадки картофеля, равномерность и распределение клубней в ряду должны быть не менее 80 %; количественная доля пропусков – не более 3 %; количественная доля двойников – не более 5 %.