

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ПРИЕМНОГО ЛЕМЕХА ДЛЯ ПОДКАПЫВАНИЯ/ПОДБОРА КОРНЕПЛОДОВ И ЛУКОВИЦ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

ДОРОХОВ Алексей Семенович, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»  
 СИБИРЁВ Алексей Викторович, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»  
 АКСЕНОВ Александр Геннадьевич, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

*Проведены исследования по определению тягового усилия подкапывающего рабочего органа машины для уборки лука, описана методика проведения исследований, отображены графические зависимости тягового сопротивления подкапывающего лемеха от его технологических параметров (скорости движения  $v$  и предварительного поджатия пружины упругого механизма), получены основные статистические характеристики эксперимента.*

**Введение.** При формировании валка лука-севка на поверхности поля лукоуборочной машиной луковички взаимодействуют друг с другом и с поверхностью почвы [3, 4, 6, 7, 10]. В процессе извлечения луковички из почвы лукоуборочная машина движется поступательно, что препятствует образованию на поверхности поля валка лука-севка большой высоты и, тем самым, увеличивается процент поврежденных луковички (так как в результате увеличения валка высота падения луковички и величина приобретенного ими при ударе о нижележащие луковички механического воздействия уменьшаются, а количество лука-севка в слое валка увеличивается) [7]. Чрезмерному увеличению ширины валка лука-севка и предотвращению раскатывания луковички препятствуют бортики, образованные прикатывающим катком лукоуборочной машины [1, 5, 8, 9].

Цель исследования – экспериментальные исследования силового воздействия подкапывающего лемеха при механизированной уборке лука. Данная необходимость обусловлена стремлением к снижению тягового и удельного тягового сопротивлений сельскохозяйственных орудий, что требует постоянного изыскания более совершенных, с точки зрения энергоёмкости, рабочих органов и технологий проведения полевых работ. Так, применение рабочих органов того или иного типа обуславливает преобладание определенного вида деформаций почвенного пласта. А так как почва неодинаково сопротивляется различным видам воздействий, то это приводит к снижению или увеличению ее удельного сопротивления.

**Методика исследований.** Программа лабораторных исследований включала в себя исследование приемного лемеха для подкапывания/подбора корнеплодов с целью определения оптимальных значений его конструктивных и технологических параметров, обеспечивающих максимальную полноту выкопки корнеплодов и лука с минимальным поступлением на сепарирующие рабочие органы почвенных примесей.

Для исследования величины подачи вороха корнеплодов и луковички, поступающих с поверхности приемного лемеха для подкапывания/подбора корнеплодов на сепарирующие рабочие органы уборочной машины, были проведены исследования в условиях Пензенской области в 2018–2019 гг.

Семена лука сорта Штутгартер Ризен высевали на опытном участке. Предшественником для семян лука была капуста, кислотность почв рН 5,6–6,7.

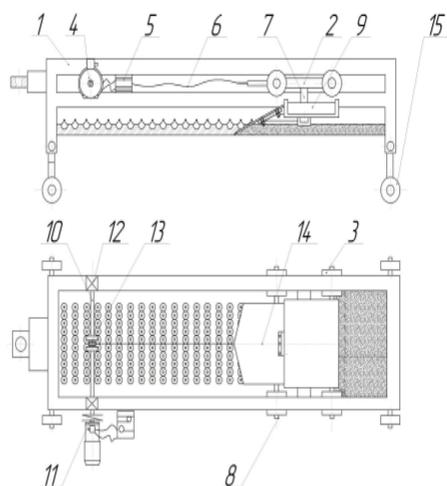
Семена лука сорта Штутгартер Ризен высевали по строчно-полосной схеме посева (шести-строчная 45+25 см), при которой стыковые междурядья и междурядья для колес трактора равны 50 см, а остальные 40 см.

Качество выкопки корнеплодов и лука приемным лемехом для подкапывания/подбора корнеплодов зависит от множества факторов. В связи с этим лабораторные исследования проводили с применением методики планирования многофакторного эксперимента на установке, смонтированной на передвижном почвенном канале (рис. 1).

С целью определения величины  $Q_{\text{вп}}$  подачи вороха лука-севка на подкапывающий лемех машины для уборки корнеплодов и лука была изготовлена лабораторная установка, которая представляет собой передвижной почвенный канал и позволяет проводить исследования качественных показателей работы подкапывающих рабочих органов на различных по гранулометрическому составу почвах.

Установка представляет собой сварную конструкцию, состоящую из направляющих 1, по которым передвигается приводная тележка 2, установленная на четыре колеса 3, приводимую в движение электродвигателем 4 с частотным преобразователем 5 через гибкую канатную связь 6.





**Рис. 1. Схема лабораторной установки по определению подачи вороха лука на подкапывающий лемех: 1 – направляющая; 2 – тележка приводная; 3 – ролик стальной; 4 – электродвигатель; 5 – преобразователь частотный; 6 – связь канатная; 7 – стойка крепежная; 8 – ось тележки; 9 – лоток сбора вороха; 10 – вал привода тележки; 11 – муфта предохранительная; 12 – подшипник; 13 – катушка с ребрами ограничительными; 14 – подкапывающий лемех; 15 – опорные колеса**

Подкапывающий лемех 14 и лоток 9 сбора вороха крепятся к стойке крепежной 7, которая монтируется на приводную тележку 2.

Перемещение приводной тележки 2 по направляющим 1 происходит на стальных роликах 3 диаметром 0,15 м посредством электрического привода, состоящего из асинхронного электродвигателя 4 и частотного преобразователя 5, позволяющего не только регулировать частоту вращения вала электродвигателя, но также и направление вращения вала.

Методика определения  $Q_{\text{ВП}}$  величины подачи вороха лука-севка с поверхности подкапывающего лемеха на сепарирующие рабочие органы заключается в следующем. Для учета влажности почвы при проведении исследований проводили ее определение по приведенной ниже методике.

Для обеспечения требуемой влажности почвы, необходимой для проведения исследований, ее увлажняли посредством поверхностного полива, далее выдерживали несколько часов для достижения необходимой влажности в почвенном горизонте, соответствующем глубине подкапывания луковиц.

Опыты проводили при условии, что влажность почвы соответствовала требуемому значению в соответствии с планом эксперимента.

Передвижной почвенный канал устанавливали на опытную делянку посевов лука-севка (рис. 2). Подкапывающий лемех 7 (стандартная ширина захвата 1,2 м) устанавливали на приводную тележку 2 передвижного почвенного канала на глубину  $h_{\text{Д}}$  подкапывания в диапазоне от

0,02...0,05 м с интервалом варьирования 0,01 посредством перемещения крепежной стойки 7 по приводной тележке 2.

Лоток 9 сбора вороха лука-севка соединяли жестко с подкапывающим лемехом.

Затем приводили в движение тележку 2, поступательная скорость движения которой изменялась с шагом 0,2 м/с от минимального значения, равного 0,4 м/с до предельного значения 1,8 м/с.

После прохождения приводной тележкой 2 опытной делянки производили забор луко-почвенного вороха из лотка 9 с последующим взвешиванием на электронных весах модели МК – 15.2 – А21 отдельно луковиц и почвенных примесей.

При проведении исследований приемного лемеха для подкапывания/подбора корнеплодов и луковиц по определению качественных показателей работы за критерий оптимизации выбран параметр – содержание почвенных примесей в сходовом ворохе  $M_{\text{П}}$ , а такие параметры, как повреждение  $\Pi_{\text{Д}}$  и потери  $P_{\text{Д}}$  луковиц принимали за ограничение.

Значение критерия оптимизации  $M_{\text{П}}$  определяли по зависимости:

$$M_{\text{П}} = \frac{M_{\text{ВЛ}} - M_{\text{Д}}}{M_{\text{ВЛ}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $M_{\text{ВЛ}}$  – масса вороха лука-севка с почвенно-растительными примесями, кг;  $M_{\text{Д}}$  – масса луковиц лука-севка, %.

Согласно проведенным исследованиям Ф.Н. Галлямова о снижении поступления переплотненных почвенных слоев на сепарирующие рабочие органы машины для уборки картофеля следует, что наибольшая чистота сходового вороха при допустимых потерях клубней до 3 % достигается при поступательной скорости движения  $v_{\text{Д}} = 1,2$  м/с, жесткости пружины  $F_{\text{ПР}} = 25$  кН/м и ее предварительным поджатием 0,05 м.



**Рис. 2. Общий вид лабораторной установки по определению показателей качества работы приемного лемеха для подкапывания/подбора корнеплодов и луковиц: 1 – направляющая; 2 – тележка приводная; 3 – ролик стальной; 4 – электродвигатель; 5 – преобразователь частотный; 6 – связь канатная; 7 – стойка крепежная; 8 – ось тележки; 9 – лоток сбора вороха; 10 – вал привода тележки; 11 – муфта предохранительная; 12 – подшипник; 13 – катушка с ребрами ограничительными; 14 – подкапывающий лемех; 15 – фильтр сетевой**





Так как полученные Ф.Н. Галлямовым результаты исследований выполнены для извлечения клубненосного вороха, а именно – картофеля подкапывающим рабочим органом с подвижной рамкой, имеющего недостаток, заключающийся в том, что при изменении величины заглубления носка подкапывающего лемеха происходит изменение угла его наклона, что отрицательно сказывается на скалывании почвенного слоя и приводит к ухудшению транспортирования подкопанного почвенного пласта на сепарирующие рабочие органы, необходимо определить и уточнить основные технологические и конструктивные параметры разработанного приемного лемеха для подкапывания/подбора корнеплодов и луковиц в связи с тем, что клубни картофеля и луковицы лука-севка обладают различными размерно-массовыми и физико-механическими свойствами (рис. 3).

Таким образом, в нашем случае имеем, что для обеспечения выглубления носка лемеха на максимальную величину от 6 см до минимальной глубины залегания луковиц лука-севка в почве до 3 см необходимо, чтобы жесткость пружины соответствовала значению  $F_{\text{ПР}} = 20$  кН/м.

Исходя из проведенного отсеивающего эксперимента по выявлению наиболее значимых факторов, оказывающих определяющее влияние на выбранный критерий оптимизации, нами выделены два критерия: предварительное поджатие пружины  $L_{\text{ПР}}$ , м; поступательная скорость движения подкапывающего лемеха  $v_{\text{Л}}$ , м/с.

Рабочую скорость движения тележки определяли по длине учетной делянки (4 м) с учетом времени ее прохождения:

$$v_{\text{Л}} = \frac{S_{\text{тел}}}{t_{\text{тел}}}, \quad (2)$$

где  $S_{\text{тел}}$  – путь, пройденный тележкой, м;  $t_{\text{тел}}$  – время прохождения пути, с.

Предварительное поджатие пружины  $L_{\text{ПР}}$  производили перемещением гайки 6 по штоку 7.

Для каждого фактора выбраны три уровня:

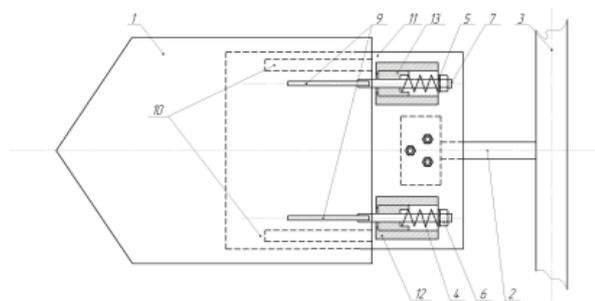


Рис. 3. Конструктивно-технологическая схема приемного лемеха для подкапывания/подбора корнеплодов и луковиц: 1 – лемех; 2 – пружина; 3 – рама; 4 – опорный упругий элемент; 5 – шайба; 6 – гайка; 7 – шток; 8, 9 – толкатели; 10 – направляющие; 11 – плита опорная; 12 – втулка

нижний, верхний и основной – нулевой уровень. После этого был установлен интервал варьирования факторов (табл. 1) и проводился многофакторный эксперимент по плану  $3^2$  (табл. 2).

**Результаты исследований.** Исследования проводили с целью определения влияния технологических параметров ( $L_{\text{ПР}}$  и  $v_{\text{Л}}$ ) приемного лемеха для подкапывания/подбора корнеплодов и луковиц на величину поступления почвенных примесей в сходовом ворохе  $M_{\text{П}}$  в лабораторных условиях.

После обработки результатов многофакторного эксперимента, используя компьютерную программу «STATISTICA – 6.0», были получены значения функций отклика – содержание почвенных примесей в сходовом ворохе  $M_{\text{П}}$ , при варьировании факторов и получена адекватная математическая модель, описывающая данную зависимость  $M_{\text{П}} = f(L_{\text{ПР}}, v_{\text{Л}})$  поступления лукопочвенного вороха в закодированном виде от выбранных факторов:

$$Y = 25,23 + 0,12x_1 + 1,63x_2 - 0,001x_1^2 - 0,015x_2^2 - 0,03x_1x_2. \quad (3)$$

Гипотезу об адекватности представленной модели проверяли статистическим анализом уравнения регрессии. Результаты расчета статистических характеристик представлены в табл. 3.

Координаты центра поверхности отклика определяем дифференцированием уравнения (7) и решением системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = 0,12 - 0,002x_1 - 0,03x_2 = 0, \\ \frac{dy}{dx_2} = 1,63 - 0,03x_2 - 0,03x_1 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Решая систему уравнений (4), находим координаты центра поверхности функции отклика в закодированном виде:  $x_1 = -86,25$ ,  $x_2 = 9,75$  (в раскодированном виде  $L_{\text{ПР}} = 0,032$  м,  $v_{\text{Л}} = 1,43$  м/с).

Подставляя значения  $x_1$  и  $x_2$  в уравнение (3) получаем значение функции отклика в центре поверхности:

$$Y_5 = 24,86. \quad (5)$$

Проведя каноническое преобразование уравнения (3), получаем уравнение в канонической форме:

$$Y - 24,86 = 0,0015x_1^2 - 0,471x_2^2. \quad (6)$$

Угол поворота осей составит:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_2 = \frac{0,005}{0,11 - 0,005} = 0,047. \quad (7)$$

Угол  $\alpha_2 = -1,26^\circ$ .

**Уровни варьирования факторов при определении качественных показателей работы приемного лемеха для подкапывания/подбора корнеплодов и луковиц**

Уровень варьирования	Варьируемые факторы		Критерий оптимизации  содержание почвенных примесей в сходовом ворохе $M_{П}$ , %
	предварительное поджатие пружины $L_{ППР}$ , м	поступательная скорость движения подкапывающего лемеха $v_{Л}$ , м/с	
	Интервал варьирования $\Delta x_i$		
	0,02	0,2	
Верхний (+1)	0,06	1,6	
Нижний (-1)	0,02	1,2	
Основной (0)	0,04	1,4	
Кодовые обозначения	$X_1$	$X_2$	$Y$

Таблица 2

**Матрица планирования двухфакторного эксперимента**

Обозначение	Факторы	
	предварительное поджатие пружины $L_{ППР}$ , м	поступательная скорость движения подкапывающего лемеха $v_{Л}$ , м/с
	$X_1$	$X_2$
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	1	0
6	-1	0
7	0	1
8	0	-1
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0

Таблица 3

**Статистические характеристики ошибки опыта**

№	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$\bar{Y}_u$	$\bar{Y}_u$	$S_y^2$	$S_{LF}^2$	$(Y_u - \bar{Y}_u)^2$
1	23,9	24,2	24,2	24,2	23,43	0,7	0,381	1,413
2	23,1	22,7	22,9	22,9	23,73	1,06	0,581	2,131
3	23,8	23,9	23,7	23,8	26,75	1,08	0,589	2,162
4	22,3	22,5	22,1	22,3	26,93	0,04	0,021	0,081
5	24,2	24,2	23,9	24,1	25,34	0,03	0,016	0,063
6	25,3	24,8	25,2	25,1	25,11	0,06	0,033	0,124
7	25,3	25,4	25,2	25,3	26,84	1,48	0,807	2,961
8	22,8	22,6	22,7	22,7	23,61	1,24	0,675	2,475
9	25,4	25,6	25,2	25,4	25,23	0,08	0,045	0,166
10	25,3	25,0	25,3	25,2	25,23	0,03	0,017	0,062
11	25,4	25,2	25,3	25,3	25,23	0,01	0,009	0,034
12	25,1	25,1	25,4	25,2	25,23	0,03	0,017	0,062
13	25,2	25,2	25,5	25,3	25,23	0,03	0,021	0,074
$\Sigma$	-	-	-	316,8	-	5,871	3,212	11,81



Подставляя различные значения функции отклика в уравнение (3) получали уравнения контурных кривых – эллипсов. Результаты расчета представлены на рис. 4.

**Заключение.** Из анализа рис. 4 видно, что минимально возможное поступление почвенных примесей при извлечении лука-севка из почвы составляет 23,5 % при нахождении оптимальных значений рассматриваемых факторов: предварительного поджатия пружины  $L_{\text{ППР}} = 0,02 \dots 0,04$  м и поступательной скорости движения подкапывающего лемеха  $v_{\text{Д}} = 1,2 \dots 1,43$  м/с.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов А.Г., Сибирёв А.В. Исследование размерно-массовых характеристик лука-севка гибрида «Геркулес F1» // Вестник Казанского ГАУ. – 2016. – № 2 (40). – С. 5–10.

2. Бузенков Г.М., Ма С.А. Машины для посева сельскохозяйственных культур – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.

3. Ларюшин А.М. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А.М. Ларюшин. – Пенза, 2010. – 426 с.

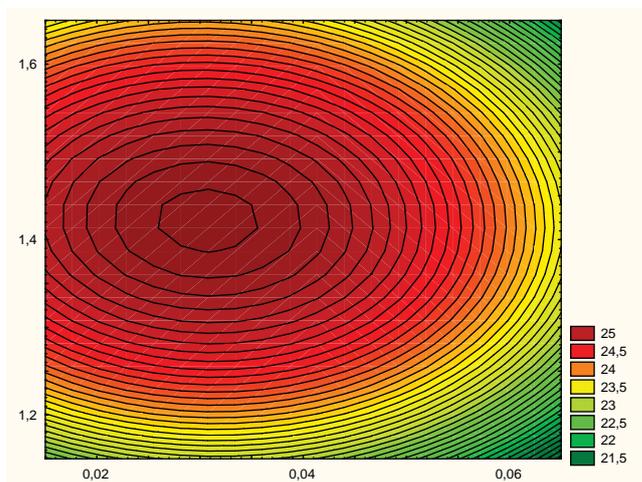
4. Машинная технология производства лука / Я.П. Лобачевский [и др.]. – М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. – 168 с.

5. Полевые исследования катка-ложеобразователя машины для уборки лука / А.В. Сибирёв [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 8. – С. 15–21.

6. Протасов А.А. Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А.А. Протасов. – Саратов, 2005. – 355 с.

7. Рейнгарт Э.С. Обоснование параметров и разработка машин для уборки корнеплодов и лука: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Э.С. Рейнгарт. – М., 1995. – 38 с.

8. Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. Практические рекомендации к повышению качества работы технических средств для уборки лука-севка // Стратегические ориентиры инновационного развития АПК в современных экономических условиях: Междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград: ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», 2016. – С. 23–25.



**Рис. 4.** Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость содержания почвенных примесей в сходовом ворохе, % от предварительного поджатия пружины и поступательной скорости движения подкапывающего лемеха, м/с

9. Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Емельянов П.А. Катко-ложеобразователь машины для уборки лука // Инновационные идеи молодых исследователей для АПК России: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2017. – Т. II. – С. 156–160.

10. Сорокин А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин. – М.: ВИМ, 2006. – 159 с.

**Дорохов Алексей Семенович**, д-р техн. наук, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». Россия.

**Сибирёв Алексей Викторович**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». Россия.

**Аксенов Александр Геннадьевич**, канд. техн. наук, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». Россия.

109428, г. Москва, 1-институтский пр-д, 5.  
Тел.: (499) 174-89-11.

**Ключевые слова:** валок; лук-севок; объем лукович; величина смятия; плотность почвы.

#### INFLUENCE OF THE FOREST BELT AND RELIEF ON THE FORMATION OF SOIL CONSISTENCY DENSITY

**Dorokhov Alexei Semenovich**, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Agroengineering Center VIM. Russia.

**Sibiriev Aleksey Viktorovich**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Federal State Scientific Agroengineering Center VIM. Russia.

**Aksenov Alexander Gennadievich**, Candidate of Technical Sciences, Federal State Scientific Agroengineering Center VIM. Russia.

**Keywords:** roll; onion-sowing; bulb volume; amount of crushing; soil density.

*The technological process of the formation of the onion-sowing roller during its mechanized harvesting is theoretically determined. Possible variants of the onion-seed placement in the roll are determined, the volumes occupied by the bulbs in the roll, as well as the amount of crushing of the soil volume by the roller-looser of the harvesting machine, the density of the soil after its deformation by the roller-leader of the harvesting machine.*

