

### Список использованной литературы

1. Рязанов, М.В. Повышение эффективности использования жидких органических удобрений путем разработки и обоснования параметров агрегата для подпочвенного внесения : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / М.В.Рязанов; ФГОУ Белгородская государственная сельскохозяйственная академия. – Мичуринск - Научоград, 2009. – 19с.

2. Патент на изобретение Республики Казахстан №804, МПК А01С 23/02, 1994, Бюл. №23. Авт. св. SU №1306508, МПК А01D 33/08, 30.04.87, Бюл. №16.

3. Устройство для внесения в почву жидких удобрений : патент на изобретение 35599 В Респ. Казахстан, МПК А01С 23/02, А01В 49/06 / С.О.Нукешев (KZ); Н.Н.Романюк (BY); В.А.Агейчик (BY); Е.С.Ахметов (KZ); К.В.Гильдюк (BY); Х.К.Танбаев (KZ); К.М.Тлеумбетов (KZ); Ораз Шәкарім Қайратұлы (KZ); заявитель Нукешев Саяхат Оразович. – № 2021/0203.1; заявл. 26.03.2021; зарегистрир. 08.04.2022 // Государственный реестр изобретений Респ. Казахстан. – 2022. – Бюл. №14.

УДК 631.356.4

*И.З. Теплинский, канд. техн. наук, профессор,*

*А.Б. Калинин, д-р техн. наук, профессор,*

*В.А. Ружьев, канд. техн. наук, доцент,*

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Санкт-Петербург*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОЧВЫ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛЕМЕШНОЙ ГРУППЫ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

**Ключевые слова:** картофелеуборочная машина, подкапывающие лемехи, почвенное состояние, реологическая модель.

**Key words:** potato harvester, digging blades, soil condition, rheological model.

**Аннотация.** Для разрушения почвенного пласта в конструкции современных картофелеуборочных машин в настоящее время получили преимущественное применение плоские лемехи. По результатам проведенных в СПбГАУ исследований картофелеуборочного комбайна DR 1500 установлено, что повышение эффективности этих рабочих органов можно существенно повысить путем изменения формы их рабочей поверхности и выбора рациональных режимов работы. При этом должны учитываться условия функционирования уборочных машин при повы-

шенной влажности, характерной для Северо-Западного региона. Для повышения интенсификации механического воздействия на клубненосный пласт при совершенствовании рабочих органов применялась реологическая модель почвенного состояния.

**Abstract.** For the destruction of the soil layer in the design of modern potato harvesters, flat shares are currently predominantly used. Based on the results of studies of the DR 1500 potato harvester carried out at St. Petersburg State Agrarian University, it was found that the efficiency of these working bodies can be significantly increased by changing the shape of their working surface and choosing rational operating modes. At the same time, the conditions for the operation of harvesters at high humidity, typical for the North-West region, should be taken into account. To increase the intensification of the mechanical impact on the soil&potato layer while improving the working bodies, a rheological model of the soil condition was used.

Для повышения эффективности технологических процессов уборочных машин разработчики техники выполняют совершенствование рабочих органов с целью интенсификации механического воздействия на клубненосный почвенный пласт. Эти мероприятия приводят к существенному усложнению конструкции уборочных машин и повышению их стоимости и не учитывают условия функционирования уборочных машин при воздействии меняющихся погодных факторов [1].

Экспериментальные исследования, проведенные в производственных условиях, показали, что при работе на тяжелых по механическому составу суглинистых почвах картофелеуборочного комбайна GRIMME DR 1500, оснащенного серийным подкапывающим устройством, выполненным в виде плоского лемеха [2], состоящего из двух частей, требования регламента не выполняются. Так, при настроечных значениях глубины подкапывания 20 см и рабочей скорости 5 и 7 км/ч средние значения показателя чистоты картофеля в бункере комбайна составили 71 % и 66 %, соответственно.

Анализируя процесс работы сепарирующей системы комбайна видно, что наиболее интенсивное разрушение пласта производится на прутковом элеваторе, так как после подрезания клубненосного слоя почвы большая часть рабочей поверхности лемеха выполняет транспортирующую функцию и не создает условия для его крошения. Для повышения эффективности работы системы сепарации картофелеуборочного комбайна необходимо усовершенствовать подкапывающий рабочий орган. Целью такого изменения является обеспечение интенсивного разрушения почвенного пласта при его перемещении, начиная непосредственно с лемеха. Для этого воспользуемся реологической моделью почвы, представленной в виде сплошной деформируемой среды, которая обладает некоторой структурой и внутренними связями между составными элементами [3].

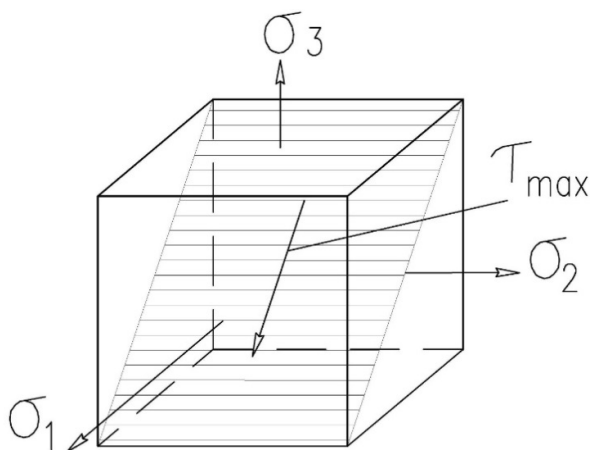
При взаимодействии с почвой рабочих органов картофелеуборочного комбайна происходит изменение взаимного расположения почвенных элементов, которое приводит к возникновению внутри почвы объемных деформаций, а также деформации сдвига, результатом чего является изменение структуры обрабатываемого слоя и нижележащего горизонта. Выделим в деформируемой среде элементарный параллелепипед (рисунок 1), на гранях которого под действием внешних возмущений возникают нормальные  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  и касательные  $\tau_{ij}$  напряжения, при этом наибольшее касательное напряжение  $\tau_{max}$ , приводящее к разрушению почвенного элемента, образуется в плоскости, которая имеет равный наклон к направлению нормальных напряжений, обладающих наибольшими абсолютными значениями. Напряженное состояние, возникающее в элементарном объеме при внешнем воздействии, можно представить в виде тензора напряжения  $T_S$ , которое описывается выражением:

$$T_S = \begin{pmatrix} \sigma_1 & \tau_{1,2} & \tau_{1,3} \\ \tau_{2,1} & \sigma_2 & \tau_{2,3} \\ \tau_{3,1} & \tau_{3,2} & \sigma_3 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Общая реологическая модель почвенного состояния состоит из модели объемных деформаций и модели деформации формоизменения, которые можно представить в виде:

$$\begin{cases} \frac{d\gamma_{ij}}{dt} = \frac{A(p)}{\sigma_p} \tau_{ij} + \frac{1}{G(p)} \times \frac{d\tau_{ij}}{dt}; \tau_{ij} < \tau_{max} \\ \frac{d\gamma_{ij}}{dt} = \frac{A(p)}{\sigma_p} \tau_{ij} + \frac{1}{G(p)} \times \frac{d\tau_{ij}}{dt} + \frac{\tau_{ij} - \tau_{max}}{\eta(p)}; \tau_{ij} \geq \tau_{max}, \quad (2) \\ \frac{d\sigma_i}{dt} = E(p) \frac{d\varepsilon_i}{dt} - \frac{E(p)}{\mu(p)} \sigma_{ij} \end{cases}$$

где  $d\gamma_{ij}$  – деформация сдвига;  $A(p)$  – эмпирический коэффициент при определении ядра ползучести;  $G$  – мгновенный модуль сдвига;  $\eta$  – коэффициент вязкости при сдвиговой деформации;  $\mu$  – коэффициент вязкости при объемной деформации;  $\sigma_p = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$  – среднее нормальное напряжение;  $E(p)$  – модуль упругости при объемной деформации;  $\varepsilon$  – угловые деформации.



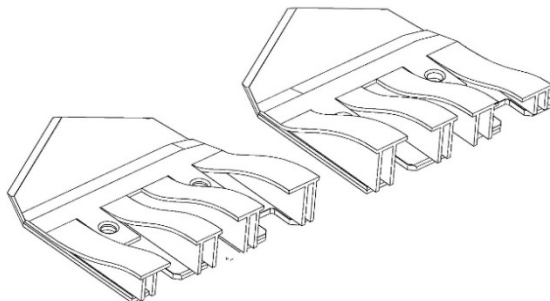
**Рисунок 1. Схема напряжений, действующих на элементарном почвенном образце**

Анализ представленной реологической модели почвенного состояния показал, что результаты воздействия на почву рабочих органов зависят от распределения в ней полей напряжений, которые возникают в обрабатываемом слое. При разрушении почвенного пласта во время уборки картофеля воспользуемся закономерностями, установленными теорией прочности Кулона-Мора, согласно которой касательные напряжения на площадке сдвига в состоянии предельного равновесия почвенного элемента пропорциональны нормальным напряжениям, действующий на элементарный объем. Согласно этой закономерности, разрушение почвенного образца наступает при превышении касательных напряжений  $\tau_{ij}$  предельного значения  $\tau_{max}$ .

На основе теоретических исследований закономерности разрушения связных почв выполнено совершенствование подкапывающего рабочего органа картофелеуборочного комбайна путем изменения формы его рабочей поверхности. Это обеспечило формирование внутри почвенного пласта напряженного состояния с преобладанием отрицательных значений нормальных напряжений, которые возникают при существенно меньших внешних усилиях, необходимых для его крошения [4].

В результате проведенных исследований было выполнено совершенствование серийного подкапывающего рабочего органа картофелеуборочного комбайна путем формирования его трехмерной рабочей поверхности. С этой целью на серийный подкапывающий лемех установлена накладка специальной формы, состоящая из пластин, имеющих индивидуальный продольный профиль (рисунок 2). Совокупность этих

пластин формирует трехмерную рабочую поверхность, продольный и поперечный профиль которой изменяется по длине лемеха, обеспечивая по мере продвижения пласта вдоль подкапывающего рабочего органа в направлении сепарирующего транспортера трехстороннее знакопеременное воздействие на пласт почвы.



**Рисунок 2. Схема усовершенствованного подкапывающего лемеха картофелеуборочного комбайна**

Ввиду того, что оперативную оценку напряжения внутри почвенного пласта в реальных полевых условиях выполнить практически невозможно, то в качестве оценочного показателя интенсивности разрушения почвы при воздействии на нее подкапывающих рабочих органов использовались оценки статистических характеристик картофельного вороха, поступающего в бункер картофелеуборочного комбайна, по относительному содержанию в нем почвенных примесей [5]. Отбор проб проводился путем взятия образцов картофельного вороха на выходе инспекционного стола с последующим взвешиванием общего объема пробы и выделенных почвенных элементов.

Проверка работы усовершенствованного лемеха проводилась в производственных условиях во время уборки картофеля на суглинистых почвах тяжелого механического состава. Урожайность картофеля составляла 32,4 т/га. Исследования процесса функционирования серийного и экспериментального лемеха проводились при их настройке комбайна на одинаковую глубину подкапывания  $h_H = 24$  см. Настраиваемые значения скорости движения картофелеуборочного комбайна  $V_H$  составляли 5 км/ч и 7 км/ч. Влажность почвы на момент уборки составляла 26 %. Результаты исследований подкапывающих рабочих органов приведены в таблице, где представлены оценки статистических характеристик процесса качества картофельного вороха  $K_1(t)$  при различных режимах работы картофелеуборочного комбайна.

**Таблица 1 - Оценки статистических характеристик качества картофельного вороха, поступающего в бункер картофелеуборочного комбайна**

Оценки статистических характеристик процесса $K_{\chi}(t)$	$V_H = 5$ км/ч		$V_H = 7$ км/ч	
	Серийный лемех	Усовершенствованный лемех	Серийный лемех	Усовершенствованный лемех
$m, \%$	71,2	84,2	66,3	90,4
$\sigma, \%$	11,2	3,9	11,1	13,9
$V, \%$	15,7	4,6	16,7	15,4

Анализ данных, представленных в этой таблице показал, что при работе картофелеуборочного комбайна, оснащенного серийными подкапывающими лемехами, в условиях повышенного увлажнения почвы качество уборанного вороха не соответствует требованиям технологического регламента на установленных скоростных режимах работы комбайна. Так при скорости движения 5 км/ч оценка математического ожидания процесса  $K_{\chi}(t)$  составляет 71,2%, а при рабочей скорости 7 км/ч – 66,3%. Эти значения качественного показателя не достигают допустимых значений, установленных технологическим регламентом, составляющего 80%. Оснащение картофелеуборочного комбайна экспериментальным лемехом обеспечивает более высокое качество сепарации вороха за счет более интенсивного разрушения почвенного пласта. При скорости движения 5 км/ч оценка математического ожидания процесса качества картофельного вороха  $K_{\chi}(t)$  составляет 84,2%, а при скорости 7 км/ч – 90,4%.

Предложенная форма рабочей поверхности подкапывающего рабочего органа, имеющего трехмерную рабочую поверхность, позволила обеспечить интенсивное разрушение почвенного пласта при его перемещении к сепарирующему транспортеру за счет формирования знакопеременных нагрузок. Экспериментальные исследования показали, что использование предлагаемого лемеха позволило увеличить рабочую скорость комбайна с 5 до 7 км/ч при обеспечении требований технологического регламента на показатель чистоты картофельного вороха. Так при скорости движения 5 км/ч оценки математического ожидания процесса полноты сепарации картофельного вороха составляют 84,2%, а при скорости 7 км/ч – 90,4%. Проведенное совершенствование подкапывающих рабочих органов позволило обеспечить требуемое качество уборки в условиях повышенной влажности почвы.

### Список использованной литературы

1. Калинин А.Б., Теплинский И.З. Методы и средства управления режимами влагообеспечения в технологии возделывания картофеля // Картофель и овощи. – 2022. - № 2. – С. 28-32.

2. Бердышев В.Е. Сельскохозяйственные машины. Практикум: учебное пособие / В.Е. Бердышев, [и др.]; под редакцией М.А. Новикова. – СПб: Проспект Науки, 2022. – 306 с.

3. Калинин А.Б., Теплинский И.З., Смелик О.В. Реологическая модель почвы как объекта формирования требуемой плотности в заданном слое // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 29. – С. 248-255.

4. Kalinin A.B., Teplinsky I.Z., Ruzhev V.A., Kalinina V.A., Gerasimova V.E. Methods and means of digital measurement of soil parameters and conditions of functioning of tillage machines for deep loosening of soil // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 659 (2021) 012015. doi:10.1088/1755-1315/659/1/012015.

5. Керимов М.А., Валге А.М. Оптимизация и принятие решений в агроинженерии: учебник. – М.: ИКЦ Колос-с, 2021. – 460 с.

**УДК 631.3.636**

**А.В. Брусенков**, канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,  
г. Тамбов

## **СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА**

**Ключевые слова:** животноводство, цифровые технологии, автоматизация, качество продукции.

**Key words:** animal husbandry, digital technologies, automation, product quality.

**Аннотация:** в статье проанализированы основные направления развития цифровых технологий и представлены конкретные решения по автоматизации управления производством. Содержание статьи направлено на освещение стоящих перед АПК задач по автоматизации и повышению на ее основе эффективности производства, на формирование у специалистов сознательной, активной позиции по оценке и применению современных цифровых технологий в молочной отрасли.

**Abstract:** the article analyzes the main directions of development of digital technologies and presents specific solutions for automation of production management. The content of the article is aimed at highlighting the tasks facing the agro-industrial complex on automation and increasing production efficiency on its basis, at forming a conscious, active position among specialists on the assessment and application of modern digital technologies in the dairy industry.