

3. Кушнарев, Л.И. Планирование затрат денежных средств на ТО, ремонт и хранение МТП машинно-технических станций / Л.И. Кушнарев // Машинно-технологическая станция – 2001. – Вып. 12. – С. 45-47.

4. Кушнарев, Л.И. К оценке затрат на ТО и ремонт машинно-тракторного парка / Л.И. Кушнарев // Машинно-технологическая станция. – 2001. – Вып. 12. – С. 50-52.

5. Налоговый кодекс Республики Беларусь (общая часть) от 19 декабря 2002 г. № 166-З: принят Палатой представителей 15 ноября 2002 г., одобрен Советом Республики 2 декабря 2002 г. // Национальный Интернет-портал Республики Беларусь Электронный ресурс / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. - Минск, 2020. - Режим доступа: <http://www.pravo.by/>. - Дата доступа: 10.10.2020.

6. Михайлова, В.В. Калькуляция себестоимости ремонта / В.В. Михайлова. – Саратов : ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» - 2005. – 16с.

7. Шепелев, С.Д. Коэффициент простоя зерноуборочных комбайнов как комплексный показатель технических отказов / С.Д. Шепелев, Ю.Б. Черкасов // Аграрный вестник Урала. – 2017. - №7(161). – С. 52-57

#### **УДК 631.316.41**

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

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

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

*В.П. Чеботарев, д-р техн. наук, профессор,*

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск*

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КУЛЬТИВАТОРА-ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ**

**Ключевые слова:** возделывание картофеля, пропашной культиватор-глубокорыхлитель, условия функционирования, разуплотнение почвы.

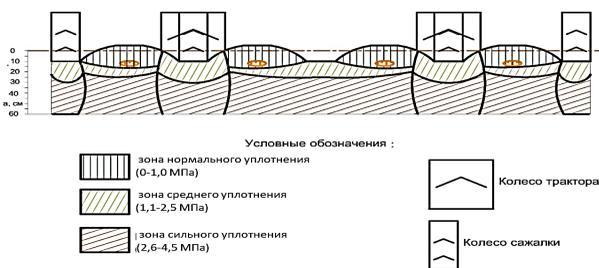
**Key words:** potato cultivation, interrow cultivator-subsoiler, operating conditions, soil uncompactation.

**Аннотация.** Одним из основных факторов получения планируемой урожайности картофеля является создание корнеобитаемого слоя с параметрами почвенного состояния, обеспечивающими беспрепятственное распространение корневой системы растений. Исследования показали, что

наибольшие уплотнения почвы формируются в междурядьях ходовыми системами при работе картофелепосадочного агрегата. Процесс расположения переуплотнений по высоте в корнеобитаемом слое является случайным в вероятностно-статистическом смысле. Устранение этих переуплотнений предлагается выполнять с помощью пропашного культиватора-глубокорыхлителя. Для оценки условий функционирования этого агрегата разработана методика, позволяющая обеспечить получение информации об этом процессе с использованием цифрового измерительного комплекса, способного определять твердость почвы на глубину до 60 см. Полученная информация в дальнейшем будет использована для создания автоматизированной системы управления глубиной хода рабочих органов пропашного культиватора-глубокорыхлителя.

**Abstract.** One of the main factors in obtaining the planned potato yield is the creation of a root layer with soil conditions that ensure the free spreading of the plant root system. Studies have shown that the greatest soil compaction is formed in the aisles by wheel systems during the operation of a potato planter. The process of arrangement of the height of overcompaction in the root-inhabited layer is random in a probabilistic-statistical sense. The elimination of these overcompactions is proposed to be carried out with the help of a interrow cultivator-subsoiler. To assess the operating conditions of this cultivator-subsoiler a technique has been developed that makes it possible to obtain information about this process using a digital measuring complex capable of determining soil cone index to a depth of 60 cm. The information obtained will later be used to create an automated system control of the tines working depth of the interrow cultivator-subsoiler.

Одним из основных факторов получения планируемой урожайности картофеля является создание корнеобитаемого слоя с параметрами почвенного состояния, обеспечивающими беспрепятственное распространение корневой системы растений [1]. Проведенные исследования различных технологий производства картофеля показали, что за счет многократных проходов машинно-тракторных агрегатов по полю в весенний период происходит существенное ухудшение условий развития корневой системы растений. При этом, во всех технологиях наиболее заметное переуплотнение почвы по горизонтам корнеобитаемого слоя отмечается в междурядьях по следу ходовых систем картофелепосадочного агрегата. На рисунке 1 представлено распределение зон уплотнения после прохода 4-х рядной картофелепосадочной машиной GL 430.



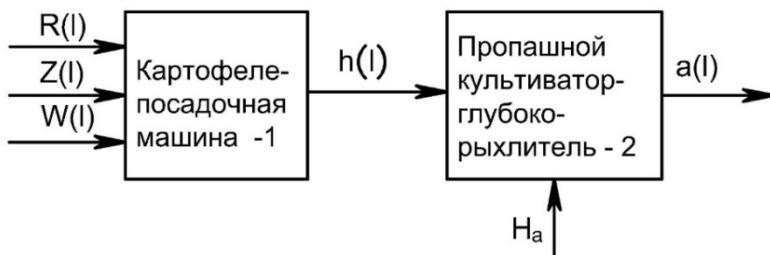
**Рисунок 1. Распределение зон уплотнения почвы после прохода 4-х рядной картофелепосадочной машины GL 430**

Из рисунка 1 видно, что на глубине более 20 см формируется переуплотненный горизонт, в котором распространение корневой системы картофеля невозможно или значительно затруднено [2, 3]. Поэтому устранение переуплотненных горизонтов почвы необходимо выполнить при междурядной обработке картофеля.

С этой целью предлагается использовать в пропашном культиваторе рыхлительные рабочие органы, расстановка которых обеспечивает оптимальное распределение влаги внутри корнеобитаемого слоя [4], а также наиболее благоприятные условия сепарации вороха в картофелеуборочных машинах [5]. Для настройки и управления глубиной хода этих рабочих органов необходимо иметь оперативную информацию об условиях функционирования агрегата, представляющих собой случайные в вероятностно-статистическом смысле процессы, основным из которых является расположение в междурядьях по глубине переуплотненных почвенных горизонтов. Для оперативного получения такой информации был использован цифровой измерительный комплекс. Полученная информация позволила разработать методику определения случайного процесса расположения переуплотненных горизонтов, которая в дальнейшем использована для создания цифровой системы настройки и управления глубиной хода глубокорыхлительных лап пропашного культиватора.

Учитывая случайный характер процессов, имеющих место при функционировании пропашного культиватора-глубококорыхлителя, для разработки модели технологического процесса его функционирования при разуплотнении почвы использовались положения статистической динамики с.-х. агрегатов [6, 7]. Блок-схема этой модели представлена на рисунке 2. Условия функционирования пропашного культиватора-глубококорыхлителя формируются картофелепосадочным агрегатом  $I$ , на вход которого воздействуют случайные процессы в виде твердости почвы  $R(I)$ , профиля поверхности поля  $Z(I)$  и влажности почвы  $W(I)$ . Посадочным агрегатом они преобразуются в случайный процесс  $h(I)$  – глубину расположения переуплотненного горизонта, являющегося входным воздействи-

ем на пропашной культиватор-глубокорыхлитель 2. Основной задачей технологического процесса функционирования глубокорыхлительных лап этого культиватора является устранение переуплотненных горизонтов, препятствующих развитию корневой системы картофеля. Кроме этого, глубокое рыхление позволяет улучшить водный режим растений за счет создания внутри корнеобитаемого слоя разветвленной сети пор и капилляров [8]. Выходным процессом данной модели является глубина хода глубокорыхлительных лап  $a(l)$ , обеспечивающей гарантированное разрушение переуплотненных горизонтов. Однако следует отметить, что работа орудий для глубокой обработки почвы сопровождается большими затратами энергии, поэтому для снижения энергозатрат на обработку при настройке глубины хода рабочих органов  $a_n$  необходимо определить точное местоположение переуплотненных горизонтов, так как каждый лишний сантиметр существенно увеличивает сопротивление орудия [9].



**Рисунок 2. Блок-схема модели технологического процесса функционирования пропашного культиватора-глубокорыхлителя при разуплотнении почвы**

Для определения точного значения настроечных параметров использовалась методика поиска переуплотненных горизонтов на основе информации, полученной в результате проведения полевых экспериментальных исследований [10].

Однако данная методика использовалась для получения единичного значения глубины положения переуплотненного горизонта и не учитывает случайный характер условий функционирования исследуемого орудия, требующего получение большого объема экспериментальной информации. Для получения такой информации была использована информационно-измерительная система, позволяющая оперативно с высокой точностью оценивать послойно твердость почвы с привязкой к месту измерения.

В качестве объекта исследования был принят макетный образец пропашного культиватора-глубокорыхлителя (рисунок 3). Методика сбора и обработки экспериментальной информации изложена в работах [11, 12].

В результате проведения натурных экспериментальных исследований был получен ансамбль реализаций процесса изменения твердости почвы в

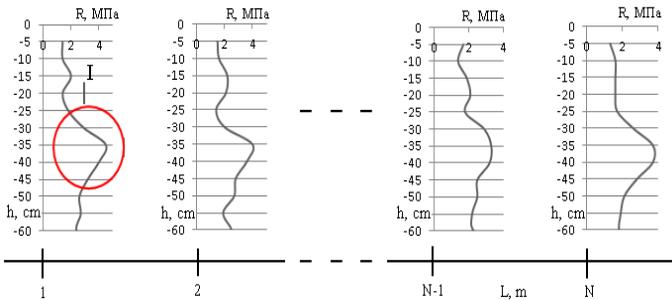
исследуемых горизонтах корнеобитаемого слоя по следу колес картофелепосадочного агрегата на длине гона  $L = 100$  м с шагом  $\Delta l = 1$  м.

На рисунке 4 показан фрагмент этих реализаций. Из характера этих кривых видно, что на глубине 25-35 см наблюдается перегиб, соответствующий максимальному значению процесса изменения твердости почвы по глубине. Производная в точке перегиба равна нулю, что определяет глубину расположения переуплотнённого горизонта в данном месте. Вычисляя производную для полученных реализаций на каждом шаге измерения  $\Delta l = 1$  м был построен случайный процесс глубины расположения переуплотненного горизонта  $h(l)$  по длине гона  $L = 100$  м.

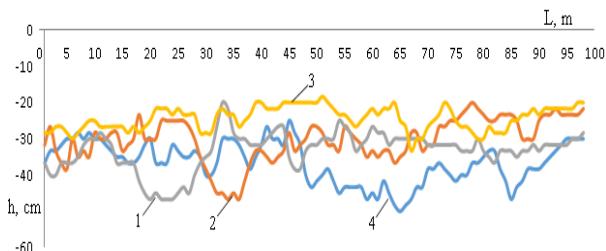
Реализации случайного процесса  $h(l)$  для исследуемого поля приведены на рисунке 5.



**Рисунок 3. Макетный образец пропашного культиватора-глубококорыллителя**



**Рисунок 4. Фрагменты ансамбля реализаций процесса твердости почвы по горизонтам корнеобитаемого слоя  $R(h)$  по длине гона  $L$  исследуемого участка поля**



**Рисунок 5.** Ансамбль реализаций случайного процесса  $h(l)$ , характеризующих условия функционирования пропашного культиватора-глубококорыхлителя на исследуемом участке поля: 1, 2, 3, 4 – проходы картофелепосадочной машины

Полученные массивы данных, характеризующие условия функционирования пропашного культиватора-глубококорыхлителя, использованы для разработки цифровой системы настройки и управления глубиной хода его рабочих органов на основе методов имитационного моделирования.

Применяемое в настоящих исследованиях устройство измерения почвенного состояния позволяет составить *offline* электронную карту поля с указанием на ней глубины расположения переуплотненных почвенных горизонтов после прохода картофелепосадочной машины. Эта карта может использоваться для управления работой автоматизированного пропашного культиватора-глубококорыхлителя.

В результате выполнения настоящих исследований была получена информация о процессе расположения переуплотненного почвенного горизонта по глубине на длине гона с учетом вероятностно-статистической природы изменения почвенных условий. Полученная информация характеризует условия функционирования пропашного культиватора-глубококорыхлителя и может быть использована для разработки цифрового устройства настройки и управления глубиной хода его рабочих органов.

### Список использованной литературы

1. Калинин А.Б., Теплинский И.З., Ружьев В.А. Минимизация факторов риска техногенного характера при производстве картофеля по интенсивной технологии // Научное обоснование стратегии развития АПК и сельских территорий в XXI веке: материалы Национальной научно-практической конференции (Волгоград, 10 ноября 2020 г.). – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2021. – Том 1. – С. 29–33.

2. Калинин А.Б., Теплинский И.З., Кудрявцев П.П. Выбор и обоснование рабочих органов и схемы их размещения на секции пропашного культиватора для минимизации экологических рисков при возделывании картофеля // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 43. – С. 327–330.

3. Калинин А.Б., Теплинский И.З., Теймуров Т.Ш. Совершенствование методов и средств снижения технологических рисков при функционировании машин для возделывания картофеля // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (62). – С. 178–190.

4. Kalinin A., Teplinsky I., Ustroeв A. Substantiation of tillage methods aimed at rational usage of water resources // Proceeding Engineering for Rural Development. 17-th International Scientific Conference. – 2018. – pp. 392-399.

5. Kalinin A.B., Teplinsky I.Z., Ustroeв A.A., Kudryavtsev P.P. Selection and substantiation of cultivator adjustment parameters for differential soil treatment on potato based on the rheology state of soil horizons // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – pp. 012–025.

6. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – М.: Колос, 1981. – 382 с.

7. Керимов М.А. Функционирование технических систем в агробизнесе: учебное пособие. – СПб: СПбГАУ, 2021 – 160 с.

8. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв. К.: Феникс, 2008. – 266 с.

9. Garner T.H., Reynolds W.R., Muzen H.L. and etc. Energy requirement for subsoiling coastal plain soil ASAE paper. ASAE, St. Joseph, MI 49085, 1984. No. 84-1025.

10. Stafford J.V., Hendrick J.G. Dynamic Sensing of Soil Pans. Transaction of the ASAE 1988, Vol 31 (1). – pp. 9-13. DOI: 10.13031/2013.30656.

11. Валге А.М., Джабборов Н.И., Эвиев В.А. Основы статистической обработки экспериментальных данных при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства с примерами на STATGRAPHICS и EXCEL. Санкт-Петербург – Элиста. 2015. – 140 с.

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

**УДК 631.171**

*В.А. Смелик, д-р техн. наук, профессор,*

*О.Н. Теплинская, соискатель, И.С. Немцев, аспирант,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный  
университет», Санкт-Петербург*

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДОЗИРУЮЩИХ СИСТЕМ МАШИН ХИМИЗАЦИИ**

**Ключевые слова:** дозирующая система, машина химизации, контроль качества, технологическая надежность.