

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДКАПЫВАНИЯ КЛУБНЕННОГО ПЛАСТА И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДКАПЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Камалетдинов Рим Рашитович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительно-дорожные, коммунальные и сельскохозяйственные машины»

Фархутдинов Ильдар Мавляирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительно-дорожные, коммунальные и сельскохозяйственные машины»

ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. тел. 89279579237, e-mail: krr53@mail.ru

Ключевые слова: лемех, подкапывание картофеля, рельеф гребня, копирование, дневная поверхность, объектно-ориентированная модель.

Целью исследований является обоснование конструктивно-технологических параметров копирующего лемеха на основе разработки и анализа объектно-ориентированной модели процесса подкапывания клубненного пласта. Представлены результаты анализа плотности нижних переуплотнённых почвенных слоев почвы. Представлены данные изолиний твёрдости и профилей гребней. Выведены зависимости влияния глубины хода подкапывающих лемехов на содержание в исходном ворохе непроходových почвенных комков и, соответственно, на эффективность работы сепарирующих органов картофелеуборочных машин «Гримме» и КПК-2. Результаты построения и анализа этой модели получены с использованием систем инженерного анализа и автоматизированного проектирования Mathcad, Компас-3D и MSC Adams (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems). На основе систем инженерного анализа и автоматизированного проектирования разработана виртуальная модель в графическом редакторе ADAMS/View для имитации работы двухконтурного копирующего лемеха картофелеуборочного комбайна. Разработана конструкция и обоснованы параметры лемеха, копирующего плотное ложе. Определены оптимальные показатели жёсткости для горизонтальной пружины c_2 25 кН/м, наклонной - c_n = 45 кН/м. Путём анализа разработанной конструкции копирующих лемехов на ЭВМ и проведения экспериментальных исследований установлено, что применение разработанных конструкций лемехов повышает чистоту сходового вороха в среднем на 28 % при одноконтурном исполнении и на 46 % - при двухконтурном. Установлено, что контактная нагрузка на лемеха при одноконтурном креплении по сравнению с жестким ниже на 20%, двухконтурного крепления - на 40%. Оптимальные результаты были достигнуты при скорости движения агрегата 1,2...1,4 м/с.

Введение

Исследования, посвящённые изучению процесса подкапывания корнеклубнеплодов [1, 2, 3, 4], и полученные нами данные о содержании крупных почвенных частиц (а) и травмированных клубней (б) в сходовом ворохе в зависимости от глубины хода подкапывающих лемехов комбайнов «Гримме» и КПК-2, представленные на рис. 1, свидетельствуют о существенном влиянии глубины хода подкапывающих лемехов на содержание в исходном ворохе непроходových почвенных комков и соответственно, на эффективность работы сепарирующих органов картофелеуборочных машин.

Это подтверждает необходимость работ по оптимизации процесса подкапывания клубненного пласта и усовершенствованию подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин [5, 6, 7].

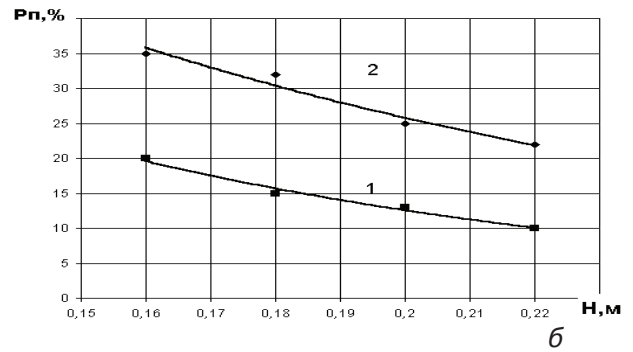
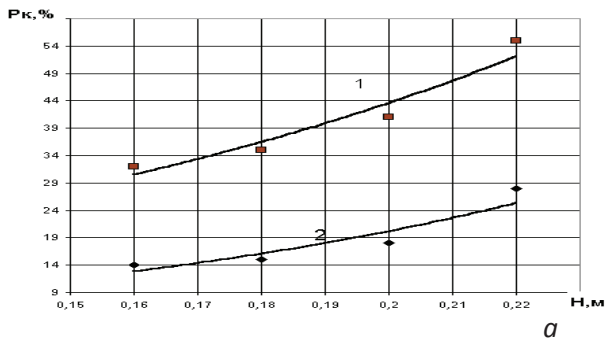
Объекты и методы исследований

Основная доля почвенных комков поступает на сепарирующие органы вследствие излишнего заглубления выкапывающих органов картофелеуборочных машин и подрезания ими

нижних переуплотнённых почвенных слоев. Причем изолиния плотного ложа (для тяжелых почв это зона, в которой твердость почвы превышает 0,8 МПа), при которой практически не происходит развития клубней, существенно варьирует по глубине, о чем свидетельствуют графики, приведенные на рис. 2 и 3.

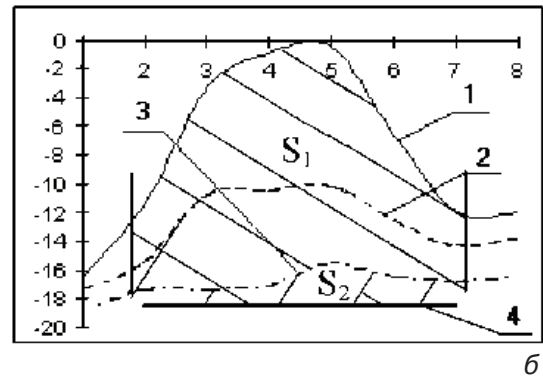
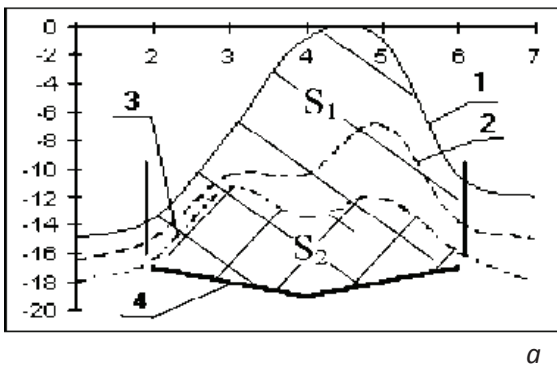
Для оценки влияния рельефа плотного ложа и различных вариантов его копирования на рабочий процесс подкапывающего лемеха использовалась расчетная схема, приведенная на рис. 4.

Из-за жёсткого крепления лемеха на раме, наличия неровностей дневной поверхности поля 1, а также случайных воздействий траектория среза почвы лезвием 2 отличается от рельефа плотного ложа 3. Вследствие подрезания переуплотнённой почвы $H_{\text{переуп}}$ на сепарирующие органы с исходным ворохом подаются непроходových почвенные комки, что представлено в модели как помеха p_1 при $H_{\text{подк}} > H_{\text{рыкл}}$:



1 - картофелеуборочный комбайн «Гримме»; 2 - картофелеуборочный комбайн КПК-2

Рис. 1 - Зависимость содержания крупных почвенных частиц (а) и травмированных клубней (б) в сходовом ворохе от глубины хода подкапывающих лемехов Н



1 - профили гребней; 2 - изолиния твёрдости- 0,4 МПа; 3 - изолинии твёрдости - 0,8 МПа; 4 - лемеха

Рис. 2 – Изолинии поперечной твёрдости почвы при возделывании картофеля по заворовской (а) и западноевропейской (б) технологиям

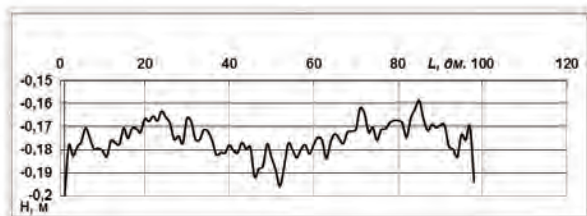
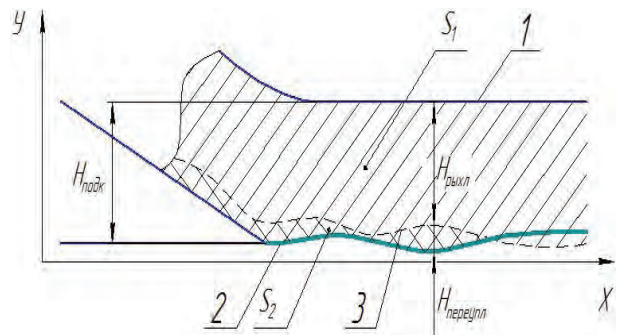


Рис. 3 – Изолиния продольной твердости 0,8 МПа по центру гребня при возделывании картофеля с использованием орудий с пассивными рабочими органами



1 - дневная поверхность поля; 2 – траектория лезвия подкапывающего лемеха; 3 – рельеф плотного ложа

Рис. 4 - Расчётная схема подкапывания клубненосного пласта лемехом

$$p_1 = \frac{H_{\text{подк}} - H_{\text{рыхл}}}{S_1}, \quad (1)$$

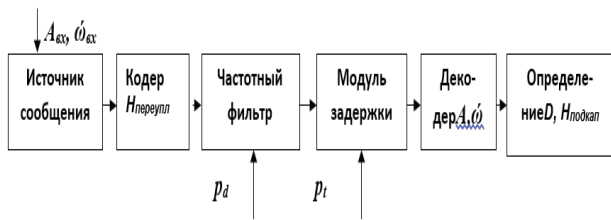
где $H_{\text{подк}}$ - глубина подкапывания, м; $H_{\text{рыхл}}$ - глубина залегания критической изолинии, м.
Усредненное значение помехи

$$p_{\text{пер}} = \frac{S_2}{S_1 + S_2}, \quad (2)$$

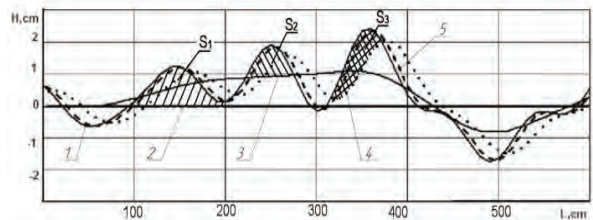
где S_1 – площадь, заключенная между рельефом плотного ложа и дневной поверхностью гребня; S_2 – площадь, ограниченная рельефом плотного ложа и траекторией движения режу-

щей кромки лемеха, при $H_{\text{подк}} < H_{\text{рыхл}}$, $S_2 = 0$.

На основе расчетной схемы была составлена объектно-ориентированная модель в среде теории информации в виде передачи сообщения по каналам связи, реализованная с помощью программы Mathcad [8]. Структурная схема модели представлена на рисунке 5.



а)



б)

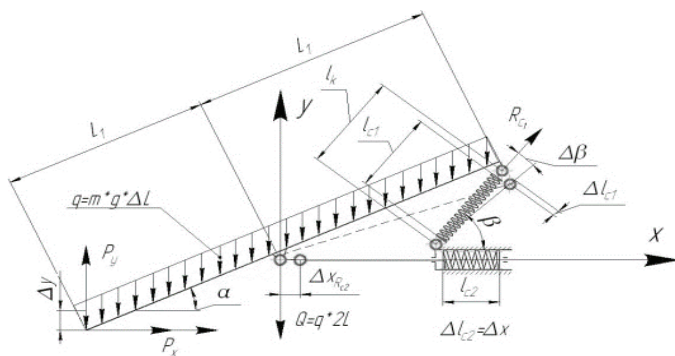
1 – рельеф плотного ложа; траектории режущей кромки лемеха: 2 – жестко закреплённого; 3 – с фильтрацией; 4 – с запаздыванием 0,2 с; 5 – с запаздыванием 0,05 с

Рис. 5 - Графическое представление объектно-ориентированной модели процесса подкапывания (а) и результатов машинных экспериментов (б)

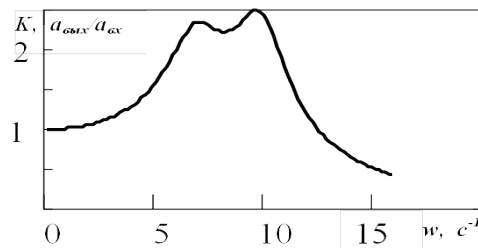
Таблица 1

Показатели эффективности различных вариантов копирования

| Варианты траекторий режущей кромки лемеха | Дисперсия D, cm^2 | Энтропия $H(x)$ | Извлечённая информация, $E(x, y)$ | Содержание комков, % |
|---|---------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1 – без копирования | 1,56 | 2,64 | – | 100 |
| 2 – с фильтрацией | 1,03 | 2,09 | 0,21 | 48 |
| 3 – с запаздыванием 0,2 с | 1,01 | 2,07 | 0,21 | 44 |
| 4 – с запаздыванием 0,05 с | 0,35 | 0,33 | 0,87 | 13 |



а)



б)

Рис. 6 - Расчётная схема (а) и амплитудно-частотная характеристика (б) копирующего лемеха с двумя колебательными контурами

При проведении машинных экспериментов рассматривались различные алгоритмы сглаживания и копирования, а полученные результаты легли в основу поиска новых технических решений, направленных на усовершенствование подкапывающего лемеха.

Результаты исследований

Анализ итогов модельных построений, часть которых приведена в таблице 1, подтверждает возможность существенного снижения подачи на сепарирующие органы картофелеуборочных машин непроходных почвенных комков при копировании рельефа плотного ложа.

Безусловно, наиболее эффективно идеальное копирование, но оно технически сложно осуществимо вследствие значительных демпфирующих свойств почвы. С учетом этого пред-

лагается колебания лезвия подкапывающего лемеха сместить в область низких частот, срезая пики более высокочастотных колебаний плотного ложа. Это обеспечит снижение содержания в исходном ворохе прочных почвенных частиц до 50 % по сравнению с традиционным жёстким креплением. Дальнейшее снижение подачи переуплотнённых почвенных частиц возможно лишь при повышении точности копирования рельефа. Однако в этом случае повысится частота колебаний, что приведет к запаздыванию перемещения режущей кромки лемеха.

На основании полученных результатов нами предложены конструкции копирующих лемехов с замедлением одной и двумя пружинами (рис. 6 а), работающие в области резонансных частот. При встрече с зоной повышенной

твердости горизонтальная пружина сжимается, замедляя поступательную скорость, что позволяет компенсировать недостаток времени для вертикального перемещения и снизить инерционный срез переуплотненной почвы.

Проведенный частотный анализ показал, что лемех с одной пружиной можно рассматривать как колебательный контур, описываемый передаточной функцией вида:

$$W(p) = \frac{P_{\text{вх}}(p)}{P_{\text{вых}}(p)} = \frac{K}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}, \quad (3)$$

где $P_{\text{вх}}(p)$ - изображение функции на входе; $P_{\text{вых}}(p)$ - изображение функции на выходе; K - коэффициент усиления; T_1, T_2 - временные коэффициенты; p - передаточная функция.

Амплитудно-частотную характеристику можно определить из выражения:

$$A(w) = \frac{K}{\sqrt{(1 - T_2^2 w^2)^2 + T_1^2 w^2}}, \quad (4)$$

где w - частота колебаний лемеха, с^{-1} .

Для расширения «полосы пропускания» нами предложено установить дополнительную пружину на коромысло [9]. При данной конструкции лемеха полосы пропускания суммируются (рис. 6 б), что обеспечивает повышение быстросдействия в диапазоне колебаний $w =$

$6 \dots 10 \text{ с}^{-1}$ рельефа плотного ложа при движении агрегата со скоростью $v = 1,2 \text{ м/с}$.

Из условия необходимости подъема вороха был выбран наименьший допустимый угол наклона лемеха $\alpha = 10^\circ$. При массе подвижных элементов лемеха и подкапываемого слоя почвы $m = 40 \text{ кг}$, кинематической вязкости почвы $\sigma = 0,08$ [10] определены оптимальные жесткости: для горизонтальной пружины - $c_r = 25 \text{ кН/м}$, для наклонной - $c_n = 45 \text{ кН/м}$.

Предварительная оценка достоверности полученных выводов осуществлена на виртуальных моделях, составленных в среде MSC ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) [11]. Фрагменты одного из вариантов предложенных конструкций и анализа процесса копирования плотного ложа проведены соответственно на рисунках 7а и 7б.

Анализ данных, полученных на приведенном на рисунке 7 рельефе, показал, что на глубине подкапывания 200 мм при жестком креплении лемеха среднее контактное усилие составляет 2400 Н/м, в одноконтурном - 2000 Н/м, а в двухконтурном лемехе - 1600 Н/м. Нагрузки, превышающие 5000 Н/м, приводящие к срезу переуплотненной почвы, встречаются в двухконтурном лемехе в три раза реже, чем в одноконтурном. Это подтверждает уменьшение

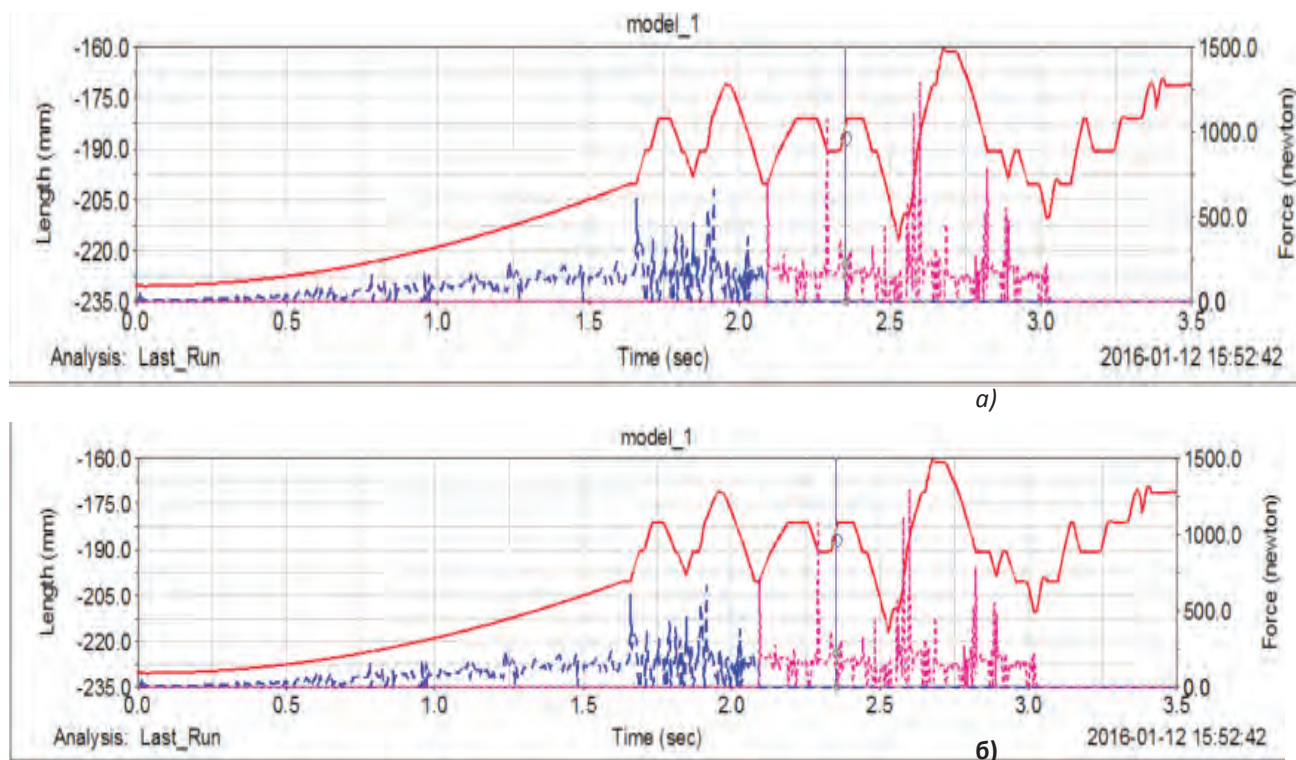


Рис. 7 - Виртуальная модель в графическом редакторе ADAMS/View двухконтурного копирующего лемеха а) и результаты машинных экспериментов на почвенном канале в модуле ADAMS/PostProcessor(б)

вероятности подачи переуплотнённых почвенных частиц на сепарирующие органы картофелеуборочных машин не менее, чем в два раза и, соответственно, снижение тягового сопротивления предложенных конструкций.

Проведенные нами лабораторно-полевые эксперименты подтвердили высокую степень соответствия данных, полученных на виртуальных моделях и в полевых условиях.

Выводы

Машинное моделирование различных вариантов процесса подкапывания показали, что запаздывание копирования «плотного ложа» является существенным фактором, определяющим содержание в исходном ворохе «непроходových» почвенных комков. С учетом этого разработана конструкция копирующего лемеха с «замедлением», имеющего следующие конструктивные параметры: длина носка лемеха - $L_1 = 0,2$ м, длина средней части лемеха - $L_2 = 0,2$ м, угол наклона лемеха ко дну борозды - $b = 45^\circ$, длина коромысла - $L_c = 0,08$ м, жёсткость горизонтальной пружины - 22 кН/м, жёсткость пружины коромысла – 40 кН/м. Достигнуто устойчивое копирование рельефа плотного ложа и снижение в сходовом ворохе содержания «непроходových» почвенных частиц при скорости движения агрегата 1,2...1,4 м/с для одноконтурной конструкции подкапывающего лемеха - на 28 % и на 46 % при его двухконтурном исполнении соответственно по сравнению с жестким креплением лемеха.

Библиографический список

1. Размыслович, И.Р. Статистические характеристики системы автоматического поддержания заданной глубины хода лемехов картофелеуборочного комбайна / И.Р. Размыслович, Л.А. Вергейчик // Тракторы и сельхозмашины. -1973. -№ 7. - С. 6 - 28.
2. Haverkort, A.J. Potato in progress (science meets practice) / A.J. Haverkort, P.C. Struik. -The Netherlands. Wageningen Academic

Publishers, 2005. - 366 p.

3. Клемм, Н.В. Изучение влияния приемов возделывания картофеля на комкообразование / Н.В. Клемм //Труды ВИСХОМ. –1962. - Вып. 32. - С. 99-110.

4. Иофинов, А.П. Работа сепарирующих органов картофелеуборочных машин в зависимости от степени уплотнения почвы / А.П. Иофинов, Р.Р. Камалетдинов, С.В. Лоренц // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1989. - № 9. - С. 58-59.

5. Камалетдинов, Р.Р. Усовершенствованный подкапывающий рабочий орган картофелеуборочного комбайна / Р.Р. Камалетдинов, Ф.Н. Галлямов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 10. – С. 4-5.

6. Камалетдинов, Р.Р. Рекомендации по совершенствованию рабочих органов картофелеуборочных машин / Р.Р. Камалетдинов. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. – 44 с.

7. Камалетдинов, Р.Р. Для комбайновой уборки картофеля требуется специализированная технология возделывания / Р.Р. Камалетдинов, Ф.Н. Галлямов // Картофель и овощи. - 2006. - № 6.- С. 5-6.

8. Камалетдинов, Р.Р. Использование теории информации при имитационном моделировании процесса сепарации картофельного вороха / Р.Р. Камалетдинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 11. – С. 8-10.

9. Лурье, А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б.Лурье. - М.: Колос, 1980. - 382 с.

10. Мударисов, С.Г. Моделирование процесса износа корпуса плуга / С.Г. Мударисов, И.Р. Рахимов, Н.И. Разбежкин // Достижения науки и техники АПК. -2006. -№ 5. -С. 42-43.

11. Иванов, А.А. MSC.ADAMS: теория и элементы виртуального конструирования и моделирования / А.А. Иванов — М.: Московское представительство MSC.Software GmbH, 2003. - 97 с.

IMPROVEMENT OF DIGGING DOWN PROCESS OF THE TUBER LAYER AND CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF DIGGING DOWN WORKING BODIES

Kamaletdinov R.R., Farkhutdinov I.M.
FSBEI HE Bashkir SAU

Ufa, 50th anniversary of October st., 34. tel. 89279579237, E-mail: krr53@mail.ru

Key words: plowshare, undercutting of potatoes, ridge pattern, copying, day surface, object-oriented model.

The aim of the research is to substantiate the constructive-technological parameters of the master-slave plowshare based on elaboration and analysis of an object-oriented model of undercutting process of the tuber layer. The analysis results of the density of the lower compacted soil layers are presented. The data of hardness isolines and ridge profiles are presented. The influence correlation between the influence of the depth of movement of the digging plowshares and the content of non-tillaged soil lumps in the initial pile is derived; which also has impact on the efficiency of the separating organs of the potato machines Grimme and KPK-2. The results of the construction and analysis of this model were obtained using the systems of engineering analysis and computer-aided design of Mathcad, Compass-3D and MSC Adams (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems). Based on the systems of engineering analysis and computer-aided design, a virtual model has been developed in the graphic editor ADAMS / View to simulate the operation of a double-circuit copying share of a potato harvester. The copying plowshare construction is developed and its parameters are substantiated. The suitable stiffness parameters for a horizontal spring are determined: $c_n = 25 \text{ kN / m}$, sloping - $c_s = 45 \text{ kN / m}$. By analyzing the developed design of copying plowshares on a computer and conducting experimental studies, it has been established that the use of the developed plowshare design increases the purity of the gathering heap by an average of 28% with a single-circuit design and by 46% with a double-circuit one. It is established that the contact load on the plowshare with single-circuit mounting compared with hard one is lower by 20 %, double-circuit mounting - by 40 %. Appropriate results were achieved when the speed of the unit was 1.2 ... 1.4 m / s.

Bibliography

1. Razmyslovich, I.R. Statistical characteristics of the system of automatic maintenance of a given depth of the plowshares of a potato harvester / I.R. Razmyslovich, L.A. Vergeichik // Tractors and agricultural machines. -1973. -№ 7. - P. 6 - 28.
2. Haverkort, A.J. Potato in progress (science meets practice) / A.J. Haverkort, P.C. Struik. -The Netherlands. Wageningen Academic Publishers, 2005. - 366 p.
3. Klemm, N.V. Study of the potato cultivation effect on lumping / N.V. Klemm // Scientific works of All-Union Institute of Agricultural Engineering. Moscow. - 1962. - Vol. 32. - P. 99-110.
4. Iofinov, A.P. The work of separating organs of potato harvesting machines, depending on the degree of soil compaction / A.P. Iofinov, R.R. Kamaletdinov, S.V. Lorents // Mechanization and electrification of agriculture. - 1989. - № 9. - P. 58-59.
5. Kamaletdinov, R.R. Improved digging working body of a potato harvester / R.R. Kamaletdinov, F.N. Gallyamov // Mechanization and electrification of agriculture. - 2007. - № 10. -P. 4-5.
6. Kamaletdinov, R.R. Recommendations for improvement of the working bodies of potato harvesting machines / R.R. Kamaletdinov. - Ufa: Bashkir State Agrarian University, 2014. - 44 p.
7. Kamaletdinov, R.R. Combine harvesting potatoes require specialized cultivation technology / R.R. Kamaletdinov, F.N. Gallyamov // Potatoes and vegetables. - 2006. - № 6.- P. 5-6.
8. Kamaletdinov, R.R. The use of information theory in simulation of the process of potato heap separation / R.R. Kamaletdinov // Mechanization and electrification of agriculture. - 2006. - № 11. - P. 8-10.
9. Lurye, A.B. Statistical dynamics of agricultural aggregates / A. B. Lurye. - M.: Kolos, 1980. - 382 p.
10. Mudarisov, S.G. Modeling the process of plow body wear / S.G. Mudarisov, I.R. Rakhimov, N.I. Razbezhkin // Achievements of science and technology of agrarian and industrial complex. -2006. -№ 5. -P. 42-43.
11. Ivanov, A.A. MSC.ADAMS: Theory and elements of virtual design and modeling / A.A. Ivanov - Moscow: Moscow Office MSC.Software GmbH, 2003. - 97 p.