

3. Ветохін, В. Стосовно механізму виникнення саморегулювання системи «джерело енергії-розпушувач-грунт» / В. Ветохін, Н. Білицька, О. Гетьман // Збірн. наук, праць, вин. 16(30), Кн. 1. Дослідницьке. – Укр НДПІВТ.2012. – С. 230-238.

4. Жук, А.Ф. Изыскание типов рабочих органов роторного плуга / А.Ф. Жук. – М.: НТБ ВИМ, 1991. – Вып. 79. – С. 3–6.

УДК 631.312

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ПОЧВЕ ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОЙ РАССТАНОВКИ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ В ПРОПАШНОМ КУЛЬТИВАТОРЕ-
ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГРЕБНЕВЫХ
ПОСАДОК КАРТОФЕЛЯ**

В.А. Ружьев¹, канд. техн. наук, доцент,

В.Е. Герасимова¹, соискатель,

В.П. Чеботарев², д-р техн. наук, профессор,

В.Б. Ловкис², канд. техн. наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь
ruzhev_va@yandex.ru; dekanat_amf@bsatu.by

Аннотация: В условиях возрастающей интенсификации производства картофеля усугубляются проблема, связанная с переуплотнением почвы, вызванным многочисленными проходами сельскохозяйственных агрегатов по полю. Это препятствует свободному распространению корневой системы растений и нарушает нормальный режим влагообеспечения, при котором почвенная влага беспрепятственно перемещается в корнеобитаемом слое. Существенно снизить эти отрицательные явления можно за счет применения пропашных культиваторов-глубокорыхлителей. В данной работе приводится обоснование рационального размещения рабочих органов культиватора с учетом изменения реологических свойств в почвенных горизонтах.

Abstract. Under the conditions of increasing intensification of potato production, the problem associated with soil compaction caused by numerous passes of agricultural units across the field is exacerbated. This prevents the free spread of the root system of plants and disrupts the normal regime of moisture supply, in which soil moisture moves freely in the root spreading zone. It is possible to significantly reduce these negative phenomena through the use of inter-row cultivators-subsoilers. This paper provides a rationale for the rational placement of the working bodies of the cultivator, taking into account changes in rheological properties in soil horizons.

Ключевые слова: междурядная обработка, культиватор-глубокорыхлитель, реологические процессы в почве, расстановка рабочих органов.

Key words: inter-row cultivation, cultivator-subsoiler, rheological processes in the soil, arrangement of tillage tines.

Введение. Интенсивные технологии возделывания картофеля предусматривают минимизацию механического воздействия на почву. Из этого следует, что пропашной культиватор-глубокорыхлитель предполагается использовать для однократной обработки посадок картофеля с одновременным формированием полнообъемных гребней. Поэтому после прохода такого культиватора необходимо обеспечить создание рыхлой структуры почвы в пределах клубнеобитаемого слоя с целью хорошей сепарации картофельного вороха на рабочих органах картофелеуборочного комбайна, так как структура почвы, сформированная почвообрабатывающими орудиями в весенний период, остается без существенных изменений до момента уборки.

Основная часть. Рассматривалась технологическая схема пропашного культиватора-глубокорыхлителя, применяемого при междурядной обработке картофеля. Задачами исследования являлось обоснование рациональных параметров расстановки рабочих органов на секции данного культиватора с учетом изменения реологического состояния почвенных горизонтов [1, 2].

Технологическая схема исследуемого культиватора составлена с учетом необходимости формирования мелкокомковатого почвенного состояния в корнеобитаемом слое и разуплотнения почвы в междурядьях с целью восстановления большого объема пор и капилляров для обеспечения режима влагообеспечения, устойчивого к неблагоприятным погодным условиям [3, 4]. Для достижения этих целей на секции пропашного культиватора были установлены обратная глубокорыхлительная лапа на жесткой стойке для обработки междурядья и две обратные рыхлительные лапы на пружинных стойках, идущих по краям междурядья с учетом защитной зоны. При работе секции рыхлительных лап внутри почвы происходит деформация обрабатываемого слоя, в результате которой образуются многочисленные трещины и происходит крошение почвенного пласта в пределах зоны их распространения [5, 6].

Схема распространения возможных зон деформации рыхлительными лапами пропашного культиватора в неоднородных почвенных горизонтах при дифференцированной обработке гребневых посадок картофеля представлена на рис. 1. Ввиду того, что при междурядной обработке картофеля пропашной культиватор работает на гребневой поверхности, сформированной посадочной машиной, то при расчетах кроме ширины основного междурядья b необходи-

мо учитывать и такие параметры как высота гребня h_0 и ширина дна борозды b_0 . При этом будем считать, что положение маточных клубней в гребне, имеющим поперечное сечение в виде трапеции, находится на глубине посадки a , отсчитываемой в плоскости ХОУ относительно дневной поверхности почвы.

Определим зону возможного распространения деформации почвы в продольном направлении. При воздействии на почву лапы с шириной захвата b_c , выполняющей глубокую обработку, формируется опережающая трещина [7, 8], которая распространяется в продольном направлении под углом φ_B к нормали, проведенной к носку лапы в точке m . Угол φ_B является углом трения «сталь-почва», характерным для подпахотного горизонта В. Когда трещина достигнет границы горизонтов В и A_2 её дальнейшее распространение будет зависеть от угла внутреннего трения Ψ_{A_2} «почва-почва», характерного для слоя A_2 . Поэтому в точке n линия границы зоны деформации в продольном направлении изменяет своё направление. При достижении трещиной точки p на границе слоёв A_1 и A_2 направление её распространения вновь изменится и будет проходить под углом Ψ_{A_1} , характерным для слоя A_1 . Зона деформации в продольном направлении может распространяться до точки q на вершине гребня.

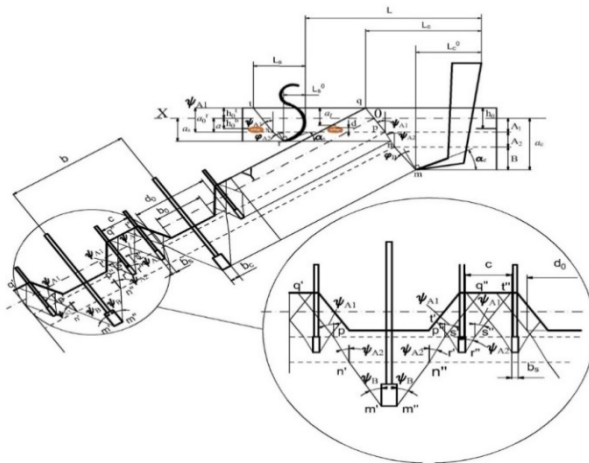


Рисунок 1 – Схема распространения зон деформации почвы рыхлительными лапами пропашного культиватора в неоднородных почвенных горизонтах при дифференцированной обработке гребневых посадок картофеля

Таким образом, с учетом параметров физико-механических свойств почвенных горизонтов, в которых работает рыхлительная лапа для глубокой обработки почвы, распространение возможной зоны деформации в продольном направлении L_c определяется по выражению:

$$L_c = L_c^o + \operatorname{tg}(\varphi_B + \alpha_o) \cdot B + A_2 \cdot \operatorname{tg}\psi_{A_2} + (A_1 + h_c^o) \cdot \operatorname{tg}\psi_{A_1}, \quad (1)$$

где L_c^o – вылет носка лапы; α_o – угол входа в почву лапы; h_o^t – высота гребня относительно дневной поверхности почвы. Для обеспечения работы лап без забивания необходимо, чтобы параметр L установки их на секции пропашного культиватора в продольном направлении был больше L_c . Следовательно, при расстановке походу боковых рыхлительных лап на секции пропашного культиватора для дифференцированной обработки гребневых посадок картофеля необходимо выполнить требование $L \geq L_c$.

Так как пропашной культиватор формирует гребневую поверхность на посадках картофеля из почвы, взятой из междурядий, то для обеспечения необходимого её крошения важно выполнить два условия: зона крошения d_0 после прохода рыхлительной лапы, выполняющей глубокую обработку, должна превышать ширину дна борозды b_0 ; зоны почвы деформации от боковых рыхлительных лап должны пересекаться непосредственно над маточным клубнем на глубине a_i , представляющей расстояние от вершины гребня до его верхней части.

Для выполнения условий по формированию гребней из рыхлой почвы рассмотрим зону распространения деформаций в поперечном направлении. Она ограничена проекцией ломаной линии $mnpq$ в направлении развития опережающей трещины и определяется углами внутреннего трения Ψ_B, Ψ_{A_2} и Ψ_{A_1} и в слоях B, A_2 и A_1 , соответственно. Таким образом, в поперечном направлении ширина распространения зоны деформации почвы d_0 от воздействия оборотной рыхлительной лапы, выполняющей глубокую обработку гребневой поверхности, ограниченная на уровне дна борозды ломанными линиями $m'n'p'q'$ и $m''n''p''q''$ будет равна:

$$d_0 = b_c + 2 \left[\frac{B \cdot \operatorname{tg}\Psi_B}{\cos(\varphi_B) + \alpha_o} + \frac{A_2 \cdot \operatorname{tg}\Psi_{A_2}}{\cos \psi_2} + \frac{(A_2 - h_o^b) \cdot \operatorname{tg}\Psi_{A_1}}{\cos \psi_1} \right], \quad (2)$$

где, $h_o^b = h_o - h_o^r$ – расстояние от дна борозды до дневной поверхности почвы.

Для обеспечения этими лапами достаточной зоны рыхления междурядий определим необходимую глубину их установки a_c . Так как $B = a_c - (A_1 + A_2)$, то условие их установки на глубину хода будет определяться выражением:

$$a_c \geq (A_1 + A_2) + \left[\frac{d_c - b_c}{2} - \frac{(A_1 - h_o^b) \cdot \operatorname{tg} \psi_{A_1}}{\cos \psi_{A_1}} - \frac{A_2 \cdot \operatorname{tg} \psi_{A_2}}{\cos \psi_{A_2}} \right] \cdot \frac{\cos(\varphi_B + \alpha_c)}{\operatorname{tg} \psi_B}. \quad (3)$$

При расчете настроечных значений технологических параметров, определяющих на секции пропашного культиватора положение относительно центра междурядья боковых рыхлительных лап, сделаем допущение о том, что их расстановка полностью определяется шириной защитной зоны c , причем зоны деформации от взаимодействия смежных лап должны пересекаться над маточным клубнем, т.е. на расстоянии a_l от поверхности гребня. Примем, что $\alpha_l = \alpha_0^r - 1,5d$. Здесь $\alpha_0^r = \alpha + h_0^r$ – расстояние от вершины гребня до глубины посадки клубней, а d – средневзвешенный диаметр маточного клубня.

Так как глубина хода боковых рыхлительных лап a_s устанавливается ниже глубины посадки семенных клубней, то они будут обрабатывать почвенный пласт со слоями A_1 и A_2 . При воздействии на почву боковых рыхлительных лап в точке r возникает опережающая трещина, которая распространяется в слое A_2 под углом внешнего трения «сталь-почва» ψ_{A_2} к нормали, проведенной к носку боковой лапы. При достижении трещиной точки s на границе слоёв A_2 и A_1 , меняется её направление в зависимости от значения угла внутреннего трения «почва-почва» ψ_{A_1} и в дальнейшем она выходит на поверхность гребня в точке t . В поперечном направлении зона деформации будет ограничена ломаными линиями $r's't$ и $r''s''t''$.

Для определения настроечного значения установки на секции пропашного культиватора глубины хода боковых рыхлительных лап a_s необходимо определить ширину защитной зоны c , которая определяется с учетом обеспечения сплошного крошения почвы над клубнем:

$$c = 2 \cdot \left[\frac{(a_s - A_1) \cdot \operatorname{tg} \psi_{A_2}}{\cos(\varphi_{A_2} + \alpha_s)} + \frac{1,5d \cdot \operatorname{tg} \psi_{A_1}}{\cos \psi_{A_1}} \right]. \quad (5)$$

Путем решения обратной задачи определим настроечное значение глубины хода боковых рыхлительных лап a_s на секции пропашного культиватора:

$$a_s \approx A_1 + \left(\frac{c}{2} - \frac{1,5 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \psi_{A_1}}{\cos \psi_{A_1}} \right) \cdot \frac{\cos(\varphi_{A_2} + \alpha_s)}{\operatorname{tg} \psi_{A_2}}. \quad (6)$$

Заключение. Получено теоретическое обоснование технологических параметров настройки рабочих органов пропашного культиватора по глубине, при которых обеспечивается соблюдение качественных показателей его работы с учетом физико-механических свойств почв, позволяющих интенсифицировать реологические процессы в почве.

Список использованной литературы

1. Калинин, А.Б. О.В. Реологическая модель почвы как объекта формирования требуемой плотности в заданном слое / А.Б. Калинин, И.З. Теплинский, О.В. Смелик // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 29. – С. 248–255.
2. Kalinin, A.B. Selection and substantiation of cultivator adjustment parameters for differential soil treatment on potato based on the rheology state of soil horizons / A.B. Kalinin, I.Z. Teplinsky, A.A. Ustrov, etc. // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. pp. 012–025.
3. Калинин, А.Б. Совершенствование методов и средств снижения технологических рисков при функционировании машин для возделывания картофеля / А.Б. Калинин, И.З. Теплинский, Т.Ш. Теймуров // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (62). – С. 178–190.
4. Калинин, А.Б. Методы и средства управления режимами влагообеспечения в технологии возделывания картофеля / А.Б. Калинин, И.З. Теплинский // Картофель и овощи. – 2022. – № 2. – С. 13–17.
5. Бердышев, В.Е. Сельскохозяйственные машины. Практикум: учебное пособие / В.Е. Бердышев [и др.]; под редакцией М.А. Новикова. – СПб: Проспект Науки, 2022. – 316 с.
6. Калинин, А.Б. Обоснование технологического процесса пропашного культиватора с рабочими органами комбинированного типа / А.Б. Калинин, И.З. Теплинский, В.А. Ружьев, Е.А. Криштанов, Ю.И. Смирнова, В.И. Миркитанов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – №6 (74). – С. 96–98.
7. Ожегов, Н.М. Динамические методы преобразования упругой деформации активного слоя почвы / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, Д.А. Капошко, В.Д. Сулеев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – №41. – Т.2. – С. 47–51.
8. Kalinin, A. Selection and justification of potato inter row tillage systems based on development of dynamic model of heat and moisture transfer between soil layers / A. Kalinin, V. Kalinina, I. Teplinsky, V. Ruzhev // Engineering for rural development (19th International Scientific Conference Jelgava, 20-22.05.2020, Latvia) – P. 819–825. DOI: 10.22616/ERDev.2020.19.TF191.