

УДК 630.232.216

UDC 630.232.216

ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

THE INFLUENCE OF KINEMATIC PARAMETERS AND OPERATION CONDITIONS OF A UNIVERSAL SOIL-PROCESSING INSTRUMENT ON ITS EFFECTIVENESS

Попов Игорь Владимирович
аспирант
ФГБОУ ВПО "Воронежская государственная лесотехническая академия", Воронеж, Россия

Popov Igor Vladimirovich
postgraduate student
Voronezh State Academy of Forestry Engineering, Voronezh, Russia

На основе математической модели функционирования универсального почвообрабатывающего орудия решена задача оптимизации его кинематических параметров. Определено влияние механических свойств почвы на качество образуемого посадочного места

Based on a mathematical model of the functioning of the universal soil-processing instrument, the problem of optimization of its kinematic parameters was solved. We have also measured the influence of the mechanical properties of soils on the quality of the formed planting spot

Ключевые слова: ОПТИМИЗАЦИЯ, КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ, ДИСКОВЫЙ РАБОЧИЙ ОРГАН, ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЕ ОРУДИЕ

Keywords: OPTIMIZATION, KINEMATIC PARAMETERS, MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS, DISK TOOL, SOIL-PROCESSING INSTRUMENT

В Российской Федерации многие годы вырубki осваивают под лесные культуры большей частью путем полосной расчистки их от порубочных остатков и пней. По центрам расчищенных полос проводят борозды или образуют микроповышения в виде свальных гребней. Данная технология имеет ряд существенных недостатков: обеднение почвы, повышение плотности и снижение пористости; образование микропонижений, локальное заболачивание и частичная гибель культур; сосредоточение в кулисах пней и порубочных остатков, создание благоприятных условий для возникновения и развития пожаров, очагов вредителей и болезней, заглушение культур [1]. Поэтому в последние годы на смену этой технологии механизированной посадки приходит новая, с использованием машин дискретного действия, для использования которых отсутствует необходимость в расчистке территории вырубki, что позволяет исключить указанные выше экологические недостатки. В качестве решения поставленной проблемы нами предложена конструкция универсального почвообрабатывающего орудия (УПО), позволяющего готовить лунку для посадки сеянца, а также образо-

вывать микроповышения или микропонижения почвы вокруг лунки в зависимости от рельефа и физико-химических свойств почв (рис. 1, а) [2].

Среди кинематических параметров УПО наиболее важным является угловая скорость вращения ротора ω_0 . Поэтому целью данной работы было исследование влияния параметра ω_0 на эффективность УПО. Кроме того, дополнительной целью было оценить влияние механических свойств почвы на показатели эффективности УПО.

Анализ производится на основе разработанной ранее математической модели функционирования УПО. В рамках модели имитируется обработка почвы как фрагментируемой среды [3, 4] тремя рабочими поверхностями в форме сферических дисков (рис. 1, б). Моделирование почвы производится в рамках SPH-подхода: почва представляется совокупностью 7000 шарообразных элементов диаметром 5 см, способных взаимодействовать вязкоупругими силами как между собой, так и с рабочими поверхностями орудия [5, 6, 7]. Рабочие поверхности УПО представляются в модели совокупностью элементарных треугольников.

Качество формирования микроповышения (микропонижения) можно оценить по его поперечному профилю (рис. 2, а). В модели профиль состоит из отдельных точек (центры элементов почвы). Для удобства визуального восприятия он может быть перестроен в виде сплошной затемненной области. Основным показателем качества формирования микроповышения (микропонижения) является параметр h_K – высота конуса микроповышения (или глубина конуса микропонижения). Еще одним показателем, определяющим качество образуемого посадочного места является показатель окружной неравномерности Δh_H . Способы определения величин h_K и Δh_H представлены на рисунках 2, б, в.

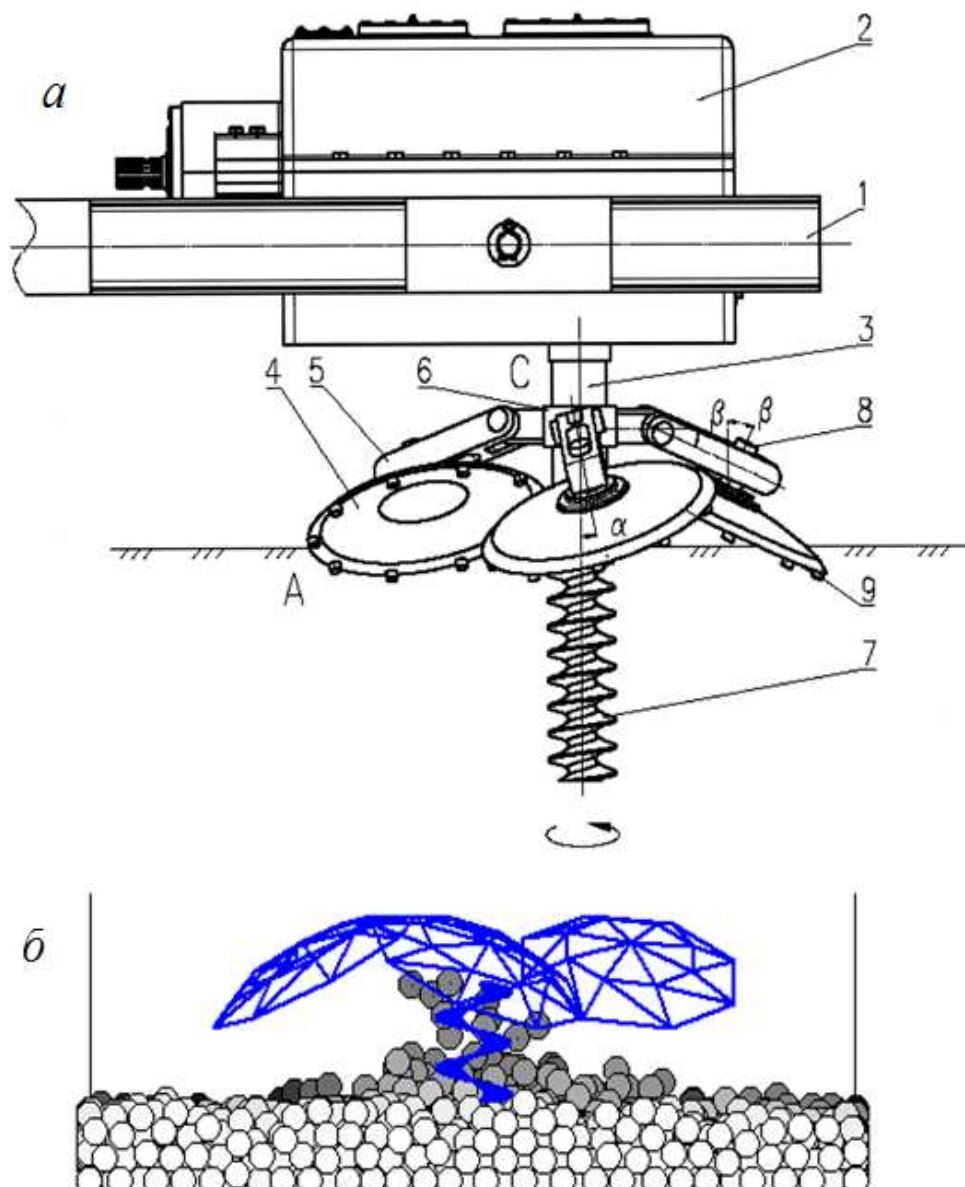


Рисунок 1. Универсальное почвообрабатывающее орудие:

а – принципиальная схема; *б* – представление в модели

1 – рама орудия; 2 – редуктор; 3 – выходной вал редуктора; 4 – сферические диски; 5 – поводки; 6 – обойма; 7 – бур; 8 – ось диска; 9 – резцы

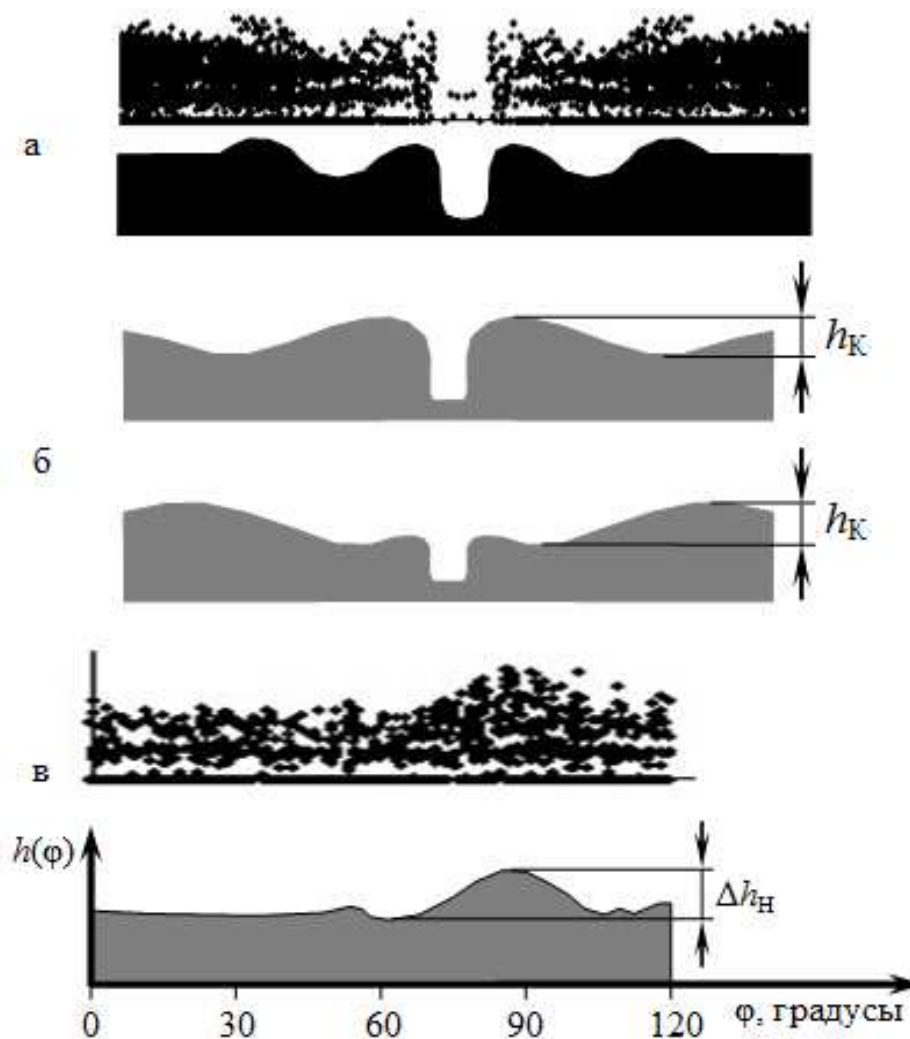


Рисунок 2. Определение показателей качества формирования микроповышений и микропонижений: а – поперечный профиль формируемого микропонижения; б – определение высоты конуса икроповышения и глубины конуса микропонижения; в – определение окружной неравномерности конуса

Средняя потребляемая мощность N_{cp} определяется по формуле:

$$N_{cp} = \frac{A}{\Delta t \cdot (k_k - k_n)} = \frac{1}{\Delta t \cdot (k_k - k_n)} \sum_{k=k_n}^{k_k} \sum_{j=1}^{N_T} \left(\overrightarrow{\Delta S_{jk}} \cdot \sum_{i=1}^{N_\Sigma} \overrightarrow{F_{ijk}} \right), \quad (1)$$

где A – работа сил сопротивления движения рабочих поверхностей;

Δt – шаг интегрирования дифференциальных уравнений;

k_n и k_k – номера шагов интегрирования при которых начинается и заканчивается контакт УПО с почвой;

N_T и N_Δ – количество элементарных треугольников, из которых состоят рабочие поверхности УПО, и элементов почвы;

ΔS_{jk} – перемещение j -го элементарного треугольника поверхности за k -й шаг интегрирования;

F_{ijk} – сила, действующая между i -м элементом почвы и j -м элементарным треугольником поверхности на k -м шаге интегрирования.

Частота вращения ротора определяет динамический режим движения почвы: при малой частоте вращения почвы в основном срезается и смещается дисками, при большой же частоте вращения почвы приобретает существенную радиальную скорость и отбрасывается из области обработки. С целью изучения влияния ω_r на качество работы УПО и потребляемую мощность провели серию компьютерных экспериментов, в пределах которой изменяли ω_r от 0,25 до 1,50 об/с с шагом 0,25 об/с (рис. 3, 4, 5, 6).

Наиболее выражен конус обработки при частотах вращения 0,50–1,00 об/с (рис. 3,4). При меньших частотах вращения движение ротора несколько хаотизировано в вертикальном направлении из-за того, что он успевает реагировать на флуктуации механических свойств почвы, поэтому форма конуса более размыта. При больших же частотах движения фрагменты почвы имеют существенный импульс, поэтому также наблюдается некоторая хаотизация их движения, и в результате форма конуса также искажается.

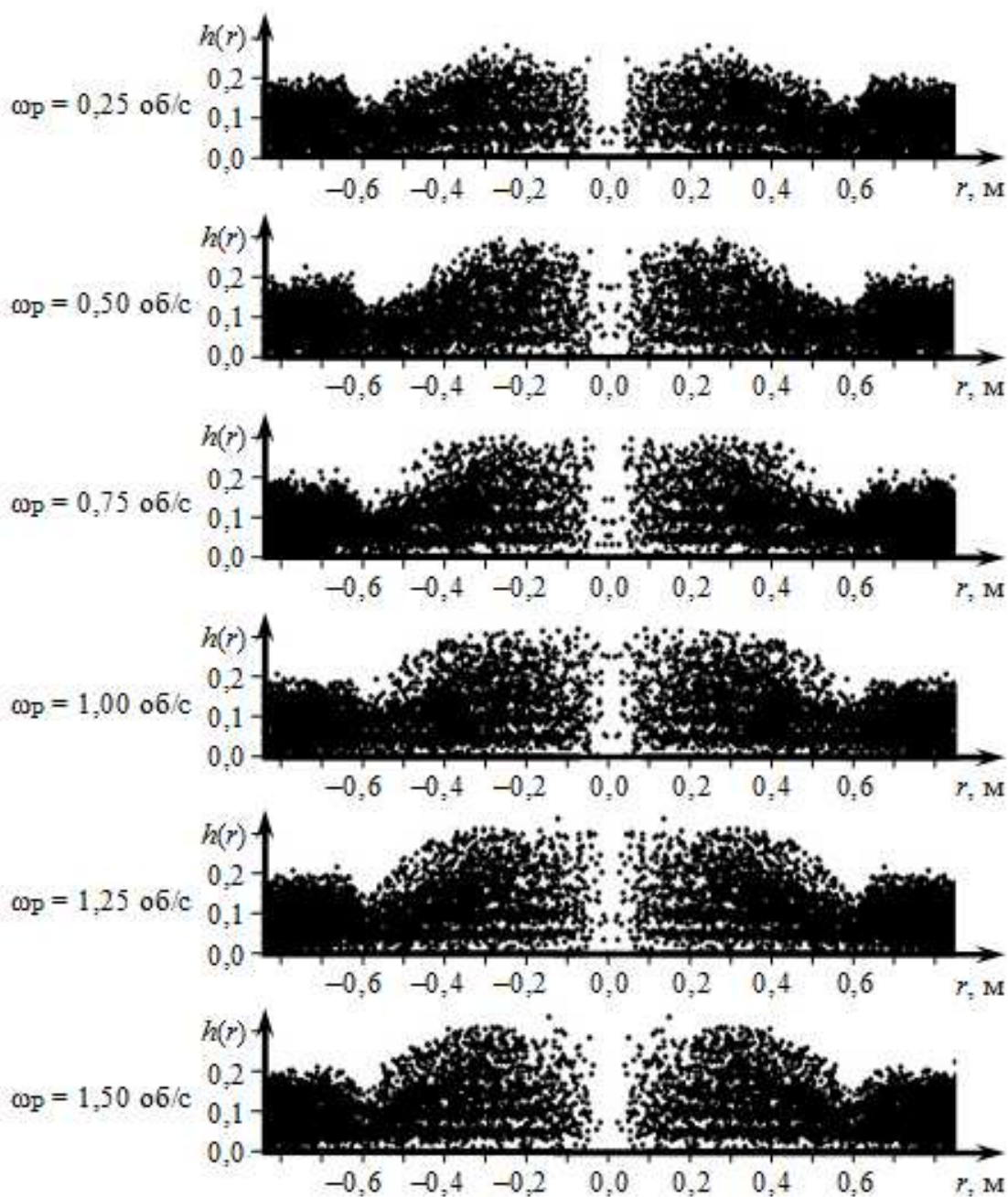


Рисунок 3. Зависимость поперечного профиля области обработки от частоты вращения ротора ω_0 в режиме формирования микроповышений

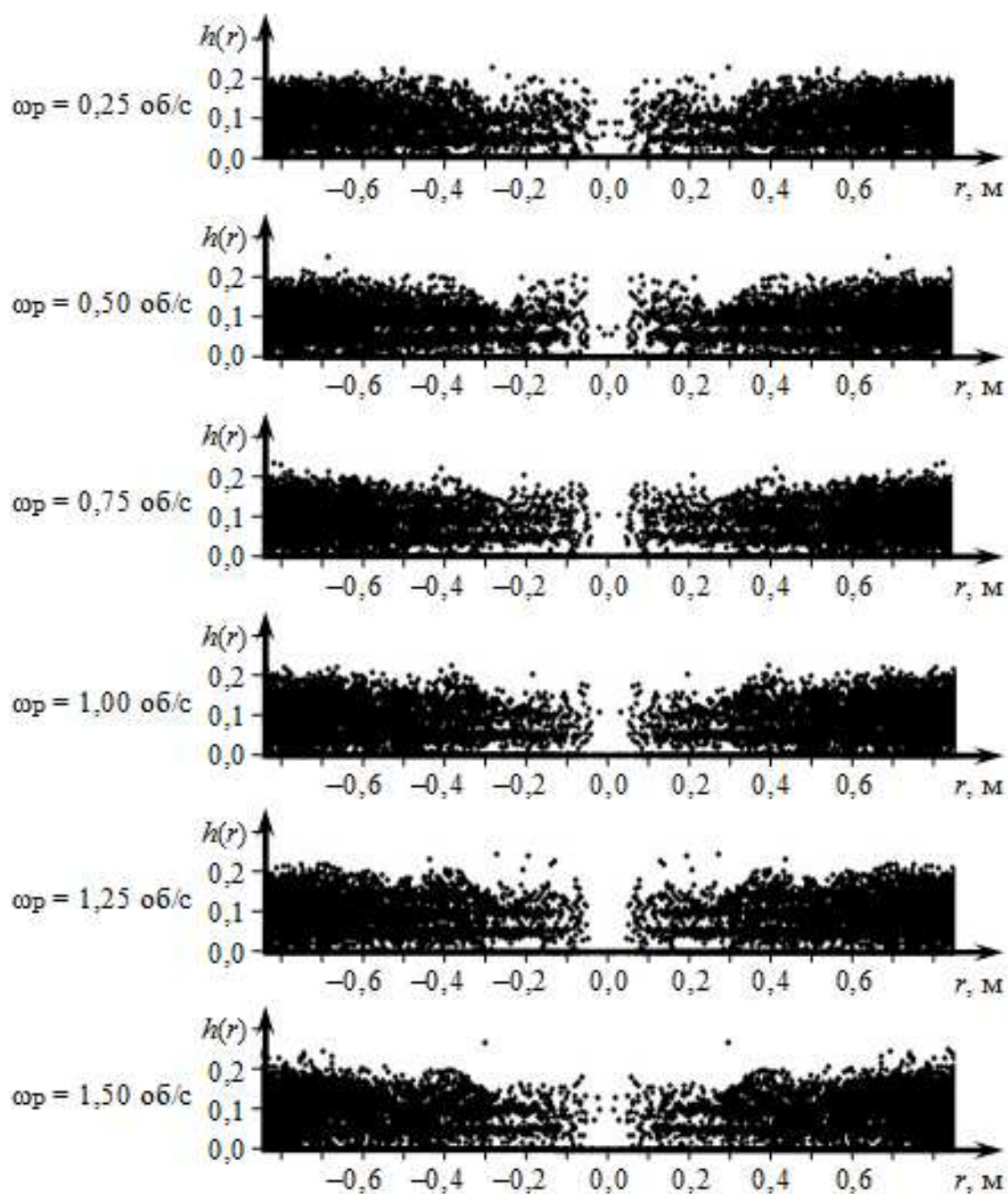


Рисунок 4. Зависимость поперечного профиля области обработки от частоты вращения ротора ω_0 в режиме формирования микропонижений

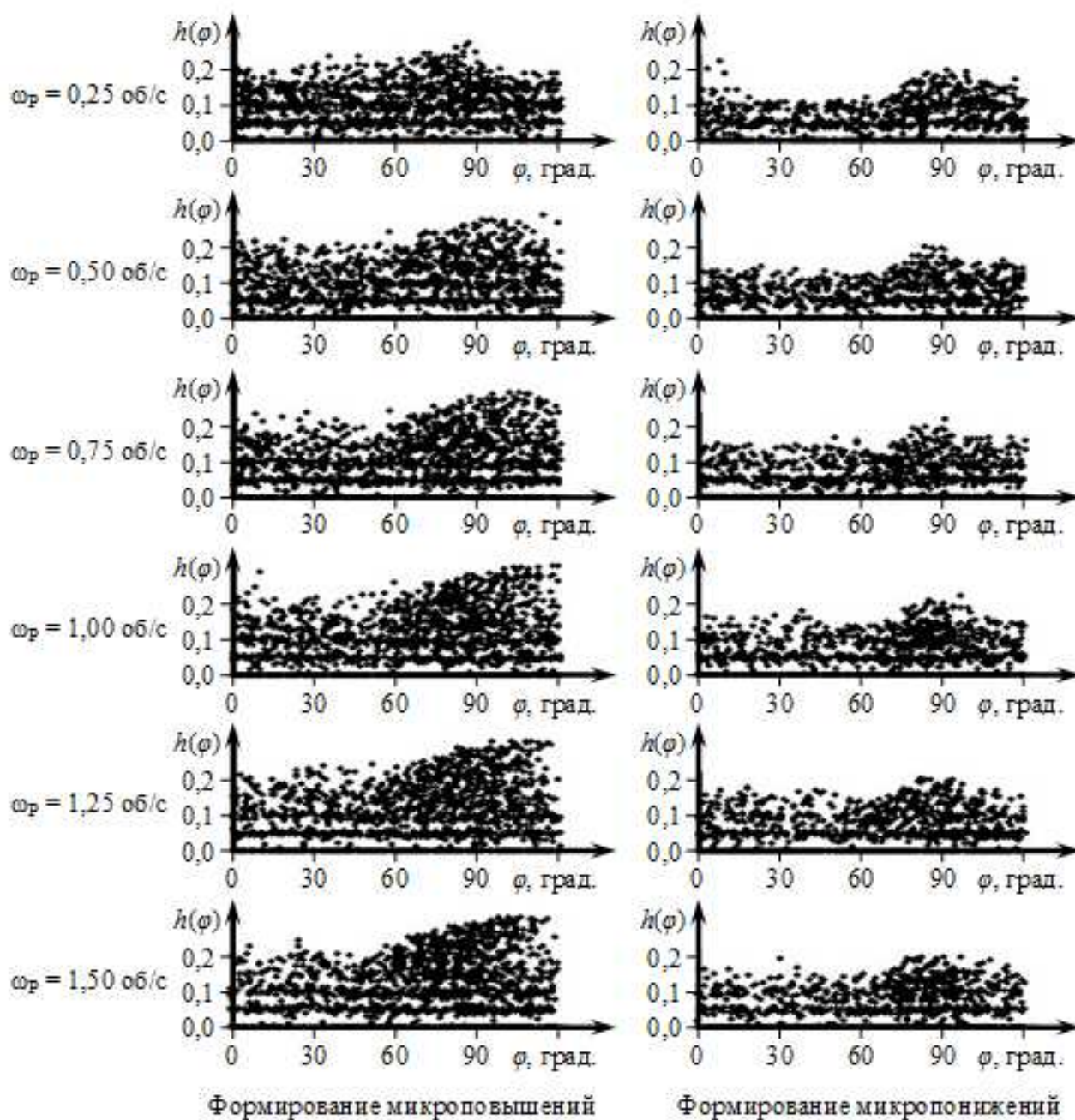


Рисунок 5. Зависимость окружного профиля области обработки от частоты вращения ротора ω_0

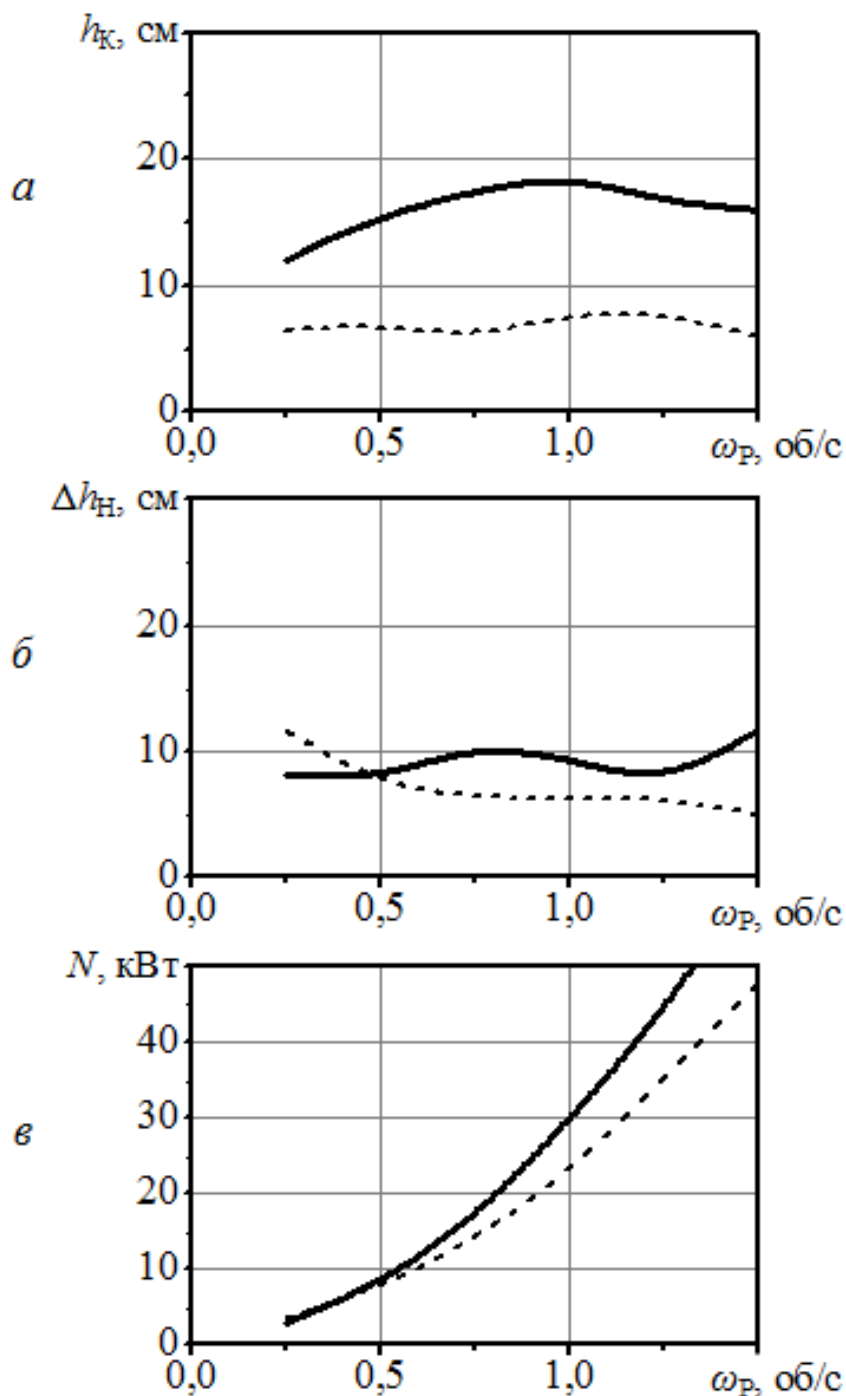


Рисунок 6. Влияние частоты вращения ротора ω_p на показатели эффективности УПО: а – высоту (глубину) формируемого конуса; б – неравномерность высоты вдоль окружности конуса; в – потребляемую мощность. Сплошная кривая – режим формирования микроповышений; штриховая – микропонижений

Анализ окружных профилей (рис. 5) показывает, что для режима формирования микроповышений неравномерность растет с увеличением ω_p , а для режима формирования микропонижений – уменьшается.

Наиболее существенным ограничением возможности использовать высокие частоты вращения является быстрый рост потребляемой мощности (рис. 6, в). Если при частоте вращения 0,50 об./с потребляемая мощность составляет около 10 кВт, то при вдвое большей частоте вращения 1,00 об/с потребляемая мощность составляет уже 25–30 кВт. Такие высокие значения мощности сложно получить от привода трактора (в частности, через ВОМ, либо через гидромотор, питаемый от гидросистемы трактора).

Учитывая перечисленные обстоятельства, в качестве оптимальной частоты вращения ротора можно рекомендовать 0,5 об./с. При этом конус хорошо выражен и равномерен вдоль окружности, имеет высоту не менее 15 см для микроповышений и не менее 8 см для режима микропонижений, а потребляемая мощность не превышает 8 кВт.

Желательно, чтобы разрабатываемое УПО обеспечивало эффективное формирование микропонижений и микроповышений для различных типов почв и различного состояния почвы. Для того, чтобы проверить, насколько сильно влияют механические параметры почвы на результат работы УПО проведена серия компьютерных экспериментов, в которой изменяли один из наиболее определяющих параметров – коэффициент вязкости почвы k_v . Данному коэффициенту придавали значения 5, 35, 42 Н·с/м (рис. 7, 8, 9).

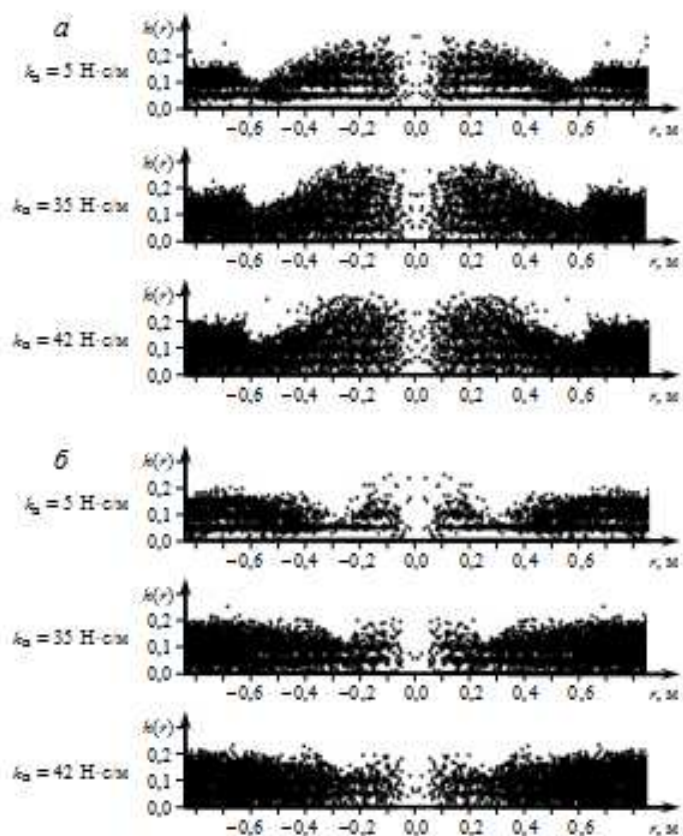


Рисунок 7. Зависимость поперечного профиля области обработки от коэффициента вязкого трения почвы k_B в режиме формирования микроповышений (а) и микропонижений (б)

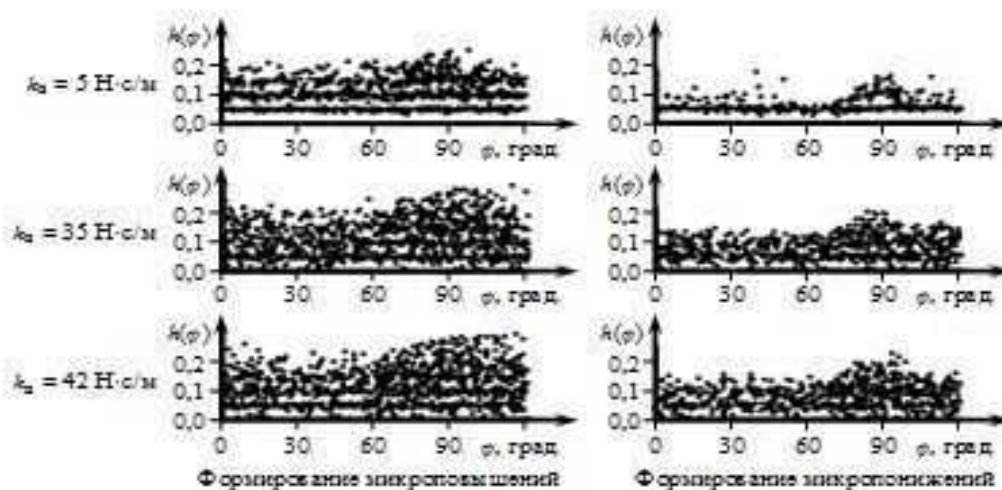


Рисунок 8. Зависимость окружного профиля области обработки от коэффициента вязкого трения почвы k_B

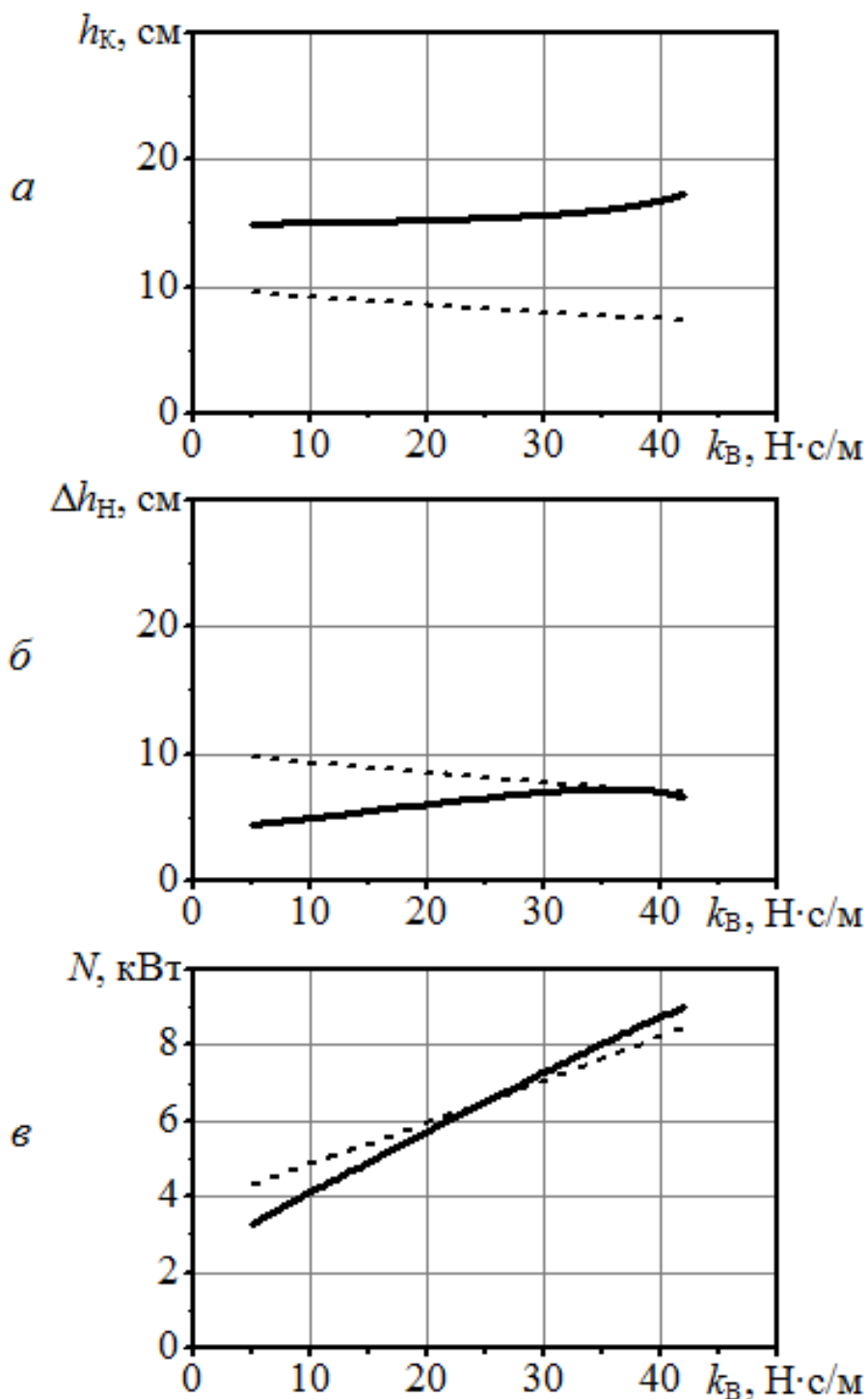


Рисунок 9. Влияние коэффициента вязкого трения почвы k_B на показатели эффективности УПО: а – высоту (глубину) формируемого конуса; б – неравномерность высоты вдоль окружности конуса; в – потребляемую мощность. Сплошная кривая – режим формирования микроповышений; штриховая – микропонижений

Несмотря на то, что k_B изменяли почти на порядок, форма микроповышения и микропонижения практически не изменяется (рис. 7). При этом высота конуса практически не зависит от вязкости почвы (практически горизонтальные линии на рисунке 9, а). Окружной профиль (рис. 8) и окружная неравномерность (рис. 9, б) микроповышений и микропонижений довольно сильно зависит от k_B , однако в целом неравномерность невелика и не превышает 5–10 см. Потребляемая УПО мощность закономерно увеличивается с увеличением коэффициента вязкости почвы, однако также остается в разумных пределах – не превышает 8 кВт (рис. 9, в).

Таким образом, предлагаемая конструкция УПО обеспечивает качественное формирование микроповышений и микропонижений практически независимо от механических свойств почвы.

Таким образом, частота вращения ротора должна составлять 0,5 об./с. При этом формируемый конус хорошо выражен и равномерен вдоль окружности, имеет высоту не менее 15 см для микроповышений и не менее 8 см для режима микропонижений, а потребляемая мощность не превышает 8 кВт. Предлагаемая конструкция УПО обеспечивает качественное формирование микроповышений и микропонижений практически независимо от механических свойств почвы.

Список литературы

1. Бартенев И.М. Экологизация процесса освоения вырубок под лесные культуры // Лесотехнический журнал. Научный журнал / ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». Воронеж, 2012. № 5. С.21-26.
2. Попов И.В. Математическая модель универсального почвообрабатывающего орудия / И.В. Попов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №04(88). – IDA [article ID]: 0881304038. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/38.pdf>
3. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем: учебное пособие – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.
4. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. – М.: Наука, 1990. – 176 с.
5. Premoze S., Tasdizen T., Bigler J. et al. Particle Based Simulation of Fluids // Euro-

graphics, 2003. – Vol. 22. – N 3. – P. 103–113.

6. Monaghan J. Smoothed Particle Hydrodynamics // Annu. Rev. Astron. Astrophys. 1992. – Vol. 30. – P. 543-574.

7. Кривцов А.М. Деформирование и разрушение тел с микроструктурой. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 304 с.

References

1. Bartenev I.M. Jekologizacija processa osvoenija vyrubok pod lesnye kul'tury // Lesotekhnicheskij zhurnal. Nauchnyj zhurnal / FGBOU VPO «VGLTA». Voronezh, 2012. № 5. S.21-26.

2. Popov I.V. Matematicheskaja model' universal'nogo pochvoobrabatyvajushhego orudija / I.V. Popov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubansko-go gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj re-surs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №04(88). – IDA [article ID]: 0881304038. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/38.pdf>

3. Sovetov B. Ja., Jakovlev S. A. Modelirovanie sistem: uchebnoe posobie – М.: Vyssh. shk., 1998. – 319 s.

4. Heerman D.V. Metody komp'juternogo jeksperimenta v teoreticheskoj fizike. – М.: Nauka, 1990. – 176 s.

5. Premoze S., Tasdizen T., Bigler J. et al. Particle Based Simulation of Fluids // Eurographics, 2003. – Vol. 22. – N 3. – P. 103–113.

6. Monaghan J. Smoothed Particle Hydrodynamics // Annu. Rev. Astron. Astrophys. 1992. – Vol. 30. – P. 543-574.

7. Krivcov A.M. Deformirovanie i razrushenie tel s mikrostrukturoj. – М.: FIZMATLIT, 2007. – 304 s.