

УДК 630

UDC 630

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МАШИНЫ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ВЫРУБКАХ**

**MODELING OF TILLAGE MACHINES IN
FOREST CLEARINGS**

Онучин Евгений Михайлович
к.т.н., доцент

Onychin Evgeny Mihailovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Неклюдов Вячеслав Борисович
к.т.н., доцент

Neklyudov Vyacheslav Borisovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Алексеев Александр Эрикович
аспирант

Alekseev Alexander Erikovich
postgraduate student

Перетягин Павел Андреевич
студент
*Поволжский государственный технологический
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Peretyagin Pavel Andreevich
student
*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola,
Russia*

В статье приведено описание математической модели функционирования машины для обработки почвы на вырубках. Рассмотрены особенности работы машины, представлены результаты вычислительного эксперимента на разработанной математической модели

The article describes the mathematical model of the machine for soil cultivation on cuttings down. The features of the machine, the results of the computer simulation of the developed mathematical model are reviewed

Ключевые слова: ИСКУССТВЕННОЕ
ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ, КЛУМБОВАЯ
ОБРАБОТКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ
ЭКСПЕРИМЕНТ, ЭНЕРГОЗАТРАТЫ

Keywords: ARTIFICIAL REGENERATION,
KLUMB PROCESSING, NUMERICAL
EXPERIMENTS, ENERGY

Введение

Площади вырубаемых лесов в нашей стране ежегодно восстанавливаются естественным и искусственным путем. При искусственном лесовосстановлении решаются задачи создания продуктивных и устойчивых насаждений, а также максимальное использование потенциала лесорастительных условий и сохранения экологической обстановки лесокультурных площадей. Обработка почвы является необходимой операцией при искусственном лесовосстановлении.

Общая цель обработки почвы сводится к улучшению их физических свойств, водного и теплового режима, водного и минерального питания культур, активизации деятельности микроорганизмов в почве, а также к устранению вредного влияния на культуры травянистой растительности.

Большинство машин для обработки почвы применяемых в настоящее время, требуют очистку вырубki от пней и порубочных остатков, так же существуют ряд машин способных работать на не раскорчёванных вырубках с количеством пней до 600 на га.

Предлагаемый агрегат может работать на вырубках с количеством пней более 600 на га. Это достигается использованием рабочих органов с изменяемыми параметрами. [1-6]

Предлагаемые технические решения

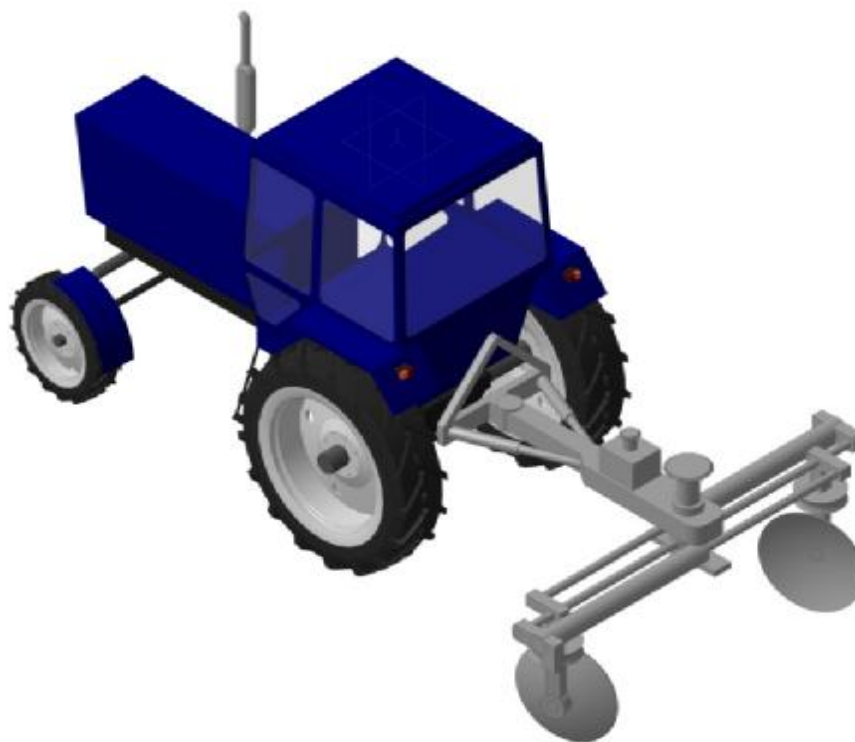


Рисунок 1 - Внешний вид машинно-тракторного агрегата для обработки почвы круговыми площадками

Машинно-тракторный агрегат (Рис. 1) состоит из базовой машины и агрегата, состоящего из рамы, имеющей возможность отклонения от продольной оси при помощи гидроцилиндров, на которой установлена балка имеющая возможность неограниченного вращения вокруг оси. На балке установлены рабочие органы, состоящие из дискового ножа, стойки и узла поворота дискового ножа. Рабочие органы перемещаются вдоль

балки посредством гидроцилиндров. Вращение балки осуществляется посредством цепной передачи от редуктора с приводом от вала отбора мощности.

Работа агрегата осуществляется следующим образом. Трактор движется по прямой. Рама отклоняется до достижения позиции над местом вспашки, после чего трактор останавливается. Рабочие органы сдвигаются к середине балки. Включается приводной механизм, разгоняющий подвижную балку, с установленными на ней рабочими органами, до необходимой скорости, после чего гидрофицированной навеской трактора агрегат опускается до заглубления рабочих органов на требуемую глубину, после чего включаются гидроцилиндры, перемещающие рабочие органы к концам балки, при этом рабочие органы движутся по спирали. Когда рабочие органы достигнут конца балки, приводной механизм и гидроцилиндры останавливаются, и вращение прекращается за счет сил трения. Таким образом происходит вспашка небольшого участка. После этого агрегат поднимается гидрофицированной навеской трактора и трактор переезжает на следующий участок.

Подходы к моделированию

При математическом моделировании поведение модели описывается системой уравнений описывающих зависимость различных параметров. Изучение модели сводится к анализу уравнений. Использование этого метода позволяет произвести расчет большого числа вариантов сочетаний параметров и определить оптимальные параметры.

Целью математического моделирования работы агрегата для обработки почвы круговыми площадками является повышение его эффективности путем обоснования его конструктивных параметров, обеспечивающих с одной стороны максимально высокую производительность, а с другой стороны минимальные затраты энергии.

Описание модели

Анализируя влияние различных параметров на энергозатраты и производительность агрегата, можно выделить следующие параметры, изменение значений которых целесообразно для выполнения требуемых условий: ширина захвата корпуса, скорость движения и размер (радиус) обрабатываемой площадки.

Изменяя угол атаки дискового ножа с максимального угла, при движении рабочих органов по наименьшему радиусу, до минимального угла, при движении рабочих органов по наибольшему радиусу, можно добиться постоянного значения потребляемой мощности. В результате получается увеличение производительности машины, при незначительном увеличении энергозатрат.

Влияние изменения скорости движения рабочих органов. С увеличением скорости движения рабочих органов производительность увеличивается. Однако увеличение скорости возможно в незначительных пределах, так как при возрастании скорости будет значительно возрастать тяговое сопротивление и соответственно увеличиваться потребляемая мощность, что приведет к увеличению энергозатрат.

С уменьшением размера площадки будет уменьшаться потребляемая мощность, при движении рабочих органов по максимальному радиусу, соответственно уменьшаться энергозатраты. Так же с уменьшением размера обрабатываемой площадки уменьшается время на создание одной площадки, но увеличивается количество необходимых площадок для обеспечения необходимой густоты посадки и время на их обработку.

При выполнении математического моделирования принят ряд допущений:

- угловая скорость движения балки постоянна,
- глубина обработки постоянна,

сила F приложена к наиболее удаленной от центра вращения точке рабочего органа;

движение рабочих органов начинается от центра вращения;

удельное сопротивление почвы резанию постоянно для обработки одной площадки.

$$N = F \cdot u = F \cdot \omega \cdot R, \quad (1)$$

где F – тяговое сопротивление рабочих органов, Н;

ω – угловая скорость балки, рад/с;

R – расстояние от центра до наиболее удаленной точки рабочего органа взаимодействующей с почвой.

Рассматривая данное уравнение, для выполнения условия постоянной потребляемой мощности, при условии постоянной угловой скорости, с увеличением радиуса необходимо уменьшать силу F . При этом учитывая что:

$$F = k_{\Pi} \cdot a \cdot b \cdot n, \quad (2)$$

где k_{Π} – удельное сопротивление почвы, Н/м²;

b – глубина обработки, м;

a – ширина захвата корпуса, м;

n – количество корпусов;

а значения k_{Π} , b и n постоянны, для обеспечения постоянной потребляемой мощности, необходимо уменьшения значения a с увеличением радиуса. Тогда из формул 1 и 2 получаем следующую зависимость (Рис. 2):

$$\frac{N}{\omega \cdot R} = k_{\Pi} \cdot a \cdot b \cdot n,$$

$$a = \frac{N}{k_{\Pi} \cdot b \cdot n \cdot \omega \cdot R}. \quad (3)$$

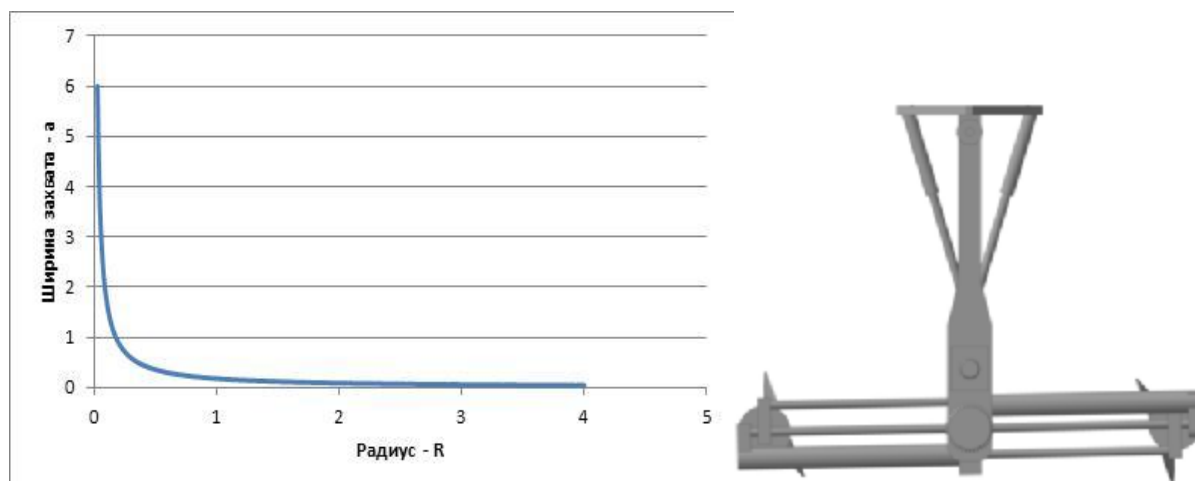


Рисунок 2 – Зависимость ширины захвата от радиуса

При этом максимальное значение α не может быть больше определенного значения α_{\max} , зависящего от параметров рабочего органа.

Для моделирования движения рабочих органов проводится построение траектории движения рабочих органов, представляющей собой спираль.

Так как форма площадки имеет круглую форму, значение производительности машины определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{S}{t} = \frac{p \cdot R^2}{t}, \quad (4)$$

где t – время, затрачиваемое на обработку участка.

Время t складывается из времени на обработку площадок $t_{\text{Пл}}$ и времени на перемещение от одной площадки к другой $t_{\text{Пер}}$.

$$w = \frac{2 \cdot p}{T} \Rightarrow T = \frac{2 \cdot p}{w} = t_{\text{оборота}},$$

$$t_{\text{Пл}} = t_{\text{оборота}} \cdot n, \quad (5)$$

где n – количество оборотов балки.

Так как расстояние, на которое машина переезжает от одной площадки к другой всегда различно, время на перемещение машины можно посчитать как время на перемещение машины вдоль всей

траектории учитывая режим разгона при отъезде от площадки, и режим торможения при достижении позиции для формирования следующей площадки.

В данной модели это реализуется следующим образом: проводится построение участка лесокультурной площади, на котором случайным образом располагаются пни и деревья. Далее на этой площади размещаются обрабатываемые участки таким образом, чтобы они не пересекали непреодолимые препятствия, и были доступны для машины. Затем строится линия движения машины параллельно/вдоль одной из сторон лесокультурной площади таким образом, чтобы машина могла проехать между деревьями, и могла обработать площадки расположенные вдоль нее.

Количество оборотов балки определяется по построенной спирали траектории движения рабочих органов.

Для определения количества оборотов балки строится траектория движения рабочих органов, представляющая собой спираль.

Сначала пол оборота происходит заглубливание рабочих органов и установление рабочей ширины захвата, при этом движение происходит по спирали Архимеда, дальнейшее движение рабочих органов происходит по спирали с учетом ширины захвата рабочих органов. При достижении значения $R=R_{\max}$, балка делает еще пол оборота, при котором значения R и α не изменяются, для завершения площадки.

При этом для обеспечения полного захвата обрабатываемой площади и исключения повторного захвата обработанного участка, необходимо выполнения условия:

$$r = R ,$$

где r – расстояние от центра до наиболее приближенной точки рабочего органа взаимодействующей с почвой на текущем обороте,

R – расстояние от центра до наиболее удаленной точки рабочего органа взаимодействующей с почвой при том же значении угла на предыдущем круге для машины с одним рабочим органом, или R при том же значении угла для предыдущего рабочего органа для машины с несколькими рабочими органами.

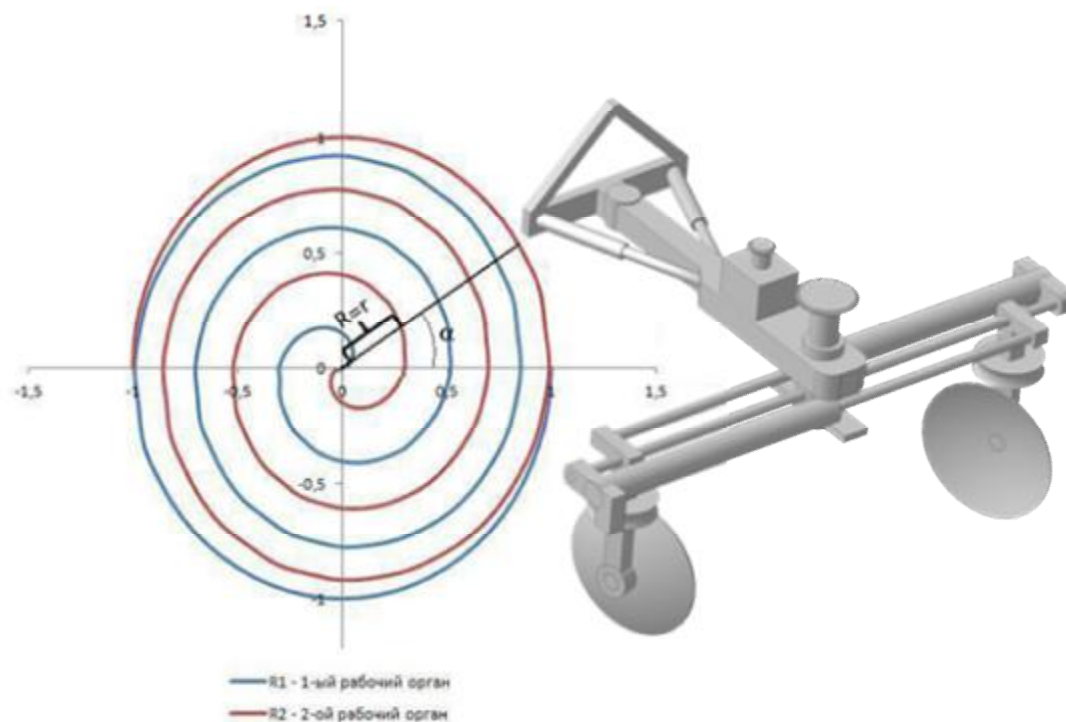


Рисунок 3 - Движение рабочих органов при обработке почвы

Для этого представим $R=r+\alpha$:

$$a = \frac{N}{k_{II} \cdot b \cdot n \cdot w \cdot (r + a)},$$

решая полученное уравнение относительно α получаем:

$$a = \frac{-k_{II} \cdot b \cdot n \cdot w \cdot r + \sqrt{k_{II} \cdot b \cdot n \cdot w \cdot \sqrt{4 \cdot N + k_{II} \cdot b \cdot n \cdot w \cdot r^2}}}{2 \cdot k_{II} \cdot b \cdot n \cdot w} . \quad (6)$$

Затраты энергии определяются как сумма затрат энергии на обработку почвы $W_{обр}$ и перемещение машины $W_{пер}$:

$$W = A = N \cdot t = F \cdot S .$$

Затраты энергии на обработку почвы определяются по формуле:

$$W_{обp} = n \cdot F \cdot u \cdot t = n \cdot F \cdot w \cdot R \cdot t_{пл} , \tag{7}$$

где n – количество созданных площадок на лесокультурной площади

Так как значение радиуса изменяется в процессе работы, производится определение затрат энергии на для каждого углового перемещение в 10 градусов, при котором значения R и α брались максимальные на этом участке, суммарное значение которых дает полную затраченную энергию.

Затраты энергии на перемещение машины определяются по формуле:

$$W_{пер} = N \cdot (t_{уск} + t_{ос}) . \tag{8}$$

Время на остановку здесь не учитывается, так как при торможении энергия не затрачивается.

План и результаты вычислительного эксперимента

Для разработанной модели работы агрегата для обработки почвы круговыми площадками были определены диапазоны варьирования входных величин, представленные в таблице 1.

На основании выбранных диапазонов варьирования были составлены планы однофакторных вычислительных экспериментов, представленные в таблице 2.

Для 7 однофакторных вычислительных экспериментов получены результаты, представленные на рисунках 4,5.

Таблица 1 Диапазоны варьирования входных величин математической модели работы агрегата для обработки почвы круговыми площадками

	min	max	сред
R max размер площадки	0,5	4	2,25
N-мощность	1000	70000	35500

Кп – удельное сопротивление почвы, Н/м ²	30000	150000	90000
b – глубина вспашки, м	0	0,3	0,15
a – max ширина захвата корпуса, м	0,025	1	0,5125
n – количество корпусов	1	4	2
w-угловая скорость	0,25	7	3,625

Таблица 2 Планы однофакторных вычислительных экспериментов на математической модели работы агрегата для обработки почвы круговыми площадками

Номер ВЭ	1	2	3	4	5	6	7
R max размер площадки	0,5-4	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
N-мощность	35500	1000-70000	35500	35500	35500	35500	35500
Кп – удельное сопротивление почвы, Н/м ²	90000	90000	30000-150000	90000	90000	90000	90000
b – глубина вспашки, м	0,15	0,15	0,15	0,01-0,3	0,15	0,15	0,15
a – max ширина захвата корпуса, м	0,5	0,5	0,5	0,5	0,025-1	0,5	0,5
n – количество корпусов	2	2	2	2	2	1-4	2
w-угловая скорость	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	0,25-7

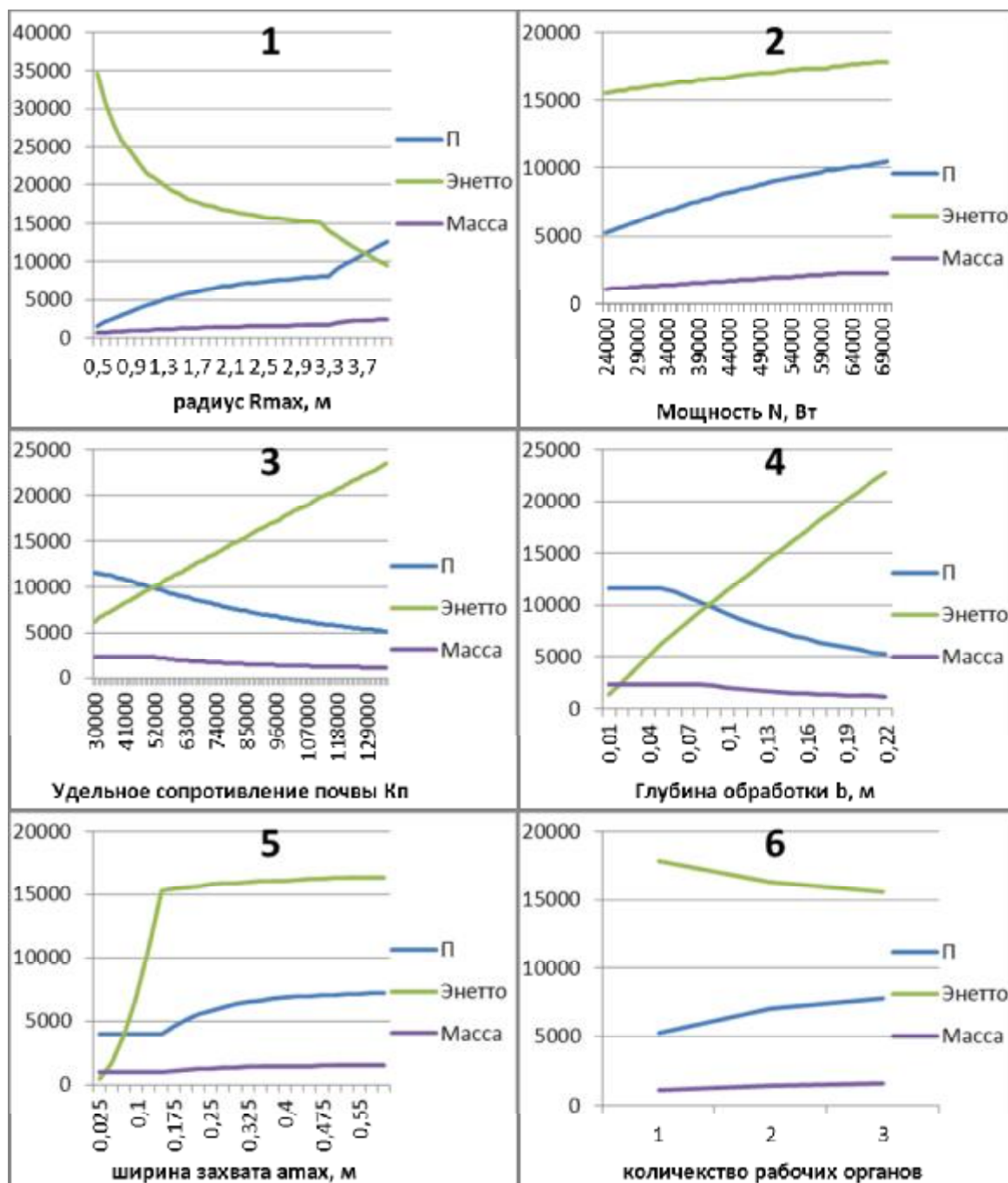


Рисунок 4 - Результаты однофакторных вычислительных экспериментов №1-6

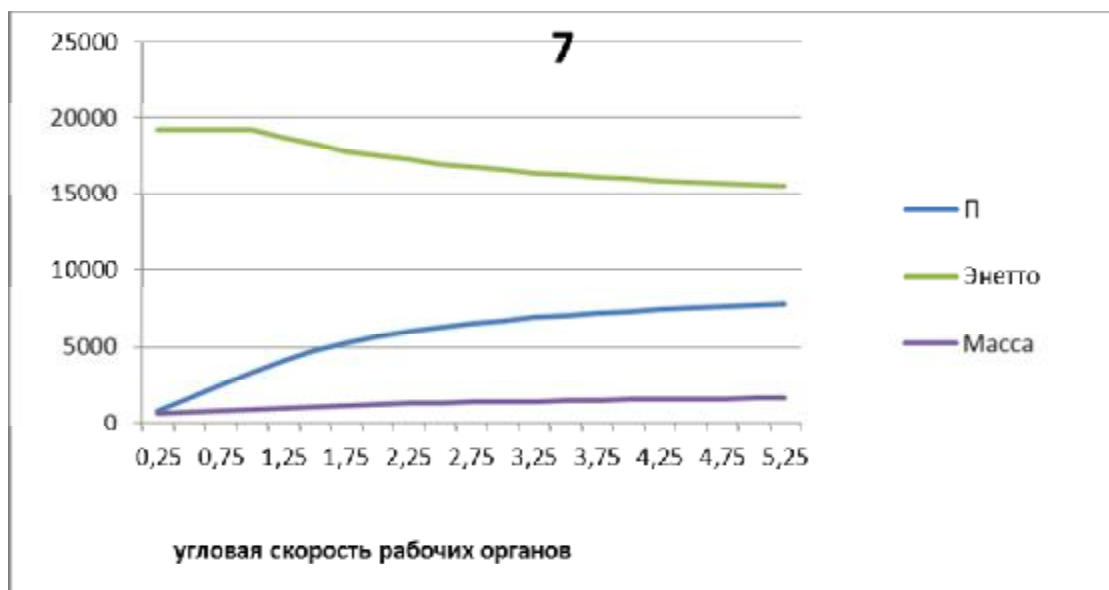


Рисунок 5 - Результаты однофакторного вычислительного эксперимента №7

Выводы

Разработана математическая модель работы агрегата для обработки почвы круговыми площадками, устанавливающая взаимосвязь между конструктивными параметрами агрегата и показателями эффективности его работы, характеризующими с одной стороны максимально высокую производительность, а с другой стороны минимальные затраты энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по государственному контракту № 16.515.11.5053 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы».

Библиографический список

1. Жуков, А.В. Теория лесных машин / А.В.Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.
2. Ширнин, Ю.А. Процессы комплексного освоения участков лесного фонда при малообъемных лесозаготовках: Научное издание / Ю.А.Ширнин, К.П.Рукомойников, Е.М.Онучин; Под ред. Ю.А.Ширнина. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 196 с.
3. Сидыганов, Ю.Н. Модульные машины для рубок ухода и лесовосстановления: монография / Ю.Н.Сидыганов, Е.М.Онучин, Д.М.Ласточкин. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – 336 с.
4. Александров, В.А. Механизация лесосечных работ в России / В.А.Александров. – СПб.: СПбЛТА, 2000. – 208 с.
5. Александров, В.А. Модифицированные сельскохозяйственные тракторы для лесозаготовок / В.А.Александров, Н.А.Гуцелюк, С.Ф.Козьмин. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986. – 24 с.
6. Заикин, А. Н. Теория, методы и модели интенсификации лесосечных работ, монография [Текст] / А.Н. Заикин. – Брянск: БГИТА, 2009. – 212 с.