

*С.А. Виноградов, к.т.н., доцент каф., НУГЗУ,  
Н.И. Мисюра, к.т.н., доцент, зам. нач. каф, НУГЗУ,  
А.Н. Попова, ассистент, ХНАДУ, Н.О. Консуров, адъюнкт, НУГЗУ*

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРУНТОМЕТАНИЯ**

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

В статье проведены экспериментальные исследования зависимости угла сдвига разгрузочного окна рабочего органа грунтометательной машины с лопатками в форме брахистохроны относительно вертикальной оси на эффективность грунтометания. Определено влияние частоты вращения ротора и времени грунтометания на дальность грунтометания, ширину разброса грунта и площадь покрытия грунтом, получены соответствующие поверхности отклика и регрессионные зависимости.

**Ключевые слова:** лесной пожар, грунтометательная машина, рабочий орган, брахистохрона, грунтометание.

**Постановка проблемы.** Лесной пожар - стихийное (неуправляемое) распространение огня в лесу (на покрытых и не покрытых площадях, землях лесного фонда). Ежегодно в мире возникает более 400 тыс. лесных пожаров, которые уничтожают миллионы тонн органического вещества, способствуют распространению вредных насекомых и дереворазрушающих грибов, исчезают грибы и ягоды, усиливаются болото-образовательные процессы, возникает водная эрозия почвы [1]. В Украине в 2013 году возникло 805 лесных пожаров. Огнем было охвачено 220 га лесных массивов [2].

Для тушения лесных пожаров применяется такая противопожарная техника, как автоцистерны, пожарные насосные станции, рукавные автомобили, пожарные самолеты, пожарные вертолеты и даже пожарные поезда. Главной проблемой, с которой сталкиваются оперативно-спасательные подразделения при тушении лесных пожаров – острая нехватка огнетушащего вещества – воды. В таких условиях единственным средством предотвращения распространения пожара является использование специальных грунтометательных машин, с помощью которых создаются минерализованные полосы перед фронтом пожара и осуществляется тушение кромки низового пожара. Для этих целей применяются полосопрокладыватель ПФ-1, лесопожарный грунтомет ГТ-3, лесопожарный полосопрокладыватель ПЛ-3 и другие [1]. Метание грунта в этих машинах осуществляется роторными метателями с радиальными лопатками. При этом наиболее эффективным является использование лопаток в форме брахистохроны – кривой скорейшего спуска [3]. Однако на сегодняшний день не проведены

экспериментальные исследования зависимости эффективности грунтометания от исходных параметров грунтометателя.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Наиболее полно вопросы тушения лесных пожаров, в том числе с применением грунтометательных машин, раскрыты в работе [1], а теория грунтометания – в работе Кукибного А. А. [5].

Рабочий орган грунтометательной машины с лопатками в форме брахистохроны разработан авторами и защищен охранным документом [4]. В работе [3] теоретически определен оптимальный профиль лопатки в форме брахистохроны.

**Постановка задачи и ее решение.** В основу работы поставлена задача экспериментальным путем определить влияние угла сдвига разгрузочного окна относительно вертикальной оси на эффективность грунтометания, и на его основании определить влияние частоты вращения ротора и времени грунтометания на дальность грунтометания, ширину разброса грунта и площадь покрытия грунтом.

На основании теоретических расчетов, проведенных в [3], был разработан экспериментальный образец грунтометательной машины, рабочим органом которого является роторный метатель с лопатками в форме брахистохроны. На рис. 1, а представлен общий вид грунтометательной машины, а на рис. 1, б – рабочий орган машины с лопатками в форме брахистохроны.

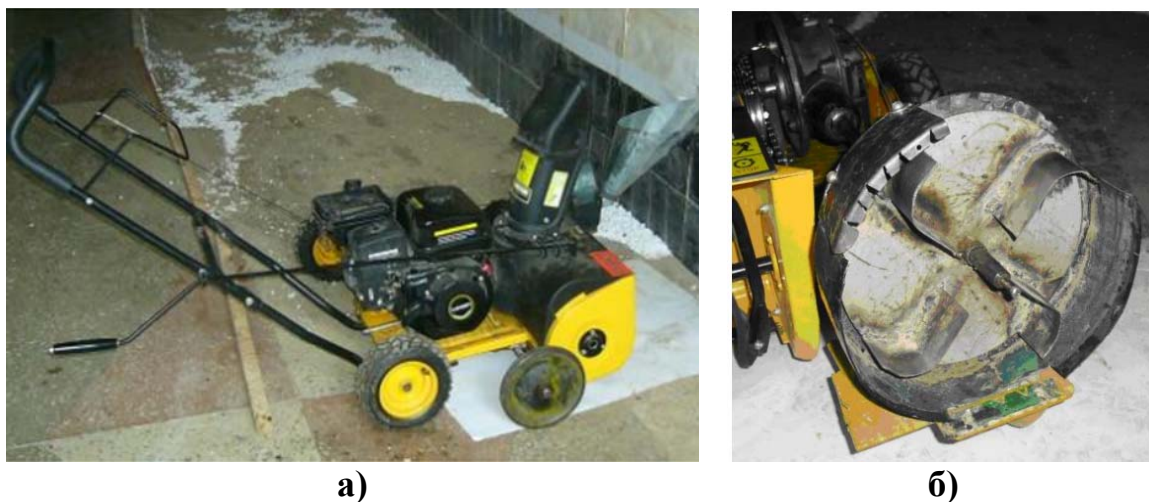
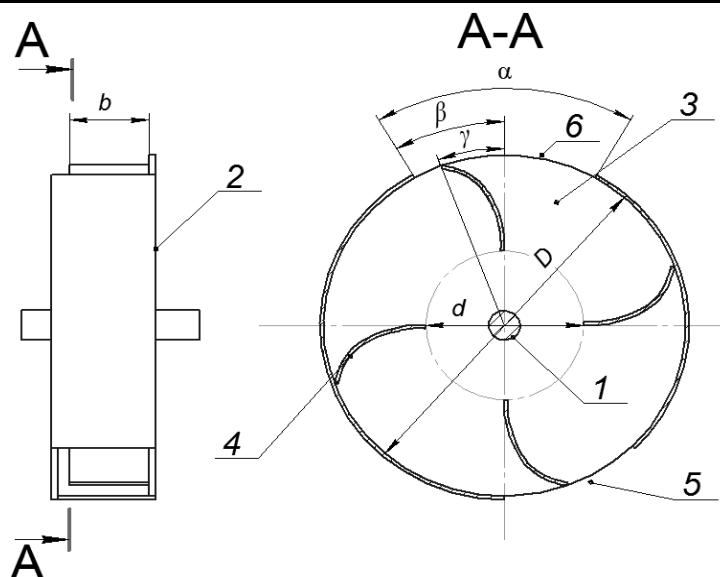


Рис. 1. Экспериментальный образец грунтометательной машины: а – общий вид машины; б – рабочий орган машины с лопатками

На рис. 2 представлено схематическое изображение рабочего органа грунтометательной машины с его основными параметрами.

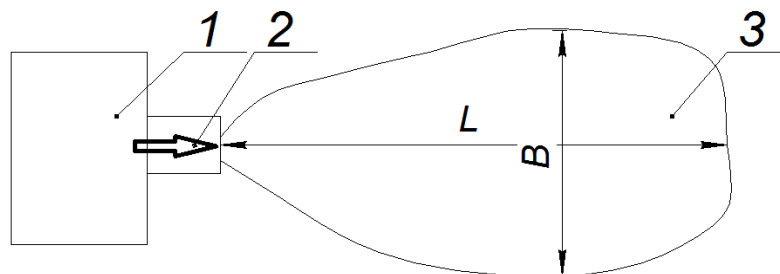
Внешний диаметр ротора с учетом габаритов базового устройства и мощности его двигателя принят равным  $D=0,24$  м, ширина лопатки  $b=0,05$  м. Для указанного параметра  $D$  и угла брахистохроны  $\gamma=20^\circ$  получено значение длины лопатки  $R=(D-d)/2=0,094$  м, угол раскрытия разгрузочного отверстия  $\alpha=90^\circ$ .



**Рис. 2.** Схематическое изображение рабочего органа грунтометательной машины: 1 – вал; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – лопатки; 5 – приемное отверстие; 6 – разгрузочное отверстие

Для выбора эксплуатационной частоты вращения ротора проведена серия расчетов, в результате которых установлено, что частота вращения ротора  $n=1200$  об/мин обеспечивает вылет частиц грунта со скоростью, близкой к  $V_0=20$  м/с с рациональным углом выхода.

С целью определения влияния угла сдвига разгрузочного окна относительно вертикальной оси  $\beta$  на эффективность грунтометания проведены экспериментальные исследования, в которых варьировалась частота вращения ротора  $n$  и время его работы  $t$ . Угол  $\beta$  в исследовании на основании теоретических расчетов принимался равным  $15^\circ$  и  $35^\circ$ . Искомыми были определены величины, характеризующие поверхность, покрытую грунтом после грунтометания: дальность метания  $L$ , ширина разброса грунта  $B$  перпендикулярно оси метания, площадь  $S$ , покрытая грунтом (рис. 3). Площадь покрытия определялась теоретически как площадь эллипса с осями  $L$  и  $B$ . Для каждого значения параметров было проведено по 5 опытов, после чего определялись средние значения  $L_{cp}$ ,  $B_{cp}$  и  $S_{cp}$ .



**Рис. 3.** Схема проведения эксперимента: 1 – грунтометательная машина; 2 – направление грунтометания; 3 – пятно грунта площадью  $S$

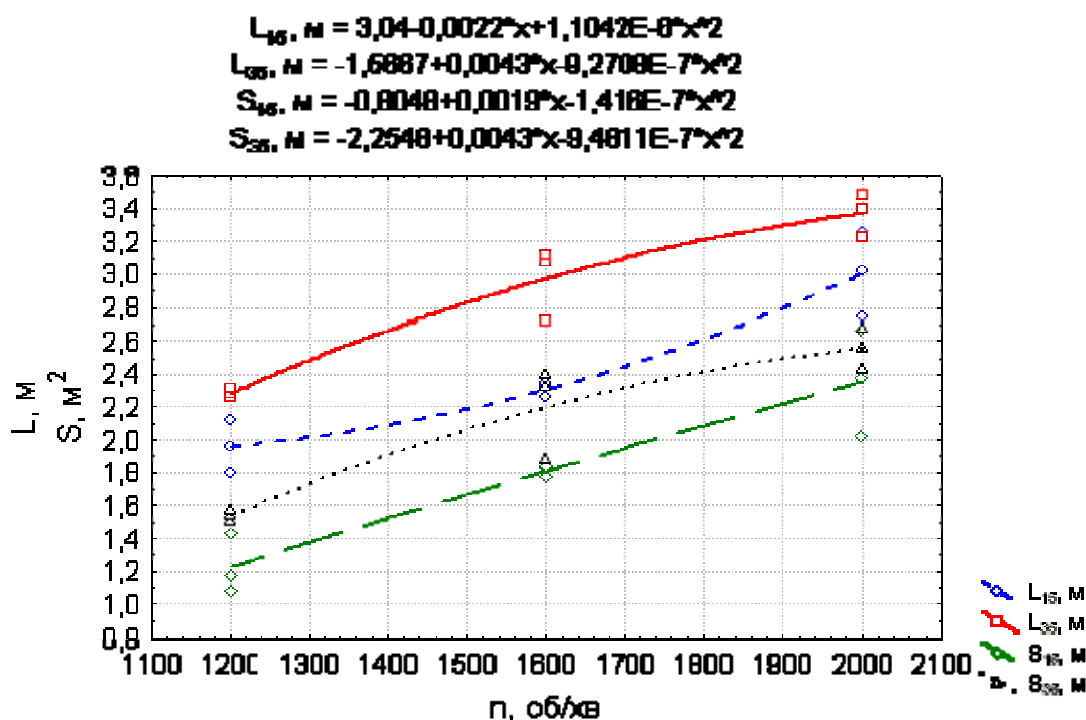
Усредненные результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты экспериментальных исследований

№ п/п	n, об/мин	t, сек	$\beta=35^\circ$			$\beta=15^\circ$		
			$L_{35}, \text{ м}$	$B_{35}, \text{ м}$	$S_{35}, \text{ м}^2$	$L_{15}, \text{ м}$	$B_{15}, \text{ м}$	$S_{15}, \text{ м}^2$
1	1200	5	1,8	0,76	1,07388	2,26	0,76	1,34832
2	1200	10	1,96	0,76	1,16934	2,24	0,78	1,37155
3	1200	15	2,12	0,86	1,43121	2,28	0,84	1,50343
4	1600	5	2,26	1	1,7741	2,72	0,88	1,87898
5	1600	10	2,32	1	1,8212	2,98	0,96	2,24573
6	1600	15	2,34	1	1,8369	3,08	0,98	2,36944
7	2000	5	2,74	0,94	2,02185	3,22	0,96	2,42659
8	2000	10	3,02	1	2,3707	3,22	0,98	2,47715
9	2000	15	3,26	1,04	2,66146	3,4	0,98	2,61562

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались в пакете программ STATISTICA 6.0.

На рис. 4 представлены графики зависимости дальности грунтометания  $L$  и площади покрытия  $S$  для  $\beta=15^\circ$  и  $\beta=35^\circ$  в зависимости от частоты вращения ротора  $n$  и соответствующие уравнения регрессии.

Рис. 4. Зависимость  $L$  и  $S$  от  $n$ 

Анализ графиков на рис. 4 показывает, что изменение дальности грунтометания  $L$  и площади покрытия  $S$  от частоты вращения ротора  $n$  носит линейный характер. При этом при увеличении угла сдвига разгрузочного окна относительно вертикальной оси  $\beta$  и частоты вращения ротора  $n$  увеличивается дальность  $L$  и площадь  $S$ .

На рис. 5, 6 и 7 представлены поверхности отклика и соответствующие регрессионные уравнения зависимости дальности грунтометания  $L$ , ширины разброса грунта  $B$  и площади покрытия  $S$ , соответст-

венно, от частоты вращения ротора  $n$  и времени работы грунтометательной машины  $t$  для угла сдвига разгрузочного окна относительно вертикальной оси  $\beta=35^\circ$ .

$$L_{35^\circ} = -1,6111 + 0,0041x + 0,0363y + 9,2708E-7x^2 + 2,625E-5xy + 0,0027y^2$$

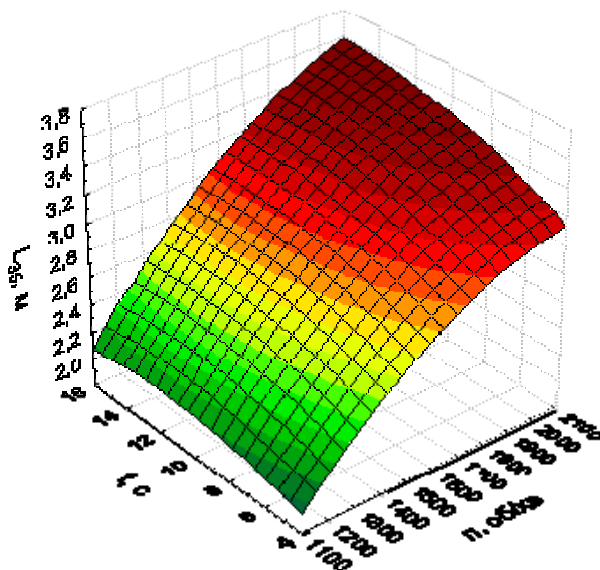


Рис. 5. Поверхность отклика зависимости  $L$  от  $n$  и  $t$

Анализ поверхности отклика на рис. 5 показывает, что увеличение частоты вращения ротора  $n$  в два раза ведет к увеличению дальности грунтометания  $L$  в 1,5-2 раза. Время работы грунтометательной машины  $t$  на малых частотах вращения ротора  $n=(1000\div 1500)$  об/мин не оказывает существенного влияния на увеличение дальности грунтометания  $L$ . При частоте  $n=2000$  об/мин увеличение времени  $t$  в три раза позволяет увеличить дальность грунтометания на 15-20%.

$$B_{35^\circ} = 0,2489 + 0,0006x + 0,0153y - 1,4583E-7x^2 + 5,0108E-19xy + 0,0005y^2$$

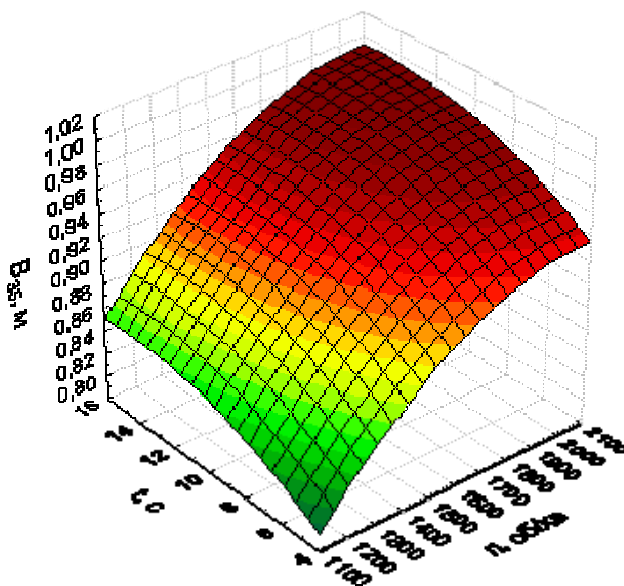


Рис. 6. Поверхность отклика зависимости  $B$  от  $n$  и  $t$

Рассматривая результаты экспериментов зависимости ширины разброса грунта  $B$  от частоты вращения ротора  $n$  и времени работы грунтометательной машины  $t$  (рис. 6) можно сделать вывод, что увеличение частоты вращения ротора  $n$  в два раза позволяет увеличить ширину разброса грунта  $B$  на 15-30% в зависимости от времени  $t$  работы грунтометательной машины. При этом увеличение времени грунтометания  $t$  в три раза при  $n=2000$  об/мин увеличивает ширину  $B$  на 10-15%, а при  $n=1000$  об/мин на 6 %.

$$S_{\text{гр.м}} = -2,3815 + 0,0041x + 0,042y + 9,4811E-7x^2 + 2,2674E-5x^2y + 0,0025y^2$$

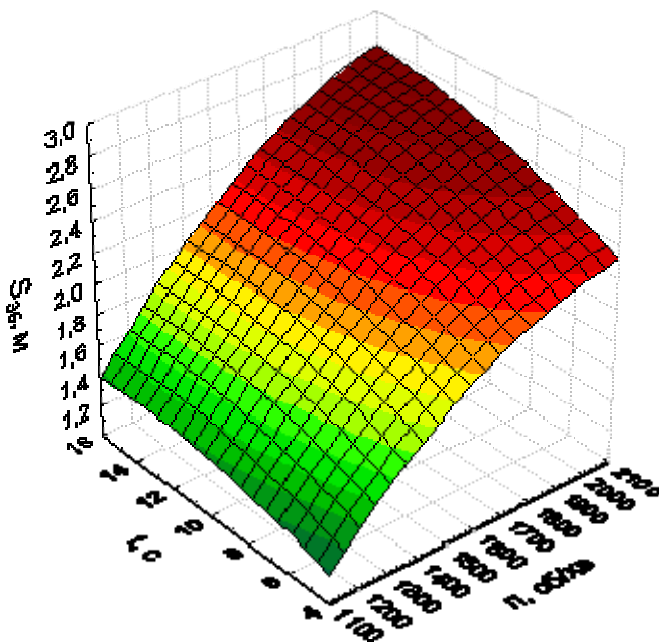


Рис. 7. Поверхность отклика зависимости  $S$  от  $n$  и  $t$

В конечном итоге, на площадь покрытия грунтом  $S$  (рис. 7) существенное влияние оказывает частота вращения ротора  $n$ . Влияние времени работы грунтометательной машины  $t$  незначительно и увеличивается по мере увеличения  $n$ .

**Выводы.** На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что увеличение угла сдвига разгрузочного окна рабочего органа грунтометательной машины с лопатками в форме брахистохроны относительно вертикальной оси ведет к повышению дальности грунтометания и площади покрытия грунтом. Для данных условий опыта определены регрессионные зависимости, описывающие изменение дальности грунтометания, ширины разброса грунта и площади покрытия грунтом от частоты вращения ротора и времени работы грунтометательной машины. Установлено, что время работы грунтометательной машины влияет незначительно на искомые параметры. А с увеличением частоты вращения ротора все искомые параметры пропорционально повышаются. Дальнейшие работы в этой об-

ласти должны быть направлены на определение оптимальных угла сдвига разгрузочного окна рабочего органа грунтометательной машины и угла раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа грунтометательной машины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Противопожарная защита и тушение пожаров (леса, торфа, лесосклады). Книга 6 / Терещенко В.В., Артемьев Н.С., Грачев В.А., Сабинин О.Ю. – М., 2006. – 294 с.

2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. - Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2013.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html).

3. Shatohyn V.M. Optimum blade profile of a groundthrower as a solution of the brachistochrone for the centrifugal force of inertia / Shatohyn V.M., Semkiv O.M., Popova A.N. // Science education a new dimension. Natural and technical science. – Budapesht, 2013. – Pp. 91-94.

4. Пат. 82322 Україна, МПК (2013.01) E02F 5/02. Робочий орган метальної машини / Ларін О.М., Семків О.М., Попова А.М., Мисюра М.І., Виноградов С.А.; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u201302440, заяв. 26.02.2013; опубл. 25.07.2013, бюл. № 14.

5. Кукибный А.А. Метательные машины [текст] / А.А. Кукибный. – М.: Машиностроение, 1964. — 196 с.

С.А. Виноградов, М.І. Мисюра, А.М. Попова, М.О. Консуров

### **Вплив параметрів грунтометальної машини на ефективність грунтометання**

У статті проведено експериментальні дослідження залежності кута зсуву розвантажувального вікна робочого органу грунтометальної машини з лопатками у формі брахістохрони щодо вертикальної осі на ефективність грунтометання. Визначено вплив частоти обертання ротора і часу грунтометання на дальність грунтометання, ширину розкиду ґрунту і площу покриття ґрунтом, отримані відповідні поверхні відгуку та регресійні залежності.

**Ключові слова:** лісова пожежа, грунтометальна машина, робочий орган, брахістохрона, грунтометання.

S.A. Vynohradov, M.I. Mysiura, A.M. Popova, M.O. Konsurov

### **Influence of ground-throwing machine's parameters on the efficiency of ground throwing**

The article experimentally studies dependence of shift angle in unloading window of ground-throwing machine's working body with blades shaped of brachistochrone to the vertical axis on ground throwing efficiency. It is determined the effect of rotor's speed and time of ground throwing on the range of ground throwing, it is obtained corresponding response surface regression and dependence.

**Keywords:** forest fire, groundthrower, working body, brachistochrone curve, ground throwing.