

*С.А. Виноградов, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
А.Н. Ларин, д.т.н., профессор, НУГЗУ,
В.Г. Баркалов, преподаватель, НУГЗУ*

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРУНТОМЕТАНИЯ

(представлено д.т.н. Куценко Л.М.)

В статье проведены экспериментальные исследования зависимости угла раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа грунтометательной машины с лопатками в форме брахистохроны 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]. На эффективность работы роторных грунтометателей с лопатками в форме брахистохроны влияют несколько параметров: количество лопаток, угол схода грунта с лопаток, угол раскрытия разгру-

зочного окна, угол сдвига разгрузочного окна относительно вертикальной оси, частота вращения ротора, влияние которых на эффективность грунтометания на сегодняшний день экспериментальным путем не изучена полно, что не позволяет предложить оптимальную конструкцию роторного грунтометателя с лопатками в форме брахистохроны.

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. Авторами в работе [6] проведены экспериментальные исследования зависимости угла сдвига разгрузочного окна рабочего органа грунтометательной машины с лопатками в форме брахистохроны относительно вертикальной оси на эффективность грунтометания. Полученные результаты, однако, не дают полного представления о влиянии параметров разгрузочного отверстия рабочего органа грунтометательной машины на эффективность грунтометания.

Постановка задачи и ее решение. В основу работы поставлена задача экспериментальным путем определить влияние угла раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа грунтометательной машины 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 на грунтометательной машины с его основными параметрами.

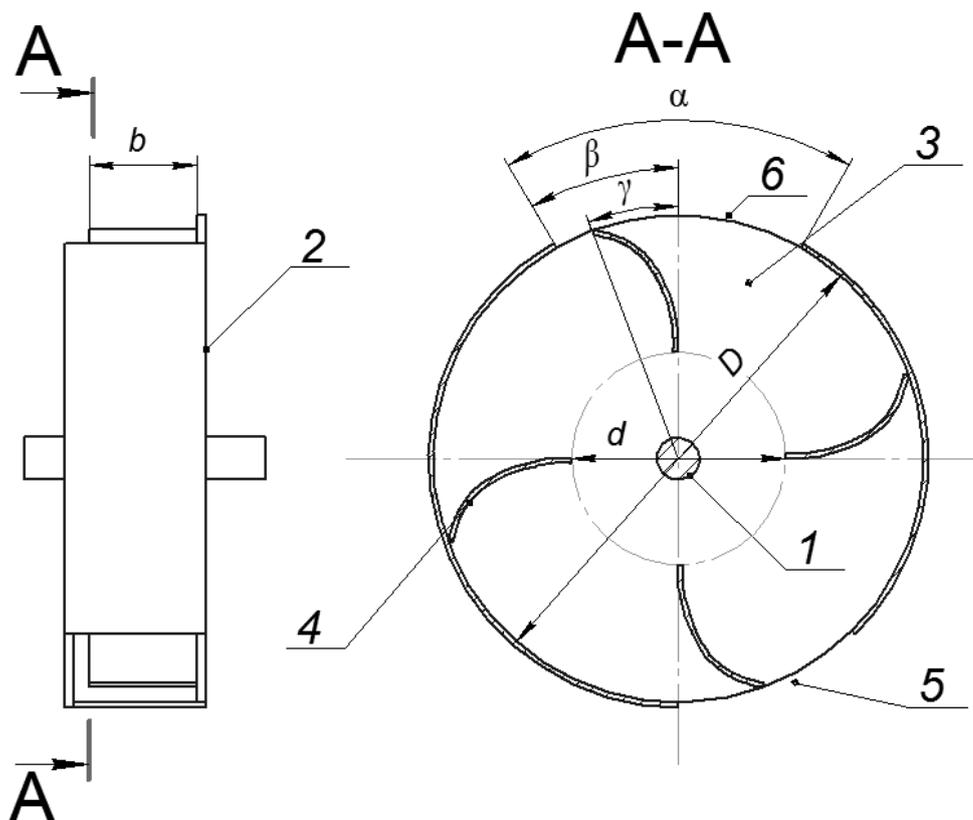


Рис. 2. Схематическое изображение рабочего органа грунтометательной машины: 1 – вал; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – лопатки; 5 – приемное отверстие; 6 – разгрузочное отверстие

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 сдвига разгрузочного окна $\beta=35^\circ$.

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 зависимости угла раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа грунтометательной машины α на эффективность грунтометания проведены экспериментальные исследования, в которых варьировалась частота вращения ротора n и время его работы t . Угол α в исследовании на основании теоретических расчетов принимался равным 90° и 110° . 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} .

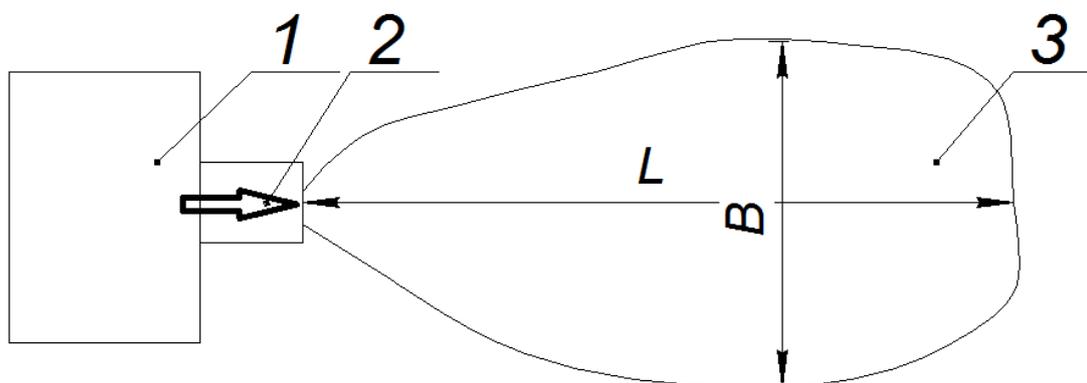


Рис. 3. Схема проведения эксперимента: 1 – грунтометательная машина; 2 – направление грунтометания; 3 – пятно грунта площадью S

Усредненные результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты экспериментальных исследований

№ п/п	n, об/мин	t, сек	$\alpha=110^\circ$			$\alpha=90^\circ$		
			L_{110} , м	B_{110} , м	S_{110} , м ²	L_{90} , м	B_{90} , м	S_{90} , м ²
1	1200	5	2,48	0,88	1,71318	2,26	0,85	1,50799
2	1200	10	2,9	0,98	2,23097	2,27	0,86	1,53248
3	1200	15	3	1,02	2,40210	2,32	0,87	1,58444
4	1600	5	3	1,06	2,49630	2,73	0,88	1,88588
5	1600	10	3,12	1,1	2,69412	3,08	0,96	2,32109
6	1600	15	3,26	1,16	2,96856	3,13	0,98	2,40791
7	2000	5	3,18	1,02	2,54623	3,22	0,96	2,42659
8	2000	10	3,28	1,12	2,88378	3,4	0,98	2,61562
9	2000	15	3,46	1,16	3,15068	3,48	0,98	2,67716

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались в пакете программ STATISTICA 6.0.

На рис. 4 представлены графики зависимости дальности грунтометания L и площади покрытия S для $\alpha=90^\circ$ и $\alpha=110^\circ$ в зависимости от частоты вращения ротора n и соответствующие уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 L_{110}, \text{ м} &= 0,8733+0,0022 \cdot x-4,7917E-7 \cdot x^2, \\
 L_{90}, \text{ м} &= -1,5667+0,0043 \cdot x-9,2708E-7 \cdot x^2, \\
 S_{110}, \text{ м} &= -2,4857+0,0056 \cdot x-1,4509E-6 \cdot x^2, \\
 S_{90}, \text{ м} &= -2,2548+0,0043 \cdot x-9,4811E-7 \cdot x^2.
 \end{aligned}$$

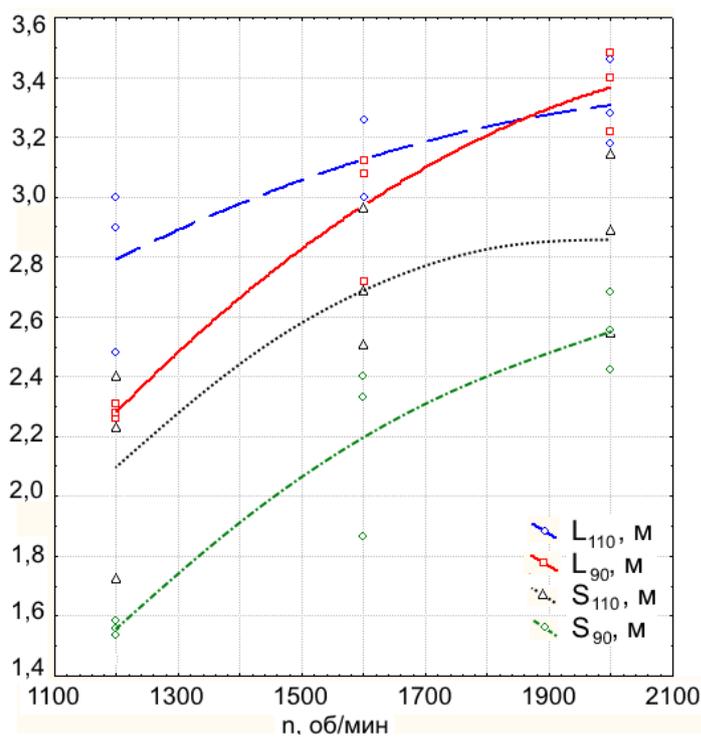


Рис. 4. Зависимость L и S от n

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 раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа α и частоты вращения ротора n увеличивается площадь S . Дальность же L становится максимальной при угле раскрытия $\alpha=90^\circ$ и частоте вращения ротора $n=2000$ об/мин.

На рис. 5, 6 и 7 представлены поверхности зависимости дальности грунтометания L , ширины разброса грунта B и площади покрытия S соответственно от частоты вращения ротора n и времени работы грунтометательной машины t для угла раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа $\alpha=110^\circ$ и $\alpha=90^\circ$.

Анализ поверхности отклика на рис. 5, а показывает, что увеличение частоты вращения ротора n в два раза ведет к увеличению дальности грунтометания L на 15%. Время работы грунтометательной машины t влияет на дальность грунтометания существенным образом только на малых частотах вращения ротора $n=(1000\div 1500)$ об/мин. Так, за 10 секунд дальность увеличивается на 20-30%. При частоте $n=2000$ об/мин увеличение времени вращения ротора не оказывает существенного влияния на увеличение дальности грунтометания L . В конечном итоге после некоторого времени, которое для всех частот не превышает 20 с, наблюдается прекращение прироста дальности. Для угла раскрытия $\alpha=90^\circ$ (рис. 5, б) отметим, что дальность грунтометания практически не зависит от времени работы, что говорит о быстром выходе машины на рабочий режим при таком угле раскрытия. К тому же, отметим значительное увеличение дальности грунтометания L (на 70-75%) при увеличении частоты вращения ротора в 2 раза.

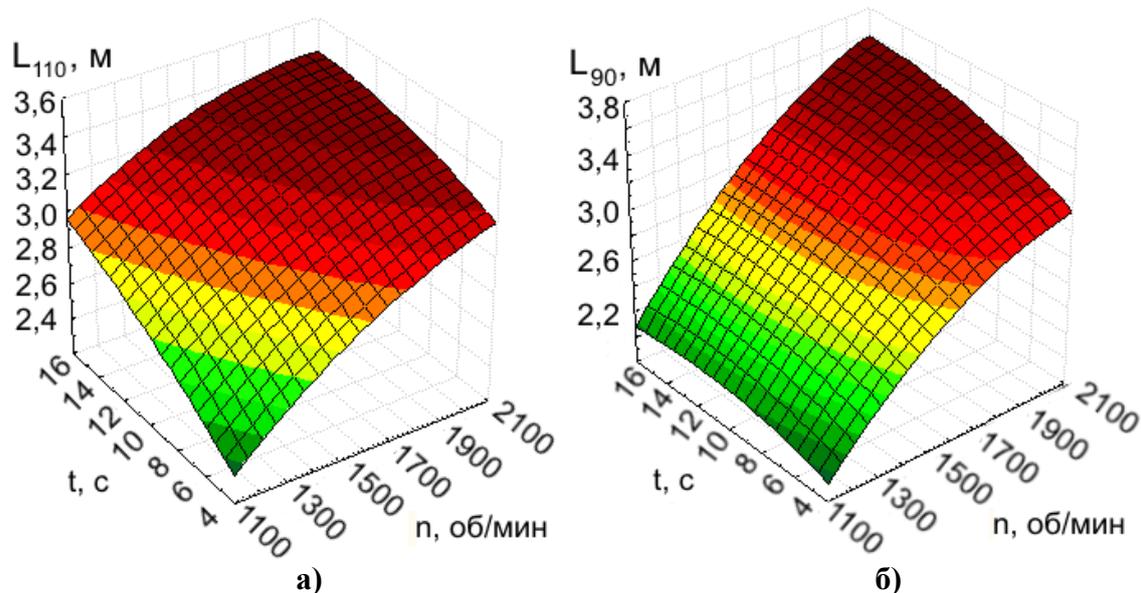


Рис. 5. Поверхность отклика зависимости L от n и t : а) $\alpha=110^\circ$; б) $\alpha=90^\circ$

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 для угла раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа $\alpha=110^\circ$ зависимость ширины разброса грунта B от частоты вращения ротора n имеет квадратичный характер и уменьшается с ростом частоты вращения ротора от $n=1500$ об/мин до $n=2000$ об/мин. Для угла же раскрытия $\alpha=90^\circ$ наблюдается возростание ширины разброса грунта B от частоты вращения ротора n максимальным значением и прекращением увеличения при $n=2000$ об/мин. При этом влияние времени работы грунтометательной машины t на ширину разброса грунта B не оказывает существенного влияния для всех случаев. Отметим однако, что величина B для $\alpha=110^\circ$ на 15-20 % больше, чем для $\alpha=90^\circ$, при прочих равных условиях.

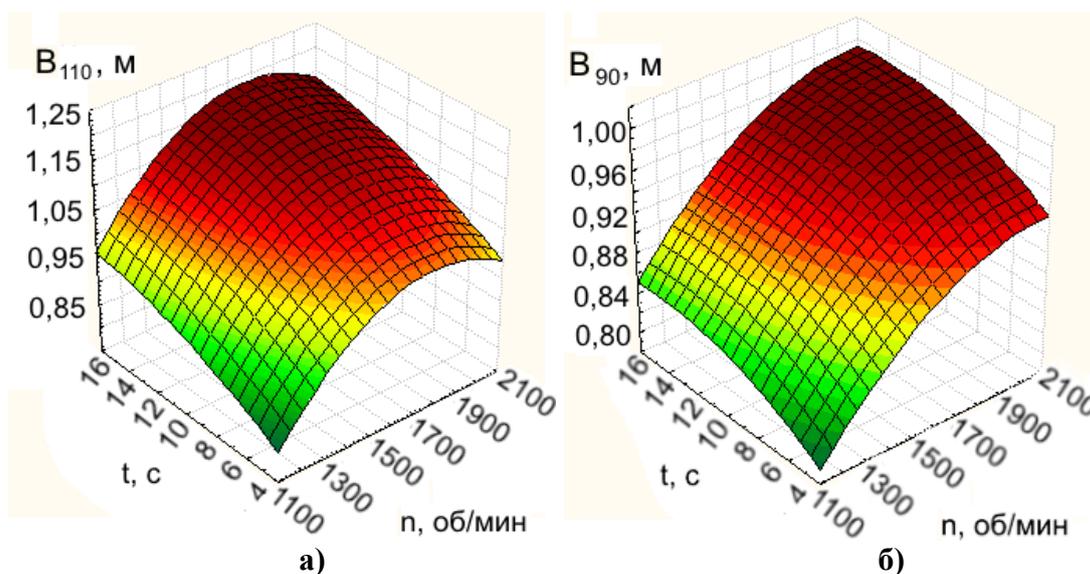


Рис. 6. Поверхность отклика зависимости B от n и t : а) $\alpha=110^\circ$; б) $\alpha=90^\circ$

В конечном итоге, можно сделать вывод, что на площадь покрытия грунтом S (рис. 7) существенное влияние оказывает частота вращения ротора n . Влияние времени работы грунтометательной машины t незначительно. Отметим, что для $\alpha=110^\circ$ при прочих равных условиях площадь покрытия грунтом S больше площади для $\alpha=90^\circ$ на 15-40% во всем диапазоне значений, что определяется, в основном, шириной разброса грунта B .

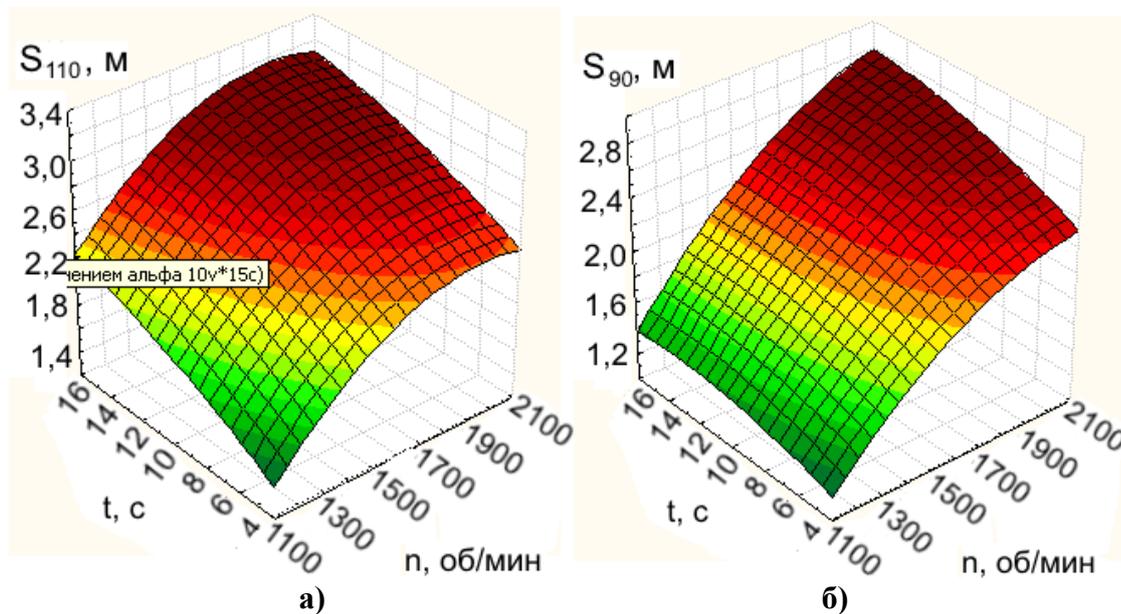


Рис. 7. Поверхность отклика зависимости S от n и t : а) $\alpha=110^\circ$; б) $\alpha=90^\circ$

Выводы. В работе экспериментальным путем определено влияние угла раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа грунтометательной машины на эффективность грунтометания. На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что выбор угла раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа определяется целевым назначением рабочего органа грунтометательной машины. Если целью является увеличение дальности грунтометания, то целесообразно использовать рабочий орган с углом раскрытия разгрузочного отверстия $\alpha=90^\circ$. Если же целью является увеличение ширины разброса грунта, то необходимо увеличивать угол α . Установлено, что увеличение частоты вращения ротора n ведет к увеличению дальности грунтометания L и площади покрытия грунтом S . Изменение времени работы грунтометательной машины t оказывает влияние лишь на дальность грунтометания L на низких частотах вращения ротора n и ведет к ее увеличению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Противопожарная защита и тушение пожаров (леса, торфа, лесосклады). Книга 6 / Терещнев 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.

3. Shatohyn V.M. Optimum blade profile of a groundthrower as a solution of the brachistochrone for the centrifugal force of inertia / V.M. Shatohyn, O.M. Semkiv, A.N. Popova // 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 металальної 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.

6. Виноградов С.А. Влияние параметров грунтометательной машины на эффективность грунтометания / С.А. Виноградов, Н.И. Мисюра, А.Н. Попова, Н.О. Консуров // Проблеми пожежної безпеки: зб. наук. праць. – Харків: НУЦЗУ. – 2014. – № 36. – С. 63-69. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol36/vinogradov.pdf>.

Получено редколлегией 11.10.2016

С.А. Виноградов, О.М. Ларін, В.Г. Баркалов

Вплив параметрів грунтометальної машини на ефективність грунтометання

У статті проведено експериментальні дослідження залежності кута розкриття розвантажувального отвору робочого органу грунтометальної машини з лопатками у формі брахістохрони 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. Vinogradov, O.M. Larin, V.H. Barkalov

Influence of parameters of groundthrower machines on the efficiency of ground throwing

The article studied experimentally depending angle of opening discharge aperture of the working body of groundthrower machines with blades shaped of brachistochrone on efficiency. It is determined the effect of rotor's speed and time of ground throwing on the range of ground throwing, obtained corresponding response surface regression and dependence.

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