

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛЕСОПОЖАРНОЙ ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ С ГИДРОПРИВОДОМ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

доктор технических наук, профессор **П.И. Попиков**

кандидат технических наук **В.П. Попиков**

соискатель **А.В. Шаров**

аспирант **А.Ф. Петков**

аспирант **А.К. Поздняков**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Во многих сферах деятельности человека, в особенности в сельском хозяйстве и лесопромышленном комплексе, обширное применение получили технологические машины и оборудование, имеющие в своем арсенале гидравлическую систему для подачи давления на используемые агрегаты для почвенной обработки, посевов, вырубков, корчевки и многих других. В статье рассмотрено использование энергосберегающего гидропривода и приведены экспериментальные данные использования его в лесопожарной грунтометательной машине. Эксперимент проводился с использованием лесохозяйственного трактора ЛХТ-55, на заднюю навеску которого навешивался лабораторный образец лесопожарной грунтометательной машины с приводом ротора-метателя от гидромотора. На задней части рамы трактора ЛХТ-55 установлен регулируемый гидронасос, на котором имеется регулятор объема подаваемой жидкости. В ходе экспериментальных исследований применялись методики, указанные в ГОСТ 20915–2011, ОСТ 70.2.16–73. При проведении экспериментов были определены основные показатели эффективности рабочих процессов лесопожарной грунтометательной машины: максимальный всплеск давления рабочей жидкости в гидроприводе за рабочий цикл P_m ; запасаемая пневмогидравлическим аккумулятором энергия за один рабочий цикл $E_{ц}$ (срабатывания предохранительного клапана); максимальная энергия, которую способен накопить пневмогидравлический аккумулятор с данными параметрами на пог. км или за смену $E_{общ}$; средняя дальность выброса грунта $L_{ср}$ и толщина слоя грунта в зависимости от дальности выброса T . Большое количество выбранных определяющих факторов позволило изобразить графически полученные данные и провести визуальный анализ для получения наиболее эффективных режимов работы лесопожарной грунтометательной машины с энергосберегающим гидроприводом. В работе приведено обоснование новой конструкции лесопожарной грунтометательной машины с энергосберегающим гидроприводом. Получены зависимости показателей эффективности рабочих процессов от конструктивных и технологических параметров лесопожарной грунтометательной машины.

Ключевые слова: грунтометательная машина, энергосберегающий гидропривод, дальность выброса грунта, гидромотор, гидроаккумулятор

INFLUENCE OF OPERATING MODES OF FOREST FIRE SOIL-THROWING MACHINE WITH HYDRAULIC DRIVE ON EFFICIENCY INDICATORS

DSc (Engineering), Professor **P.I. Popikov**

PhD (Engineering) **V.P. Popikov**

external PhD student **A.V. Sharov**

post-graduate student **A.F. Perkov**

post-graduate student **A.K. Pozdnyakov**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

Many areas of human activity, in particular, agriculture and the timber industry, use technological machines and equipment having in their arsenal a hydraulic system for supplying pressure to the used units for soil cultivation, sowing, cutting, rooting out and many others. The article discusses the use of an energy-saving hydraulic drive. It provides experimental data on its use in a forest fire soil-throwing machine. The experiment was carried out using the LHT-55 forestry tractor, on the rear hitch of which a laboratory sample of a fire-fighting soil-throwing machine with a rotor-thrower drive from a hydraulic motor has been mounted. An adjustable hydraulic pump is installed on the rear frame of LHT-55 tractor, on which there is a regulator of the volume of supplied fluid. In the course of experimental studies we used the methods, specified in State Standard 20915–2011, Industrial Standard 70.2.16–73. During the experiments, the main indicators of the efficiency of forest fire-fighting soil-throwing machine have been determined: the maximum surge in the pressure of the working fluid in the hydraulic drive for the duty cycle P_m ; the energy stored by the pneumohydraulic accumulator in one working cycle P_m (operation of the safety valve); the maximum energy that a pneumohydraulic accumulator with these parameters is able to accumulate per line kilometer or per shift E_{av} ; average range of the soil throwing L_{av} and the thickness of the soil layer depending on the distance of throw T . A large number of selected determining factors made it possible to depict graphically obtained data and conduct a visual analysis to obtain the most effective operating modes of a forest fire soil-throwing machine with an energy-saving hydraulic drive. The paper presents the rationale for the new design of a forest fire soil-throwing machine with an energy-saving hydraulic drive. The dependences of the efficiency indicators of working flows on the design and technological parameters of a forest fire soil-throwing machine have been obtained.

Keywords: soil-throwing machine, energy-saving hydraulic drive, distance of soil throwing, hydraulic motor, hydraulic accumulator

Введение

Лесной массив выделяется из очертаний нашей планеты. Сохранение и поддержание лесной экосистемы в актуальном состоянии – это одна из важнейших задач, стоящих перед человечеством. По многолетнему опыту можно сказать, что лесной пожар обычно наблюдается только тогда, когда он уже распространился на большую площадь, что делает его контроль и остановку трудными и даже невозможными [1]. Лесной пожар возникает как в дикой природе, так и в местах обитания человека. Ожесточенность распространения и сложный характер борьбы с огнем в лесном массиве в основном определяют виды лесных культур, природо-

пользование, климатические условия и рельеф местности. Данные факторы показывают, насколько сложной и длительной будет борьба с огнем, сколько гектар зеленых насаждений будет уничтожено. Законодательство Российской Федерации закрепляет правила природопользования, но огромные территории и зачастую отдаленные районы, наполненные легко воспламеняемыми и быстро горючими материалами, такими как сухие листья и ветви, идеально подходят для использования в качестве источника возгорания. Работы по созданию минерализованных полос для борьбы с неконтролируемыми лесными пожарами в лесопромышленном комплексе производятся как предупреди-

тельная мера с помощью агрегатов с пассивными и активными рабочими органами. Когда используемый агрегат оборудован активным рабочим органом, в том числе почвенной фрезой, то появляется возможность, кроме пассивного способа тушения, перейти и на активное направление почвогрунта в зону возгорания [2]. Используемые при тушении лесных пожаров грунтометы помимо преимуществ имеют обширный ряд недостатков, в том числе низкую поступательную скорость, высокие энергетические показатели, большие динамические нагрузки, высокое сопротивление в ходе движения агрегата. С каждым годом проводятся теоретические и экспериментальные исследования, происходит совершенствование и оптимизация конструкций. В ходе оптимизации конструктивных особенностей грунтометательной техники снижению энергозатрат при эксплуатации и, как следствие, уменьшению расхода топлива не придавалось значения по сравнению с другими проблемами [3–5]. На сегодняшний день динамика повышения стоимости нефтепродукта отражает необходимость снижения потребления энергии при выполнении противопожарных работ в лесопромышленном комплексе и повышения эффективности работ.

В последние годы обширное применение в конструкциях грунтометов получил гидропривод.

Цель исследования – совершенствование рабочих процессов при прокладке минерализованных полос и тушении кромки огня низовых лесных пожаров за счет уменьшения динамической нагрузки и энергоемкости новой лесопожарной грунтометательной машины с энергосберегающим гидроприводом.

Материалы и методы

Задача по совершенствованию рабочих процессов при прокладке минерализованных полос и тушении кромки огня низовых лесных пожаров решается за счет обоснования новой конструкции лесопожарной грунтометательной машины с энергосберегающим гидроприводом [6]. Это достигается тем, что лесопожарной грунтометательной машине с энергосберегающим гидроприводом, включающей раму 1 с механизмом навески 2, кожух-рыхлитель 6 с лемехом 7, имеющий расположенные симметрично с двух сторон окна 8 для выброса

грунта, ротор-метатель 4 с приводом от гидромотора 11, снабженный лопатками 3 для отбрасывания грунта в сторону, предохранительные ножи 9, гидромотор 11 сообщается через распределитель 12 и напорную гидролинию 13 с гидроаккумулятором 14, окна в кожухе-рыхлителе выполнены полуовальной формы без передней стенки, кромки лопаток ротора-метателя выполнены в виде рубящих ножей, а кожух-рыхлитель снабжен опорной лыжей 10 (рис. 1).

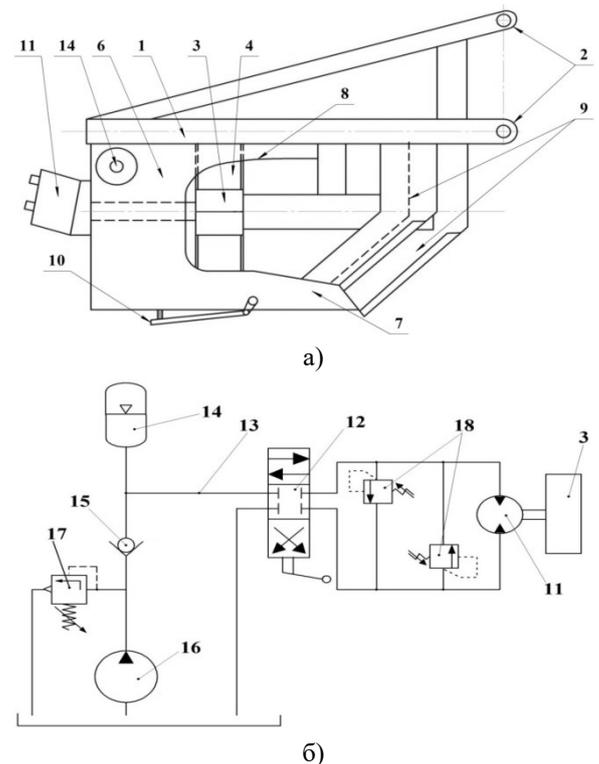


Рис. 1. Конструктивная (а) и гидравлическая (б) схемы лесопожарной грунтометательной машины с энергосберегающим гидроприводом [6]

При встрече с препятствием предохранительные клапаны 18 не срабатывают, а энергия накапливается в гидроаккумуляторе, которая после преодоления препятствия возвращается в гидросистему и обеспечивает более быстрый разгон ротора.

Согласно патенту [6] и теоретическим исследованиям [7] изготовлен опытный образец лесопожарной грунтометательной машины с энергосберегающим гидроприводом и проведены полевые испытания. Готовый опытный образец лесопожарной грунтометательной машины представлен на

рис. 2. Конструкция опытного образца лесопожарной грунтометательной машины состоит из защитного кожуха-рыхлителя, предохранительных черенковых ножей с тупым углом вхождения в почву, окон для выброса грунта, рамы, фрезерного рабочего органа с тремя подвижными лопатками, корпуса с закреплённой на нём верхней тягой, кожухов, позволяющих локализовать выброс грунта исключительно в окна, гидравлического мотора 1 марки 11М-20, закреплённого на задней части кожуха-рыхлителя, гидроаккумулятора 2, рукавов высокого давления 3.



Рис. 2. Опытный образец лесопожарной грунтометательной машины 1 – гидромотор; 2 – пневмогидроаккумулятор; 3 – рукава высокого давления [собственные исследования]

Для привода гидромотора ротора лесопожарной грунтометательной машины на задней части рамы трактора ЛХТ-55 установлен регулируемый гидронасос 11Д-20 (рис. 3). Гидронасос 11Д-20 имеет корпус 1, регулятор объема подаваемой жидкости 2; рычаг изменения направления движения жидкости 3; приводной вал 4, соединенный с редуктором привода трелевочной лебедки трактора.

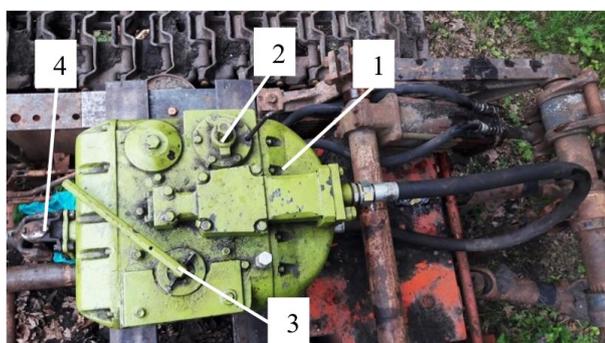


Рис. 3. Установка регулируемого гидронасоса марки 11Д-20 на трактор ЛХТ-55 [собственные исследования]

В перспективе на лесопожарной грунтометательной машине рекомендуются современные нерегулируемые аксиально-поршневые гидронасос и гидромотор серии 310.112.00.06 отечественного производства. Гидронасос 11Д-20 позволяет варьировать частоту вращения гидромотора, такая конструкторская особенность дает возможность наиболее точно снять показания числа оборотов активного рабочего органа [8–10]. Гидроаккумулятор, в свою очередь, предназначен для накопления энергии сжатого газа при преодолении препятствий и для сглаживания пульсации давлений при рабочих режимах лесопожарной грунтометательной машины. В разработанной конструкции использовался пневмогидравлический аккумулятор серии А5579-0.

Результаты и обсуждение

За показатели эффективности рабочих процессов лесопожарной грунтометательной машины приняты: максимальный всплеск давления рабочей жидкости в гидроприводе за рабочий цикл P_m ; запасаемая пневмогидравлическим аккумулятором энергия за один рабочий цикл $E_{ц}$ (срабатывания предохранительного клапана); максимальная энергия, которую способен накопить пневмогидравлический аккумулятор с данными параметрами на пог. км или за смену $E_{общ}$; средняя дальность выброса грунта $L_{ср}$ и толщина слоя грунта в зависимости от дальности выброса T [11, 12].

С учетом проведенного полнофакторного эксперимента (ПФЭ) для каждого критерия эффективности были получены следующие аналитические выражения:

$$E_{ц}(V_{ПГА}, P_{ПГА}) = 125,46 \times V_{ПГА}^2 + 7,36 \times P_{ПГА}^2 + 0,27 \times V_{ПГА} \times P_{ПГА} - 6,14 \times V_{ПГА} - 0,2 \times P_{ПГА} + 54,99; \quad (1)$$

$$P_m(V_{ПГА}, P_{ПГА}) = 0,76 \times V_{ПГА}^2 - 0,36 \times P_{ПГА}^2 - 0,02 \times V_{ПГА} \times P_{ПГА} + 0,12 \times V_{ПГА} + 0,01 \times P_{ПГА} + 5,03; \quad (2)$$

$$E_{общ}(V_{ПГА}, P_{ПГА}) = 8,16 \times V_{ПГА}^2 + 7,21 \times P_{ПГА}^2 + 0,54 \times V_{ПГА} \times P_{ПГА} + V_{ПГА} - 0,31 \times P_{ПГА} - 38,88; \quad (3)$$

$$E_{\text{общ}}(V_{\text{ПГА}}, P_{\text{ПГА}}) = V_{\text{ПГА}} P_{\text{ПГА}} \ln \frac{49,5}{P_{\text{ПГА}}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{ПГА}}$ имеет размерность литры, $P_{\text{ПГА}}$ – МПа, $E_{\text{ц}}$ – Дж, $P_{\text{м}}$ – МПа, $E_{\text{общ}}$ – кДж.

Эти выражения нужны для быстрой оценки энергосберегающего гидропривода. Для удобства восприятия и визуального анализа полученные закономерности $E_{\text{ц}}(V_{\text{ПГА}}, P_{\text{ПГА}})$, $P_{\text{м}}(V_{\text{ПГА}}, P_{\text{ПГА}})$ и $E_{\text{общ}}(V_{\text{ПГА}}, P_{\text{ПГА}})$ были отражены в виде поверхностей отклика (рис. 4).

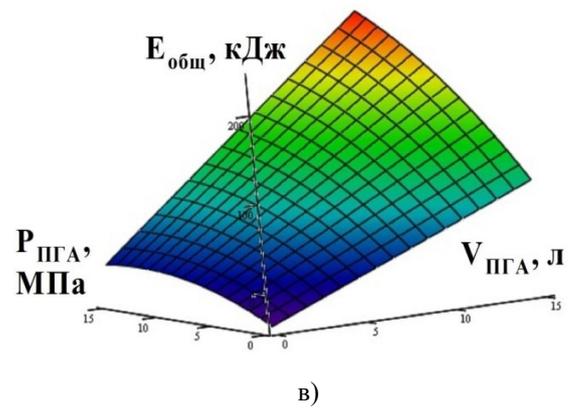
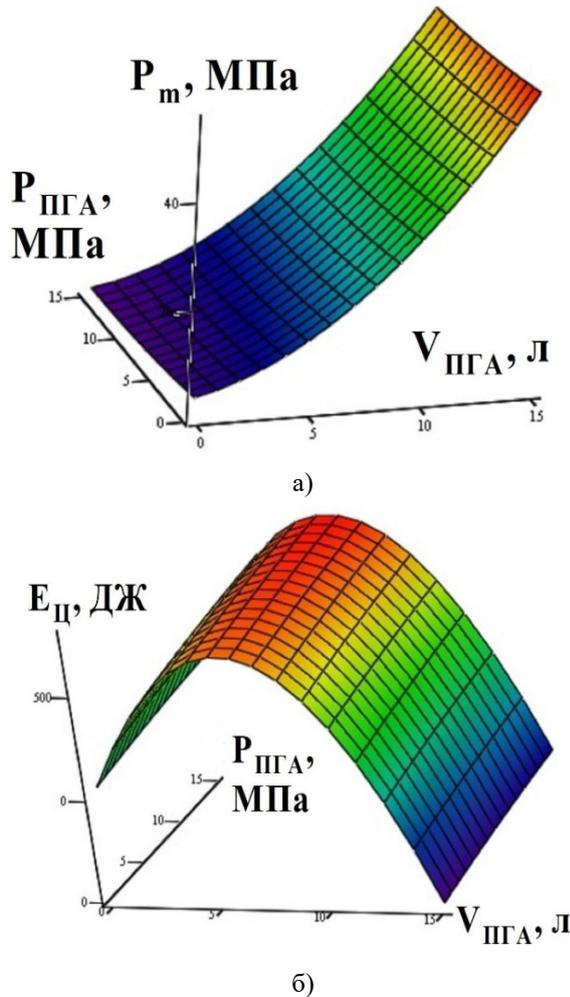


Рис. 4. Поверхности отклика к оптимизации параметров $P_{\text{м}}$, $E_{\text{ц}}$, $E_{\text{общ}}$ [собственные исследования]

При оптимальных значениях предварительной зарядки $P_{\text{ПГА}}$ и объема гидроаккумулятора $V_{\text{ПГА}}$ энергосберегающий гидропривод обеспечивает: запаасаемую за рабочий цикл энергию $E_{\text{ц}}$ не менее 15 кДж; максимальный всплеск давления в гидросистеме $P_{\text{м}}$ не более 15 МПа; максимальную энергию $E_{\text{общ}}$ не менее 3000 кДж.

Общая оптимальная область занимает значительную долю факторного пространства, что говорит нам о надежности разработанного энергосберегающего гидропривода, а также широком диапазоне вариации параметров $V_{\text{ПГА}}$, $P_{\text{ПГА}}$ (на 1...2 л и на 0,5...1 МПа соответственно) в процессе эксплуатации, при которых эффективность энергосберегающего гидропривода остается оптимальной.

Зависимости средней дальности выброса грунта $L_{\text{ср}}$ от частоты вращения гидромотора привода ротора представлены на рис. 5. При проведении экспериментов частота вращения вала гидромотора привода ротора изменялась с помощью регулируемого насоса в диапазоне 4-10 с^{-1} с шагом интервала 2 с^{-1} .

Анализ полученных зависимостей показал, что при частоте вращения гидромотора привода ротора 8-10 с^{-1} средняя дальность выброса грунта составляет 17 м.

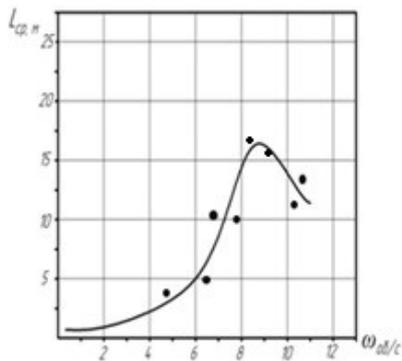


Рис. 5. Зависимость средней дальности выброса грунта L_{cp} от частоты вращения гидромотора привода ротора [собственные исследования]

При меньших значениях частоты вращения гидромотора привода рабочего органа наблюдается значительное снижение основных параметров качества технологического процесса и КПД. Получены зависимости средней дальности выброса грунта L_{cp} от величины заглабления кожуха-рыхлителя $h_{кр}$ (рис. 6). Глубина хода кожуха-рыхлителя устанавливалась при помощи опорной пластины в интервале 10-25 см с шагом интервала в 5 см.

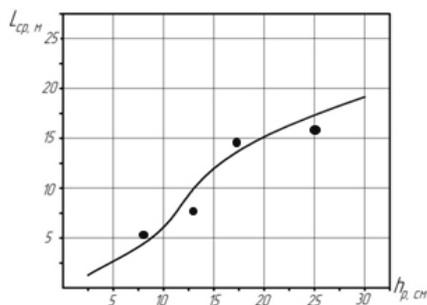


Рис. 6. Зависимости средней дальности выброса грунта L_{cp} от величины заглабления кожуха-рыхлителя [собственные исследования]

Максимальные значения дальности выброса грунта, равные 15-17,5 м, получены при значениях величины заглабления кожуха-рыхлителя, равных 20-25 см. При уменьшении величины заглабления кожуха-рыхлителя показатели эффективности технологического процесса работы орудия снижаются и не могут обеспечить требуемую дальность выброса грунта и толщину слоя грунта для тушения кромки огня.

При проведении экспериментальных исследований получены зависимости толщины слоя

грунта и средней дальности выброса грунта от производительности ротора-метателя (рис. 7, 8).

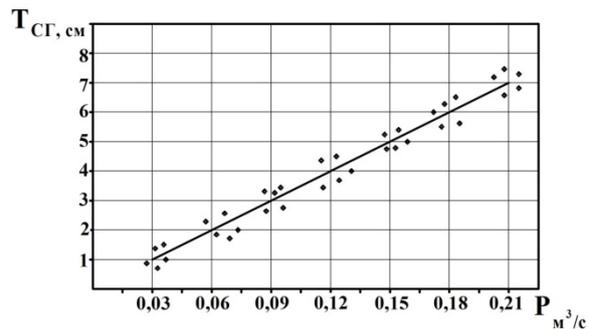


Рис. 7. Зависимость толщины слоя грунта от производительности ротора-метателя [собственные исследования]

Производительность ротора-метателя зависит от переменных факторов, которые получали за счет изменения заглабления кожуха-рыхлителя, скорости агрегата, частоты вращения ротора-метателя. Из полученных графиков следует, что эффективная толщина слоя грунта, равная 6-8 см, необходимая для тушения кромки огня, получена при производительности ротора-метателя 0,18-0,21 m^3/c и средней дальности выброса грунта 5,5-7 м.

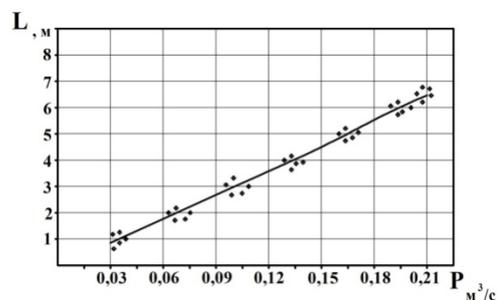


Рис. 8. Зависимость средней дальности выброса грунта от производительности ротора-метателя [собственные исследования]

Установлено, что при встрече с препятствием накапливается энергия в гидроаккумуляторе, которая после преодоления препятствия возвращается в гидросистему и обеспечивает более быстрый разгон ротора, при этом длина огреха снижается на 0,8-1,1 м, поэтому длина эффективной полосы с новым энергосберегающим гидроприводом увеличивается на 16-22 %.

Выводы

Установлено, что при оптимальных значениях предварительной зарядки $P_{ПГА}$ и объеме гидроаккумулятора $V_{ПГА}$ энергосберегающий гидропривод обеспечивает: запасаемую за рабочий цикл преодоления препятствия энергию $E_{ц}$ не менее 15 кДж; максимальный всплеск давления в гидросистеме P_m не более 15 МПа; максимальную энергию $E_{общ}$ не менее 3000 кДж. При частоте вращения гидромотора привода ротора 8-10 с⁻¹ средняя дальность выброса грунта составляет 17 м. Максимальные значения дальности выброса грунта, равные 15-17,5 м, получены при значениях величины заглубления

кожуха-рыхлителя, равных 20-25 см. Эффективная толщина слоя грунта, равная 6-8 см, необходимая для тушения кромки огня, получена при производительности ротора-метателя 0,18-0,21 м³/с и средней дальности выброса грунта 5,5-7 м. При встрече с препятствием в гидроаккумуляторе накапливается энергия, которая после преодоления препятствия возвращается в гидросистему и обеспечивает более быстрый разгон ротора, при этом длина огреха снижается на 0,8-1,1 м, поэтому длина эффективной полосы с новым энергосберегающим гидроприводом увеличивается на 16-22 %.

Библиографический список

1. Теоретические исследования рабочего процесса лесного пожарного грунтомета с энергосберегающим приводом / П. И. Попиков, П. Н. Щерблякин, А. В. Шаров [и др.] // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : матер. междунар. науч.-практ. конференции. – Воронеж, 2018. – С. 151–156.
2. Малуков, С. В. Анализ путей обеспечения энергосбережения при работе лесопожарных агрегатов / С. В. Малуков, С. С. Бубнов, А. А. Аксенов // Воронежский научно-технический вестник. – 2019. – № 3 (29). – С. 118–123.
3. Комбинированный лесопожарный грунтомет и рекомендации по его применению / И. М. Бартев, М. В. Драпалюк, П. Э. Гончаров [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84 (10). – С. 327–336. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/26.pdf>.
4. Modern designs of forest fires machines for soil extinguishment of fire / I. M. Bartenev, S. V. Malyukov, M. A. Gnusov [et al.] // Engineering and earth sciences: applied and fundamental research (isees 2018). – Grozni, 2018. – P. 48–53.
5. Mikulas, M. Forest fires extinguishing using suitable fire-fighting equipment / M. Mikulas // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1001. – P. 318–323. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.318.
6. Патент № 196851 РФ, МПК А62С 27/00, Е02F 3/18. Лесопожарная грунтометательная машина с энергосберегающим гидроприводом : № 2019142070 ; заявл. 16.12.2019 ; опубл. 18.03.2020 / П. И. Попиков, П. Э. Гончаров, Д. С. Ступников, А. В. Шаров ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова». – Бюл. № 8. – 8 с.
7. Перспективные конструкции противопожарных грунтометов / П. Э. Гончаров, П. И. Попиков, М. А. Гнусов, Н. А. Шерстюков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж, 2014. – Т. 2. – № 2-2 (7-2). – С. 54–59.
8. Румшицкий, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента : справочное руководство / Л. З. Румшицкий. – Москва : Наука, 1971. – 192 с.
9. Попиков, П. И. Исследование работы лесной почвообрабатывающей фрезы ФЛУ-0,8 с гидрообъемным приводом : дис. ... канд. техн. наук / Попиков Петр Иванович. – Воронеж, 1973. – 184 с.
10. Kozlowski, T. T. Soil Compaction and Growth of Woody Plants / T. T. Kozlowski // Scandinavian Journal of Forest Research. – 1999. – № 14 (6). – P. 596–619.

11. Haddock, W. H. Testing Unit for Soil Microsite Preparation / W. H. Haddock, A. E. Hassan // Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. – 1981. – № 5. – P. 1141–1148.

12. Чукичев, А. Н. Технические средства для предупреждения и тушения лесных пожаров: обзорн. информ. / А. Н. Чукичев. – Москва : ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1985. – 32 с.

References

1. Popikov P.I., Sheheblykin P.N., Sharov A.V. (et al.) *Teoreticheskie issledovanija rabochego processa lesnogo pozhnogo gruntometa s jenergosberegajushhim privodom* [Theoretical studies of the working process of a forest fire dredger with an energy-saving drive]. *Jenergojeffektivnost' i jenergosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshhestve: Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Energy Efficiency and Energy Saving in Modern Production and Society: Materials of the international scientific and practical conference]. Voronezh, 2018, pp. 151-156 (in Russian).

2. Malyukov S.V., Bubnov S.S., Aksenov A.A. (2019) *Analiz putej obespechenija jenergosberezhenija pri rabote lesopozharnyh agregatov* [Analysis of ways to ensure energy conservation during the operation of forest fire units]. *Voronezhskij nauchno-tehnicheskij vestnik* [Voronezh Scientific and Technical Bulletin], no. 3 (29), pp. 118-123 (in Russian).

3. Bartenev I.M., Drapalyuk M.V., Goncharov P.E. (et al.) (2012) *Kombinirovannyj lesopozharnyj gruntomet i rekomendacii po ego primeneniju* [Combined forest fire dredger and recommendations for its use]. *Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Political Mathematical Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University], no. 84 (10), pp. 327-336 (in Russian). URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/26.pdf>.

4. Bartenev I.M., Malyukov S.V., Gnusov M.A. (et al.) Modern designs of forest fires machines for soil extinguishment of fire. Engineering and earth sciences: applied and fundamental research (ISEES 2018). Grozni, 2018, pp. 48-53.

5. Mikulas M. (2014) Forest fires extinguishing using suitable fire-fighting equipment. *Advanced Materials Research*, Vol. 1001, pp. 318-323. doi: 10.4028 / www.scientific.net / AMR.1001.318.

6. Popikov P.I., Goncharov P.E., Stupnikov D.S., Sharov A.V. *Lesopozharnaja gruntometatel'naja mashina s jenergo-sberegajushhim gidroprivodom* [Fire-fighting soil-throwing machine with energy-saving hydraulic drive]. Patent RF, no. 196851.

7. Goncharov P.E., Popikov P.I., Gnusov M.A., Sherstyukov N.A. (2014) *Perspektivnye konstrukcii protivopozharnyh gruntometov* [Promising design of fire gage]. *Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], Vol. 2, no. 2-2 (7-2), pp. 54-59 (in Russian).

8. Rumshisky L.Z. *Matematicheskaja obrabotka rezul'tatov eksperimenta: spravocnoe rukovodstvo* [Mathematical processing of experimental results: a reference guide]. Moscow, 1971, 192 p. (in Russian).

9. Popikov P.I. *Issledovanie raboty lesnoj pochvoobratyvajushhej frezy FLU-0,8 s gidroobemnym privodom: dis. kand. tehn. nauk* [Investigation of the work of the forest tillage cutter FLU-0.8 with hydrostatic drive: PhD thesis]. Voronezh, 1973, 184 p. (in Russian).

10. Kozlowski T.T. (1999) Soil Compaction and Growth of Woody Plants. *Scandinavian Journal of Forest Research*, no. 14 (6), pp. 596-619.

11. Haddock W.H., Hassan A.E. (1981) Testing Unit for Soil Microsite Preparation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, no. 5, pp. 1141-1148.

12. Chukichev A.N. *Tehnicheskie sredstva dlja preduprezhdenija i tushenija lesnyh pozharov: obzorn. inform* [Technical means for the prevention and suppression of forest fires: a review]. Moscow, 1985, 32 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Попиков Петр Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: popikovpetr@yandex.ru.

Попиков Виктор Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: viktorpopikov@yandex.ru.

Шаров Андрей Викторович – соискатель кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: androsharo@yandex.ru.

Петков Александр Федорович – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru.

Поздняков Антон Константинович – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: mcak74@gmail.com.

Information about authors

Popikov Petr Ivanovich – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: popikovpetr@yandex.ru.

Popikov Viktor Petrovich – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: viktorpopikov@yandex.ru.

Sharov Andrey Viktorovich – applicant for the degree, Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: androsharo@yandex.ru.

Petkov Aleksandr Fedorovich – post-graduate student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru.

Pozdnyakov Anton Konstantinovich – post-graduate student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: mcak74@gmail.com.