



УДК 630\*432.31

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.61

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГРУНТА СФЕРИЧЕСКИМИ НОЖАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГРУНТОМЕТОВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

*В.Я. Шапиро<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.*

*О.И. Григорьева<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук, доц.*

*И.В. Григорьев<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.*

*М.Ф. Григорьев<sup>2</sup>, ст. преп.*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Институтский пер, д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;  
e-mail: tlzp@inbox.ru

<sup>2</sup>Якутская государственная сельскохозяйственная академия, ш. Сергеляхское,  
3-й км, д. 3, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677007; e-mail: silver73@inbox.ru

Борьба с лесными пожарами – актуальная проблема для лесного хозяйства и арендаторов лесных участков. Большинство возникающих лесных пожаров являются низовыми, которые можно ликвидировать с помощью засыпки кромки пожара грунтом. Лесные почвогрунты отличаются от почв сельхозугодий и грунтов, с которыми работает строительная отрасль, имеют ярко выраженную слоистую структуру из нескольких органических и одного или нескольких минеральных слоев с характерными физико-механическими свойствами. Эту особенность почвогрунтов необходимо учитывать при проектировании приводов и рабочих органов технологического оборудования грунтометов, которые применяют при тушении пожаров в лесах. При использовании комбинированных конструкций грунтометов верхний слой подстилки снимают плоскими ножами, расположенными на роторе, после чего основную массу грунта, необходимую для эффективного метания в направлении кромки лесного пожара, разрушают и разрыхляют с помощью сферических ножей. Одна из основных проблем, возникающих при взаимодействии сферического ножа с массивом грунта, – определение скорости сближения рабочего органа с поверхностью почвы, поскольку при движении грунтомета частицы грунта, обладающего определенными физико-механическими свойствами, входят в контакт с рабочими органами и возникают силы сопротивления движению машины, что снижает ее производительность. При фрезеровании вязких и близких к пределу текучести слоев грунта для эффективной работы рабочих органов грунтомета используют режим пониженных скоростей. Нами разработана математическая модель, позволяющая на стадии теоретических исследований и проработки проектно-конструкторских решений оценивать результаты эффективной работы сферических ножей при фрезеровании слоя грунта комбинированными грунтометами для

---

*Для цитирования:* Шапиро В.Я., Григорьева О.И., Григорьев И.В., Григорьев М.Ф. Теоретическое исследование процесса разрушения массива грунта сферическими ножами при использовании комбинированных конструкций грунтометов для тушения лесных пожаров // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 61–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.61

тушения лесных пожаров с учетом различных факторов и условий реализации технологических процессов.

*Ключевые слова:* лесные пожары, способы тушения лесных пожаров, грунтомет, механика контактного разрушения.

### *Введение*

Лесные пожары представляют собой большую проблему во всем мире. Почти 90 % случаев лесных пожаров в России и в мире – это низовые пожары [11–14]. Один из наиболее перспективных способов их тушения – засыпка кромки пожара грунтом, которую можно выполнять вручную или с помощью специальных машин – грунтометов.

Вопросам обоснования параметров привода и технологического оборудования грунтометов посвящено большое количество работ [2, 5], однако до настоящего времени не учтен ряд моментов, связанных с отличием физико-механических свойств слоев лесного почвогрунта.

При использовании комбинированных конструкций грунтометов верхний слой подстилки снимается плоскими ножами, расположенными на роторе, после чего основную массу грунта, необходимую для эффективного метания в направлении кромки лесного пожара, разрушают и разрыхляют с помощью сферических ножей определенного радиуса [2]. Принципиальная схема грунтомета и конструктивные особенности работы всех его агрегатов подробно изложены в патенте РФ № 2496540 [6].

Основная проблема взаимодействия сферического ножа с массивом грунта – нахождение скорости сближения рабочего органа грунтомета с поверхностью слоя, обладающего определенными физико-механическими свойствами, поскольку именно от значений этого параметра зависит производительность технологического процесса в целом. В ряде случаев, при фрезеровании вязких и близких к пределу текучести слоев грунта, для эффективной работы рабочих органов грунтомета используют режим пониженных (до 0,5...0,6 м/с) скоростей [5].

Общие задачи механики контактного разрушения при воздействии инденторов различной формы на среду с определенными физико-механическими свойствами рассмотрены в работе [3].

Применение принципов механики контактного разрушения при фрезеровании древесной коры показало [1], что на размер разрушаемого слоя в зоне контакта существенно влияют угол резания (угол атаки фрезы), заданная сила фрезерования, свойства массива коры и другие факторы, в совокупности определяющие уровень его напряженно-деформированного состояния (НДС).

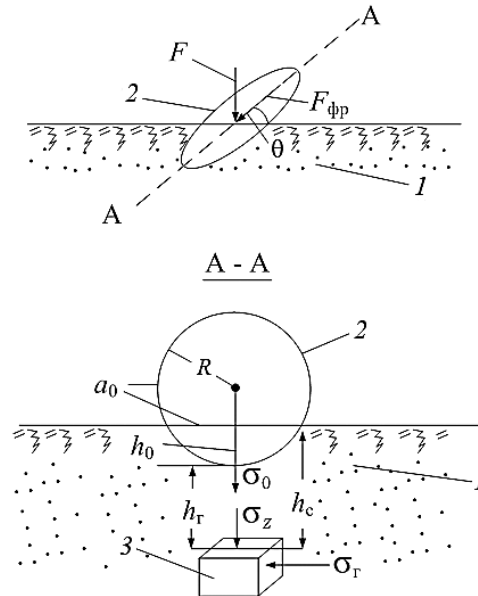
Закономерности формирования НДС массива грунта при воздействии на него в форме инденторов различных элементов трелевочных систем рассмотрены в работах [8–11], где выявлена особая роль предельных напряжений в процессе разрушения массива при реализации механизма сдвига непосредственно в зоне контакта рабочего органа с разрушаемой средой.

Цель нашего исследования – разработать математическую модель, позволяющую оценивать эффективность работы сферических ножей при фрезеровании слоя грунта комбинированными грунтометами для тушения лесных пожаров с учетом различных природно-производственных факторов.

Объекты и методы исследования

Рассмотрим схему (рис. 1) разрушения слоя грунта *I* в процессе воздействия на него сферического диска (круглого индентора) 2 радиусом *R* с углом атаки  $\theta$  на произвольный элемент массива 3.

Рис. 1. Схема взаимодействия сферического диска с массивом грунта:  $F_{\text{фр}}$  – сила действия диска (контактная сила сближения);  $F$  – вертикальная проекция силы действия диска;  $h_0$  – контактное сближение;  $h_r$  – предельное значение глубины слоя грунта;  $h_c$  – глубина срезаемого слоя грунта;  $\sigma_0$  – максимальное давление в центре контакта;  $\sigma_z$  – вертикальная компонента тензора главных напряжений



Такое представление о работе фрезерного диска с грунтом позволяет использовать принципы механики контактного разрушения в рамках модели взаимодействия круглого индентора с упругим полупространством.

В этом случае основными характеристиками процесса погружения индентора в среду являются контактное сближение  $h_0 = a_0^2/R$  и радиус контактной площадки  $a_0 = \sqrt[3]{\frac{3F_{\text{фр}}(1-\nu^2)R}{4E}}$ , на которой действует усредненное по площади начальное вертикальное давление  $\sigma_0 = \frac{F_{\text{фр}} \cos \theta}{\pi a_0^2}$ .

Здесь  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль деформации массива грунта.

Контактная сила сближения  $F_{\text{фр}}$  возрастает пропорционально сближению  $h_0^{3/2}$ , причем коэффициент пропорциональности  $k = \frac{4E\sqrt{R}}{3(1-\nu^2)}$ .

В случае, если индентор имеет массу  $M$  и движется со скоростью сближения  $V$ , то по второму закону Ньютона дифференциальное уравнение движения принимает следующий вид:

$$\frac{dh}{dt} = \sqrt{V^2 - \frac{4k}{5M}h^{5/2}}. \quad (1)$$

Максимальное сближение  $h_{\text{max}} = h_0$  достигается при  $V = \frac{dh}{dt} = 0$ .

Тогда максимальное давление в центре контакта

$$\sigma_0 = \frac{3k}{2\pi a_0 R} \left( \frac{5MV^2}{4k} \right)^{1/5}. \quad (2)$$

За пределами зоны контакта произвольный элемент массива  $Z$  испытывает соответствующее НДС с компонентами тензора главных напряжений (вертикальных  $\sigma_z$  и радиальных  $\sigma_r$ ), которые можно определить в рамках модели затухания напряжений в грунте с внутренним трением [4]:

$$\sigma_z = \frac{\sigma_0}{(z/a_0)^{n-\alpha}}; \quad \sigma_r = \alpha\sigma_z, \quad (3)$$

где  $n$  – коэффициент затухания, зависящий от формы фронта волны напряжений ( $n = 1$  – для плоского фронта напряжений,  $n = 2$  – для цилиндрического,  $n = 3$  – для сферического), для сферической фрезы принимаем  $n = 3$ ;

$\alpha$  – коэффициент бокового расширения,  $\alpha = \frac{\nu}{1-\nu}$ .

В качестве критерия разрушения принимаем условие предельного состояния, когда одна из компонент достигает предела прочности грунта на сдвиг  $\sigma_s$ . При разрушении слабых грунтов можно принять наименьшую из двух компонент ( $\sigma_r$ ) и тем самым дать оценку размеров возможной зоны разрушения снизу.

Предельное значение глубины слоя грунта под действием разрушающих напряжений определяем из соотношения

$$h_r = a_0 \left( \frac{\alpha\sigma_0}{\sigma_s} \right)^{\frac{1}{3-\alpha}}. \quad (4)$$

Суммарное значение глубины слоя фрезерования  $h_c = h_0 + h_r$ .

При этом скорость сближения

$$V = \left( \frac{2\pi R\sigma_s}{3\alpha k (5M/4k)^{1/5}} \right)^{5/2}. \quad (5)$$

Анализ соотношений (4) и (5) показывает, что на глубину разрушаемого слоя грунта и скорость сближения фрезы с ним влияют следующие основные группы параметров:

физико-механические свойства грунта, отражающие его прочностные ( $\sigma_s$ ), упругопластические ( $E$ ) и вязкие ( $\nu$ ) свойства;

условия фрезерования в виде силовой составляющей ( $F_{фр}$ ), радиуса ( $R$ ) и массы ( $M$ ) фрезы, а также угла атаки ( $\theta$ ).

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Рассмотрим влияние физико-механических свойств почвогрунта на скорость сближения. График зависимости  $V$  от безразмерного параметра  $\eta = \sigma_s/E$ , характеризующего соотношение прочностных и упругопластических свойств грунта, представлен на рис. 2, а, от коэффициента Пуассона  $\nu$ , характеризующего вязкость грунта, – на рис. 2, б.

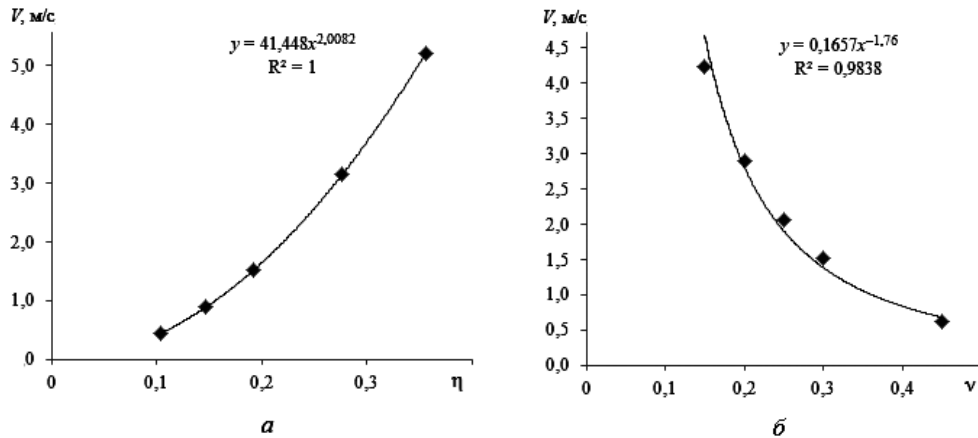


Рис. 2. Влияние безразмерного параметра  $\eta$  (а) и вязкости массива грунта  $\nu$  (б) на скорость сближения  $V$  фрезы с грунтом

Из представленного на рис. 2, а графика следует, что чем ниже значение параметра  $\eta$ , тем почвогрунт (как связная сплошная среда) слабее, а из рис. 2, б – чем выше значение  $\nu$ , тем сложнее работа фрезы. По мере приближения  $\nu$  к значениям 0,40...0,50 такой массив в механике сплошных сред более адекватно рассматривать как несжимаемую жидкость. В сложных условиях фрезерования малосвязных, водонасыщенных и вязких грунтов, когда  $\nu \geq 0,35$ , скорость фрезерования не должна превышать 1,0 м/с.

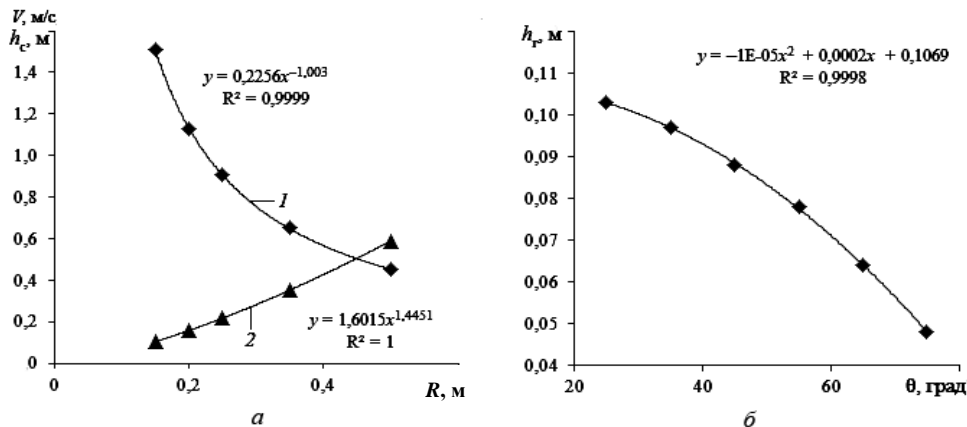


Рис. 3. Влияние радиуса фрезы  $R$  на скорость сближения  $V$  и глубину срезаемого слоя грунта  $h_c$  (а), угла атаки  $\theta$  на глубину зоны разрушения  $h_r$  (б): 1 –  $V = f(R)$ ; 2 –  $h_c = f(R)$

Особое значение в условиях фрезерования слоя грунта имеют радиус фрезы  $R$  и угол атаки  $\theta$  (рис. 3). Данные, приведенные на рис. 3, соответствуют следующим исходным параметрам расчета:  $\eta = 0,19$ ;  $\nu = 0,3$ ;  $R = 0,15$  м;  $F_{фр} = 0,59$  кН;  $V = 1,51$  м/с.

Как видно из рис. 3, а, радиус фрезы разнонаправленно влияет на исследуемые параметры: с его ростом скорость снижается по гиперболическому закону, глубина срезаемого слоя увеличивается по параболическому закону.

Представленная на рис. 3, б зависимость  $h_r$  от угла атаки фрезы  $\theta$  с высокой степенью аппроксимации функционально описывается полиномом второй степени.

Принимая во внимание, что некоторые параметры фрезерования разнонаправленно влияют на конечные результаты процесса, представляет интерес оценить совместное влияние геометрического параметра  $R$  и безразмерного параметра свойств массива  $\eta$  на скорость  $V$  и глубину среза  $h_c$  (рис. 4).

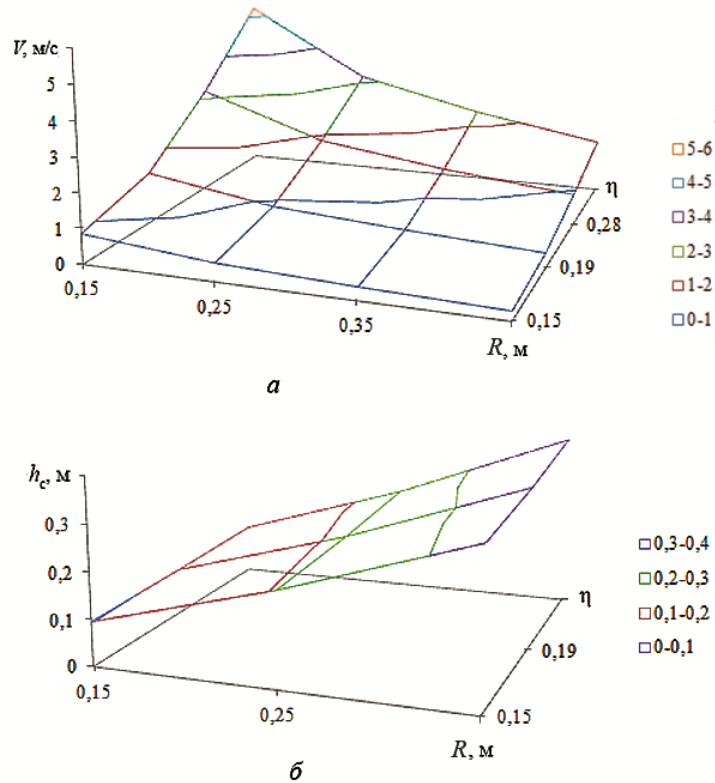


Рис. 4. Графики двумерных функций: а –  $V = f(R, \eta)$ ; б –  $h_c = f(R, \eta)$

В заданных пределах изменения аргументов  $R$  и  $\eta$  (рис. 4, а) интервал изменения  $V$  составил от 0,27 до 5,22 м/с (среднее значение  $V = 1,57$  м/с).

Необходимо отметить, что из всей совокупности  $V$  на диапазон от 0 до 3,00 м/с приходится более 70 % значений выборки, на диапазон от 0 до 1,0 м/с – около 30 %. Эти выводы хорошо согласуются с известными опытными данными. Так, о целесообразности выдерживания скоростного параметра в интервале от 1,00 до 3,50 м/с при среднестатистических условиях работы грунтометов свидетельствуют результаты экспериментальных исследований [2]. Увеличение скорости более 3,50 м/с приводит к резкому росту потребляемой мощности агрегата.

В работе [7] для двух видов грунтов (песчаных и супесчаных) диапазон изменения скорости агрегата составлял 0,28...0,67 м/с, превышение этого показателя признано нецелесообразным.

Аналогичные расчеты и оценки были произведены при изучении совместного влияния параметров  $R$  и  $\eta$  на глубину слоя фрезерования  $h_c$ . Как видно на рис. 4, б, около 80 % общего объема выборки полученных данных

практически поровну приходится на два диапазона значений  $h_c$ : 0,1...0,2 м и 0,2...0,3 м (среднее значение  $h_c = 0,22$  м). Это также хорошо согласуется с опытными данными работ [2, 5], авторы которых признают целесообразным не выходить за границы слоя фрезерования глубиной 0,2 м для эффективной работы грунтомета.

### Заключение

Предложенная математическая модель позволяет на стадии теоретических исследований и проработки проектно-конструкторских решений оценивать эффективность работы сферических ножей при фрезеровании слоя грунта комбинированными грунтометами для тушения лесных пожаров с учетом различных факторов и условий реализации технологических процессов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Гумерова О.М. Моделирование процесса разрушения коры при окорке резанием // Изв. СПбЛТА. 2010. № 193. С. 211–221.
2. Гнусов М.А. Обоснование параметров комбинированных рабочих органов грунтомета для прокладки минерализованных полос в лесу: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2014. 16 с.
3. Морозов Е.М., Зернин М.В. Контактные задачи механики разрушения. Изд. 2-е. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 544 с.
4. Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. М.: Недра, 1982. 248 с.
5. Орловский С.Н. Определение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных рабочих органов машинно-тракторных агрегатов. Красноярск: КрасГАУ, 2011. 376 с.
6. Пат. 2496540 Российская Федерация. Пожарный грунтомет-полосопрокладыватель / Бартенев И.М., Драпалюк М.В., Гнусов М.А. Оpubл. 27.10.2013, Бюл. № 30.
7. Чукичев А.Н. Технологические и теоретические основы фрезо-метательных машин для тушения лесных пожаров грунтом: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1995. 40 с.
8. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И. Влияние сдвиговых деформаций на процесс циклического уплотнения почвы // Естеств. и техн. науки. 2006. № 1. С. 174–180.
9. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И. Особенности динамического уплотнения почвы при ее циклическом нагружении // Актуальные проблемы современной науки. 2006. № 3. С. 286–293.
10. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И. Оценка процессов деформирования почвы при циклическом уплотнении // Лесн. журн. 2008. № 4. С. 44–51. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Лепилин Д.В., Жукова А.И. Моделирование уплотнения почвогрунта в боковых полосах трелевочного волокна с учетом изменчивости трассы движения // Уч. зап. ПетрГУ. 2010. № 6(111). С. 61–64.
12. Melekhov I.S. Burned Forest Area Type Classification // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia / Ed. by J.G. Goldammer, V. Furyaev. Dordrecht, Netherlands: Springer Publ., 1996. Pp. 326–330.

13. Valendik E.N. Temporal and Spatial Distribution of Forest Fires in Siberia // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia / Ed. by J.G. Goldammer, V. Furyaev. Dordrecht, Netherlands: Springer Publ., 1996. Pp. 129–138.

14. Warcup J.H. Effect of Fire on the Soil Microflora and Other Non-Vascular Plants // Fire and the Australian Biota / Ed. by A.M. Gill, R.H. Groves, I.R. Noble. Canberra: Aust. Acad. Sci. Publ., 1981. Pp. 203–214.

Поступила 27.09.17

UDC 630\*432.31

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.61

### **Theoretical Study of the Soil Mass Destruction Process by Spherical Knives when Using Combined Forest Fire-Fighting Soil-Thrower Constructions**

*V.Ya. Shapiro<sup>1</sup>, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*O.I. Grigor'eva<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

*I.V. Grigor'ev<sup>2</sup>, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*M.F. Grigor'ev<sup>2</sup>, Senior Lecturer*

<sup>1</sup>Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: tlzp@inbox.ru

<sup>2</sup>Yakut State Agricultural Academy, Sergelyakhskoe sh., Tretiy kilometr, 3, Yakutsk, 677007, Republic of Sakha, Russian Federation; e-mail: silver73@inbox.ru

Forest fire fighter is an urgent problem of forestry and forest land tenants. Most of the emerging forest fires are low, which can be brought under control by filling the fire edge with soil. Forest soils differ from soils of agricultural lands and construction industry. They have a pronounced layered structure of several organic and one or several mineral layers with characteristic physical and mechanical properties. This feature of soil should be taken into account in the design of drives and working elements of technological equipment of soil-throwers that are used to extinguish forest fires. When using combined soil-thrower constructions, the top litter layer is removed with flat knives located on the rotor. Then the main mass of soil necessary for the effective throwing in the direction of the forest fire edge is destroyed and loosened by spherical knives. One of the main problems of a spherical knife and soil mass interaction is the determination of the approach velocity of the working element to the ground surface. When soil-thrower is moving, soil particles possessing certain physical and mechanical properties contact with working elements, and resistance forces to the movement of the machine arise, which reduces its productivity. The low-speed mode is used for the effective work of the soil-thrower working elements when milling the viscous and close to the yielding point of soil layers. The authors have developed a mathematical model that allows at the stage of theoretical studies and engineering solutions evaluating the results of effective operation of spherical knives when milling a soil layer with combined soil-throwers to extinguish forest fires, taking into account various factors and conditions for the implementation of technological processes.

*Keywords:* forest fire, forest fire-fighting method, soil-thrower, contact fracture mechanics.

---

*For citation:* Shapiro V.Ya., Grigor'eva O.I., Grigor'ev I.V., Grigor'ev M.F. Theoretical Study of the Soil Mass Destruction Process by Spherical Knives when Using Combined Forest Fire-Fighting Soil-Thrower Constructions. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 61–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.61



## REFERENCES

1. Gazizov A.M., Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Gumerova O.M. Modelirovanie protsessa razrusheniya kory pri okorke rezaniem [Modelling Process of Destruction of a Bark at Cutting]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2010, no. 193, pp. 211–221.
2. Gnusov M.A. *Obosnovanie parametrov kombinirovannykh rabochikh organov gruntometa dlya prokladki mineralizovannykh polos v lesu: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Substantiation of Parameters of the Combined Working Elements of a Soil-Thrower for the Forest Fire Barriers: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Voronezh, 2014. 16 p.
3. Morozov E.M., Zernin M.V. *Kontaknyye zadachi mekhaniki razrusheniya* [Contact Problems of Fracture Mechanics]. Moscow, LIBROKOM Publ., 2010. 544 p. (In Russ.)
4. Mosinets V.N., Abramov A.V. *Razrushenie treshchinovykh i narushennykh gornyykh porod* [Destruction of Fractured and Disturbed Rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 248 p. (In Russ.)
5. Orlovskiy S.N. *Opreделение energeticheskikh i dinamicheskikh parametrov traktorov, rezhimov rezaniya aktivnykh rabochikh organov mashinno-traktornykh agregatov* [Determination of Energy and Dynamic Parameters of Tractors, Cutting Modes of Active Working Elements of Machine and Tractor Units]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk SAU Publ., 2011. 376 p. (In Russ.)
6. Bartenev I.M., Drapalyuk M.V., Gnusov M.A. *Pozharnyy gruntomet-polosoprokladnyatel'* [Fire-Fighting Soil-Thrower-Fire-Break Maker]. Patent RF, no. 2496540, 2013.
7. Chukichev A.N. *Tekhnologicheskie i teoreticheskie osnovy frezo-metatel'nykh mashin dlya tusheniya lesnykh pozharov gruntom: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Technological and Theoretical Foundations of Throwers for Forest Fires Extinction with Soil: Dr. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Saint Petersburg, 1995. 40 p.
8. Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. Vliyanie sdvigovykh deformatsiy na protsess tsiklicheskogo uplotneniya pochvy [Influence of Shear Deformations on the Process of Cyclic Soil Compaction]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences], 2006, no. 1, pp. 174–180.
9. Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. Osobennosti dinamicheskogo uplotneniya pochvy pri ee tsiklicheskom nagruzhении [Features of the Soil Dynamic Compaction during Its Cyclic Loading]. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki*, 2006, no. 3, pp. 301–309.
10. Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. Otsenka protsessov deformirovaniya pochvy pri tsiklicheskom uplotnenii [Assessment of Soil Deformation Processes under Cyclic Compaction]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2008, no. 4, pp. 44–51.
11. Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Lepilin D.V., Zhukova A.I. Modelirovanie uplotneniya pochvogrunta v bokovykh polosakh trevevochnogo voloka s uchetom izmenchivosti trassy dvizheniya [Modeling of Soil Consolidation Consistent with Trail Tractors Route Change]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Ser.: Natural and Engineering Sciences], 2010, no. 6(111), pp. 61–64.
12. Melekhov I.S. Burned Forest Area Type Classification. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Ed. by J.G. Goldammer, V. Furyaev. Dordrecht, Netherlands, Springer Publ., 1996, pp. 326–330.
13. Valendik E.N. Temporal and Spatial Distribution of Forest Fires in Siberia. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Ed. by J.G. Goldammer, V. Furyaev. Dordrecht, Netherlands, Springer Publ., 1996, pp. 129–138.
14. Warcup J.H. Effect of Fire on the Soil Microflora and Other Non-Vascular Plants. *Fire and the Australian Biota*. Ed. by A.M. Gill, R.H. Groves, I.R. Noble. Canberra, Aust. Acad. Sci. Publ., 1981, pp. 203–214.

Received on September 27, 2017