

УДК 630*432.1

М.В. Драпалюк¹, М.А. Гнусов¹, Д.Ю. Дручинин¹, В.Е. Клубничкин²**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
ПОЧВОГРУНТА С РАБОЧИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ЛЕСОПОЖАРНОГО
ГРУНТОМЕТА-ПОЛОСОПРОКЛАДЫВАТЕЛЯ**Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова¹
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)²

Рассмотрен этап взаимодействия рабочего органа лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя с грунтом. При разработке лесопожарных машин необходимо учитывать природные качества почвогрунта, геометрические особенности конструкции, а также режимы эксплуатации агрегата. Представлена методика имитационного моделирования рабочей среды при взаимодействии с рабочими органами агрегата. Рабочие органы комбинированного лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя взаимодействуют со средой в несколько этапов: вначале режущая кромка сферических дисков разрабатывает цельный грунт, отделенные почвенные пласты формируются в образующийся вал грунта, фрезы-метатели, функционирующие также в несколько этапов, производят формирование направленного потока: отделяют почвогрунт от заранее сформированного разрыхленного вала, механическим способом фрезеруя слой почвы режущей кромкой, а затем придавая механический импульс уже роторной лопаткой. Процесс отделения пласта почвогрунта в ходе выполнения работ активными рабочими органами выполняется режущими кромками рабочих органов. Обозначено, что при имитации физико-математического процесса работы грунтометательной лесопожарной машины большое значение играет учет в модели физико-механических свойств почвогрунтов, которые характеризуются гранулометрическим составом, плотностью, пористостью, влажностью, связностью, разрыхляемостью, углом естественного откоса, пластичностью, сжимаемостью, прочностью, сопротивлением сдвигу, коэффициентами трения почвогрунта о сталь и почвогрунту по почвогрунту, абразивностью, липкостью.

Ключевые слова: лесной пожар, метод дискретных элементов, имитационное моделирование, почвогрунт, фреза-метатель, сферические диски, взаимодействие плоскостей, численное интегрирование.

Введение

В последнее время во всем мире резко возросла вероятность возникновения и распространения лесных пожаров. За последние десятилетия ими уничтожены миллионы гектаров лесных массивов по всему миру. Леса являются важнейшим источником чистого воздуха на планете, их уничтожение негативно сказывается на здоровье и жизнедеятельности десятков миллионов людей и, кроме того, наносит значительный ущерб экономике многих стран. Пожар уничтожает надпочвенный покров, необходимый для защиты лесной почвы [1]. При уничтожении растительности почва становится незащищенной от высыхания и проникновения вредных микроорганизмов, что приводит к нарушению обмена питательными веществами в лесной экосистеме. В свою очередь, обильное количество выпавших осадков может вызвать наводнения и почвенную эрозию. Зола от пожара проникает в более глубокие слои почвы, создавая щелочную среду, непригодную для роста и развития растений.

В рамках решения актуальной проблемы предупреждения и ликвидации лесных пожаров в Воронежском государственном лесотехническом университете были проведены теоретические и практические научные изыскания по данному направлению [2]. Разработан экспериментальный образец лесопожарного комбинированного грунтомета-полосопрокладывателя [3]. Проведенные полевые испытания работоспособности машины включали в себя выбор движителя для разработанной конструкции. Лесопожарный комбинированный грунтомет-полосопрокладыватель навешивали на заднюю навеску трактора Т-150К и создавали минерализованную полосу с выбросом почвогрунта в двух направлениях. В целом, было от-

мечено, что конструкция образца позволяет работать с различными тракторами тягового класса 3, имеющими вал отбора мощности для передачи крутящего момента через редуктор для двух фрезерных головок-метателей (рис. 1).



**Рис. 1. Полевые испытания разработанного коллективом ученых ВГЛТУ
грунтомета-полосопрокладывателя, агрегируемого с трактором Т-150К**

С развитием технологий, позволяющих проводить разностороннее изучение различных явлений и процессов, появляется возможность имитировать взаимодействие рабочих органов разрабатываемого лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя с обрабатываемой средой еще до непосредственного создания лабораторной и экспериментальной установки. Появляется возможность изучения влияния структуры почвогрунтовых материалов на их механическое поведение при взаимодействии с рабочими органами [4-7]. Это особенно важно при реализации сложных задач, которые решаются при математическом описании работы проектируемого агрегата и, непосредственно, процесса придания механического импульса частицам почвогрунта для направленного движения на заданное расстояние при минимальных энергозатратах и оптимальных конструкторских решениях. Для описания этого процесса необходимы адекватные модели взаимодействия рабочих плоскостей рабочих органов с частицами почвогрунта и взаимодействия частиц друг с другом в процессе движения. Для решения этой задачи более предпочтительным методом является дискретный подход [4-6]. Использование данного метода позволяет получить полную визуализацию результатов исследований.

Описание взаимодействия элементов почвогрунта с рабочими поверхностями лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя

С целью теоретического исследования машины для тушения лесных пожаров разработана ее имитационная модель, позволяющая проводить компьютерные эксперименты. В ходе цикла экспериментов, реализуемых на ЭВМ, изменялся один из параметров разрабатываемого агрегата, тем самым устанавливался характер его влияния на выходные характеристики агрегата, что позволило подойти к выбору рекомендаций по определению оптимальных значений работоспособности конструкции.

Особенность рабочего процесса грунтометательной машины заключается в том, что рабочие органы не сразу выходят на требуемую глубину [7-9]. В модели этот факт учитывается требуемой величиной заглубления рабочих органов и вертикальной пондерацией в первые секунды движения агрегата. С учетом этого компьютерный эксперимент начинается после прихода грунтомета в равновесное положение.

В разрабатываемой модели для упрощения описания вводятся следующие допущения: форма почвогрунта шарообразная, плотность вокруг одного приближения почвогрунта постоянна, классическая механика лежит в основе движения элементов почвогрунта, вязкоупругий характер описывает механическое взаимодействие, рабочие органы разбиваются на треугольные поверхности для простоты расчетов [10-12].

При проведении компьютерных экспериментов рабочие органы агрегата при взаимодействии с моделируемым почвогрунтом совершают одновременно сложное поступательно-вращательное движение.

В процессе фокусирования потока почвогрунта треугольная поверхность рабочих органов взаимодействует со сферическими частицами с помощью упругих сил отталкивания или притяжения в случае связного почвогрунта, а также силы сухого и вязкого трения [13, 14]. На рис. 2 представлены возможные варианты взаимодействия сферических элементов почвогрунта *I* – с плоскостью; *II* – с ребром; *III* – с вершиной.

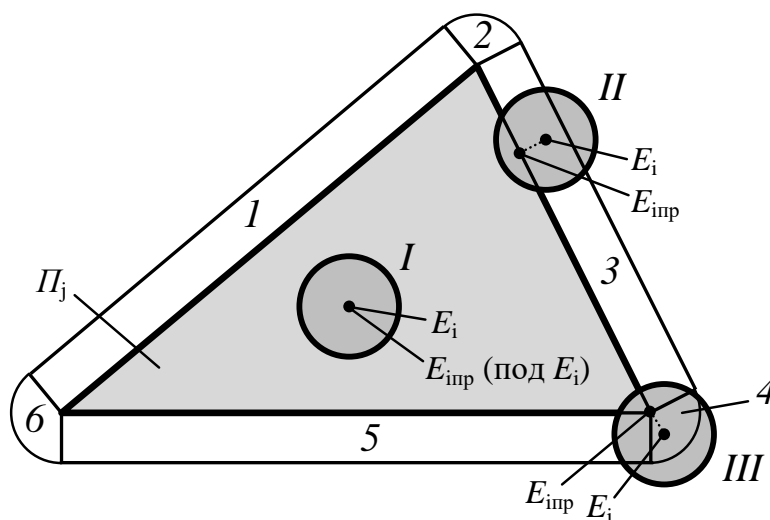


Рис. 2. Возможные варианты взаимодействия элемента почвогрунта с элементарной треугольной поверхностью рабочих поверхностей лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя

Когда частица почвогрунта оказывается в области *1*, *3* или *5*, шарообразный элемент контактирует с ребром треугольной плоскости. Если осуществляется взаимодействие с областями *2*, *4*, *6*, то контакт происходит с вершиной треугольной плоскости. Для вычисления описанных сил взаимодействия требуется математический аппарат, дающий возможность вычислить возникающие контактные взаимодействия при проведении испытаний [15]. Если взаимодействие осуществляется, то необходимо определить, с какой именно частью поч-

вогрунт контактирует: центральной *I*, ребром *II* или углом *III*. Следующим этапом является нахождение расстояния $r_{i-П_j}$ от частицы почвогрунта до контактной поверхности с целью расчета значения упругой силы отталкивания и определения направления действия силы, которое определяется отрезком $E_i-E_{iпр}$, где E_i и $E_{iпр}$ – центр сферы почвогрунта и его проекция на плоскость треугольника.

Приведен сложный алгоритм исследования взаимодействия частицы почвогрунта с внутренней поверхностью треугольника $П_j$, представленный на рис. 1 *I* вариантом. Для проверки корректности необходимо провести проверку этапов: определить проекцию центра почвогрунта (x_i, y_i, z_i) и попадание точки в плоскость или за ее пределы. Через точки вершины T_{j1}, T_{j2}, T_{j3} составляется уравнение:

$$\begin{vmatrix} x - x_{j1} & y - y_{j1} & z - z_{j1} \\ x_{j2} - x_{j1} & y_{j2} - y_{j1} & z_{j2} - z_{j1} \\ x_{j3} - x_{j1} & y_{j3} - y_{j1} & z_{j3} - z_{j1} \end{vmatrix} = 0, \quad (1)$$

где x, y, z – координаты случайной точки, которая принадлежит описанной области; x_{j1}, y_{j1}, z_{j1} – координаты, принадлежащие вершине T_{j1} ; x_{j2}, y_{j2}, z_{j2} – координаты, принадлежащие вершине T_{j2} ; x_{j3}, y_{j3}, z_{j3} – координаты, принадлежащие вершине T_{j3} .

После нахождения детерминанта получаем следующее уравнение (2):

$$Ax + By + Cz + D = 0, \quad (2)$$

где A, B, C, D – являются параметрами уравнения плоскости.

После этого уравнение плоскости целесообразно привести к плоскости путем деления параметров на длину нормального вектора $\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$ (3):

$$\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}x + \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}y + \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}z + \frac{D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = 0. \quad (3)$$

Индексом «н» обозначим нормированные параметры уравнения плоскости. Тогда уравнение плоскости принимает вид (4):

$$A_n x + B_n y + C_n z + D_n = 0. \quad (4)$$

В этом случае расстояние $r_{i-П_j}$ от центра элемента (x_i, y_i, z_i) почвогрунта до плоскости рассчитывается по следующей формуле, известной из аналитической геометрии:

$$r_{i-П_j} = |A_n x_i + B_n y_i + C_n z_i + D_n|. \quad (5)$$

Поскольку на данном этапе расчетов не все частицы почвогрунта осуществляют взаимодействие с описанной элементарной поверхностью, необходимо учесть этот факт в имитации процесса за счет исключения этих элементов с помощью условия $r_{i-П_j} > d_i/2$, что даст возможность оптимизировать процесс вычисления и значительно его ускорить [16, 17]. Для проверки *I* варианта, то есть определения взаимодействия элементов почвогрунта с внутренней поверхностью треугольной формы, нужно найти проекцию центра частицы почвогрунта на треугольную поверхность. По известным координатам нормального вектора A_n, B_n, C_n и расстоянию от точки до плоскости $r_{i-П_j}$, можно найти проекцию $E_{iпр}(x_{iпр}, y_{iпр}, z_{iпр})$ путем смещения вдоль нормального вектора (6):

$$\begin{aligned} x_{inp} &= x_i - A_n \cdot r_{i-Пj}; \\ y_{inp} &= y_i - B_n \cdot r_{i-Пj}; \\ z_{inp} &= z_i - C_n \cdot r_{i-Пj}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для определения контакта центра элемента почвогрунта E_{inp} с заданным элементарным треугольником T_j применяется метод площадей. Сумма площадей 3-х треугольников, полученных построением на вершинах исходного треугольника и точке E_{inp} , лежащей внутри треугольника, должна равняться площади всего треугольника T_j . Математически это записывается следующим образом (7):

$$S(\Delta T_{j1} T_{j2} T_{j3}) = S(\Delta E_{inp} T_{j2} T_{j3}) + S(\Delta T_{j1} E_{inp} T_{j3}) + S(\Delta T_{j1} T_{j2} E_{inp}). \quad (7)$$

В рамках данного условия, если площади составляющих треугольников $\Delta E_{inp} T_{j2} T_{j3}$, $\Delta T_{j1} E_{inp} T_{j3}$ и $\Delta T_{j1} T_{j2} E_{inp}$ в сумме будут больше площади $S(\Delta T_{j1} T_{j2} T_{j3})$ анализируемого треугольника, можно сделать вывод, что точка E_{inp} не лежит внутри треугольника T_j . Тогда принимается решение, что элемент почвогрунта не контактирует с данной элементарной поверхностью по площади, и затем производится проверка контакта с элементарной поверхностью по ребрам и вершинам элементарного треугольника.

Если определена контактная взаимосвязь элементов почвогрунта с представленной элементарной поверхностью, то происходит расчет сил упругости, сухого и вязкого трения, возникающих между элементом почвогрунта и взаимодействующими рабочими плоскостями лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя [18].

Особенности решения системы дифференциальных уравнений

В ходе имитации движения шарообразных частиц почвогрунта описывается однотипными дифференциальными выражениями производится следующим образом (8-9):

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = k_1 \frac{dx}{dt} + k_2 x + k_3 \quad (8)$$

или

$$ma = k_1 v + k_2 x + k_3, \quad (9)$$

где m – масса элемента почвогрунта; x – функция, которую необходимо найти (временная зависимость координат x, y, z); t – модельное время; k_1, k_2, k_3 – параметры системы дифференциальных уравнений; a – ускорение элемента почвогрунта (декартовы компоненты a_x, a_y, a_z); v – скорость элемента почвогрунта (соответствующая декартова компонента v_x, v_y, v_z).

Решение дифференциальных уравнений производится с помощью модифицированного метода Эйлера-Коши [11]. Решение в данном численном методе записывается следующими выражениями итерационного характера (10-11):

$$x^{\tau+1} = x^{\tau} + v^{\tau} \cdot \Delta t + \frac{k_1 v^{\tau} + k_2 x^{\tau} + k_3}{m} \cdot \frac{(\Delta t)^2}{2}; \quad (10)$$

$$v^{\tau+1} = v^{\tau} + \frac{k_1 v^{\tau} + k_2 x^{\tau} + k_3}{m} \cdot \Delta t, \quad (11)$$

где τ и $\tau+1$ – номера, текущего и последующего шагов интегрирования по времени; Δt – значение шага интегрирования по времени.

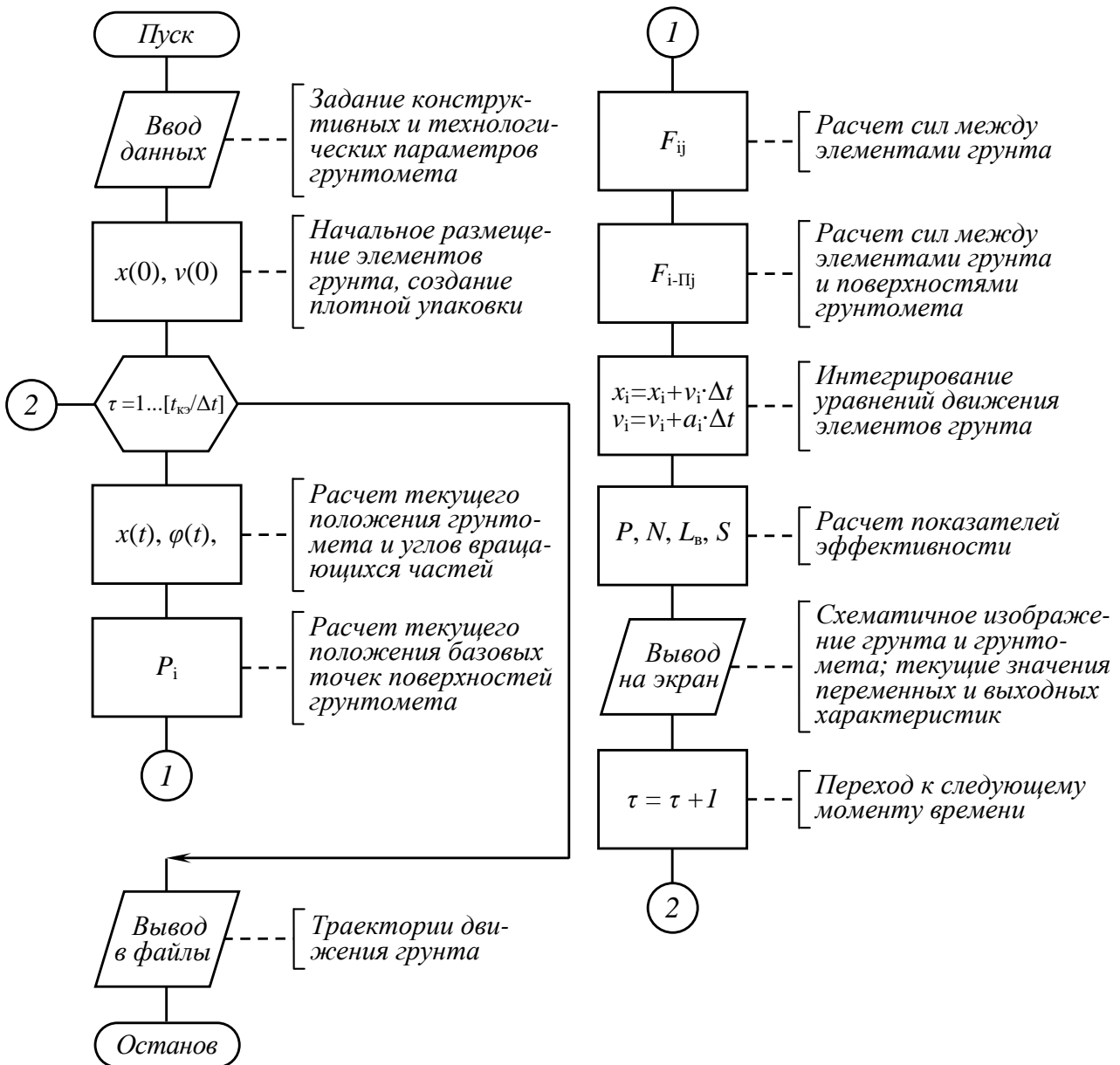


Рис. 3. Схема алгоритма моделирования машины для тушения лесных пожаров

К основной системе дифференциальных уравнений, обозначающих перемещение частиц почвогрунта, необходимо внести стартовые значения: положение в пространстве и скорость элементов в начальный момент времени [19]. Начальные условия определяются алгоритмом начального размещения элементов почвогрунта, после окончания которого все элементы образуют случайную плотность слоя, имеют нулевые декартовы компоненты скорости и оседают в нижнюю часть моделируемого пространства.

В представленной модели условие устойчивости соблюдается для системы уравнений в части нахождения средних характеристик: расстояние выброса, разлет частиц, толщина отсыпаемого почвогрунта и других. При этом следует учитывать, что взаимодействие элементов в модели происходит случайным образом. Это приводит к тому, что силы, действующие на частицы почвогрунта и рабочие поверхности агрегата, то появляются, то пропадают, поэтому устойчивость индивидуальных дифференциальных уравнений не слишком высока, но система в целом считается устойчивой, так как практически не зависит от начальных условий. Модель состоит из трех группы уравнений для разных координат x , y , z с учетом большого количества частиц почвогрунта (10^3 – 10^5).

Следует принимать во внимание, что такие тонкости математических расчетов аналогичны и для молекулярной динамики [20], эти особенности связаны с природой многих физических, химических процессов и являются естественными.

Разработанная модель по своей сути является не аналитической, а алгоритмической: так как показатели эффективности невозможно рассчитать по формулам явным образом, они рассчитываются с помощью итерационного алгоритма. Схема алгоритма представлена на рис. 3. На ней добавлены обозначения: $t_{кэ}$ – длительность компьютерного эксперимента; $[t_{кэ}/\Delta t]$ – номер последнего шага интегрирования по времени; квадратные скобки означают округление до целого числа.

Таким образом, разработана математическая модель машины для тушения лесных пожаров, учитывающая физические свойства грунта, конструктивные и технологические параметры. Модель позволяет оценить эффективность грунтомета в различных режимах работы и оптимизировать его параметры.

Основные параметры лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя при взаимодействии рабочих плоскостей с почвогрунтом и физико-механические параметры имитационного материала задаются в начале эксперимента и выводятся на экран программы.

Заключение

Проведенные исследования взаимодействия рабочих органов агрегата с почвогрунтом позволяют расширить возможности методик проектирования лесопожарной техники, используемой для тушения лесного низового пожара грунтом, путем нахождения оптимальных конструкторских решений. Возможность применения лесопожарного грунтомета-полосопрокладывателя в лесном комплексе увеличивается с учетом доступности тракторов тягового класса 3. В ходе работы создана математическая модель машины для тушения лесных пожаров, воспроизводящая процесс ее работы с достаточно высокой физической адекватностью, детализацией и пространственным разрешением. Разработана компьютерная программа для проведения компьютерных экспериментов по метанию почвогрунта машиной, позволяющая исследовать влияние конструктивных и технологических параметров машины, а также свойств почвогрунта на показатели эффективности рабочего процесса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-38-60041/19, – Совершенствование методологической базы моделирования системы и процессов ликвидации лесных пожаров направленно-регулируемым потоком грунта.

*Дата поступления
в редакцию: 27.01.2020*

Библиографический список

1. **Драпалюк, М.В.** Математическая модель процесса подачи и выброса грунта рабочими органами комбинированной машины для тушения лесных пожаров / М.В. Драпалюк, И.М. Бартнев, М.А. Гнусов, Д.Ю. Дручинин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84. – С. 232-246.
2. **Hoover, W.G.** Atomistic Nonequilibrium Computer Simulations / W.G. Hoover // Physica A. – 1983. – Vol. 118. – P. 111-122.
3. Пат. на полезную модель 128887 РФ, МПК E02F5/006, A62C2/00. Лесопожарная комбинированная грунтометательная машина / М.В. Драпалюк, И.М. Бартнев, П.Э. Гончаров, Л.Д. Бухтояров, П.И. Попиков, М.А. Гнусов, Д.Ю. Дручинин, О.Б. Марков; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2013100599/03; заявл. 09.01.2013; опубл. 10.06.2013.
4. **Попиков, П.И.** Методика моделирования лесной почвы при взаимодействии с рабочими

- органами лесохозяйственных машин / П.И. Попиков, Д.Ю. Дручинин, Н.А. Шерстюков // Resources and Technology. – 2017. – Т. 14. – № 3. – С. 1-12.
5. **Хокни, Р.** Численное моделирование методом частиц / Р. Хокни, Дж. Иствуд. – М.: Мир, 1987. – 638 с.
 6. **Григорьев, Ю.Н.** Численное моделирование методами частиц-в-ячейках / Ю.Н. Григорьев, В.А. Вшивков, М.П. Федорук. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 360 с.
 7. **Кривцов, А.М.** Метод частиц и его использование в механике деформируемого твердого тела / А.М. Кривцов, Н.В. Кривцова // Дальневосточный математический журнал ДВО РАН. – 2002. – Т. 3. – № 2. – С. 254-276.
 8. **Español, P.** Hydrodynamics from Dissipative Particle Dynamics / P. Español. // Phys. Rev. E. – 1995. – Vol. 52. – P. 1734–1742.
 9. **Jakob, C.** Particle Methods. An Overview / C. Jakob, H. Konietzky. – Freiberg, 2012. – 24 p.
 10. **Bolintineanu, D.S.** Particle Dynamics Modeling for Colloid Suspensions / D.S. Bolintineanu, G.S. Grest, J.B. Lechman, F. Pierce, S.J. Plimpton, P.R. Schunk // Comp. Part. Mech. – 2014. – Vol. 1. – P. 321-356.
 11. **Zhen, Li** A Dissipative Particle Dynamics Method for Arbitrary Complex Geometries / Li Zhen, Bian Xin, Tang Yu-Hang, G.E. Karniadakis // arXiv:1612.08761v1.
 12. **Kovalev, O.O.** On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method / O.O. Kovalev // Proc. of Summer School – Conference «Advanced Problems in Mechanics». – St. Petersburg, 2013. – P. 285-291.
 13. **Гончаров, П.Э.** Лесопатрульный автомобиль на базе тяжелого грузового автомобиля повышенной проходимости / П.Э. Гончаров, П.И. Попиков, М.А. Гнусов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 2-2 (7-2). – С. 64-69.
 14. **Драпалюк, М.В.** Обоснование параметров лесного грунтомета с комбинированными рабочими органами / М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, П.Э. Гончаров, М.А. Гнусов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 2-2 (7-2). – С. 77-81.
 15. **Bartenev, I.M.** Study of efficiency of soil-thrower and fire-break major on the basis of mathematic simulation / I.M. Bartenev, S.V. Malyukov, M.A. Gnusov and D.S. Stupnikov // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET) Scopus Indexed. – 2018. Volume:9, Issue: 4, Pages:1008-1018.
 16. **Bartenev, I.M.** Research and development of the method of soil formation and delivery in the form of a concentrated flow to the edge of moving ground forest fire / I.M. Bartenev, P.I. Popikov, S.V. Malyukov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Jubilee Scientific and Practical Conference «Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)». – 2019. – no. 226 (1) 012052. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012052.
 17. **Afzaal, H.** Robot-based Forest Fire Detection and Extinguishing Model / Hamra Afzaal; Nazir Ahmad Zafar / 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI). Natl. Univ. Sci. & Technol. Coll. E. & M.E. Pakistan, Islamabad, PAKISTAN, nov. 01-02, 2016. – Islamabad: Natl. Univ. Sci. & Technol. Coll. E. & M.E., 2016. – P. 112-117.
 18. Three-Dimensional Dynamic Simulation System for Forest Surface Fire Spreading Prediction / J. Li, X. Li, C. Chen, H. Zheng, N. Liu // International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. – 2018. – Vol. 32. – Iss. 8. DOI:10.1142/S021800141850026X
 19. **Castillo, M.E.** Determining response times for the deployment of terrestrial resources for fighting forest fires. A case study: Mediterranean–Chile (Article) / M.E. Castillo, F. Rodriguez, Y. Silva // Pontificia Universidad Catolica de Chile, Facultad de Agronomia e Ingenieria Forestal. – 2015. – Vol. 42. – P. 97-107.
 20. **Peterson, A.L.** Dual-use fire-fighting technology for the National Guard (Article) [Текст] / A.L. Peterson, P.O. Washington // Proceedings of the 1999 55th Annual Forum of the American Helicopter Society, FORUM 55; Montreal, Que., Can – 1999 Vol. 2 P. 2292-2297.

M.V. Drapalyuk¹, M.A. Gnusov¹, D.Yu. Druchinin¹, V.E. Klubnichkin²

**MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE INTERACTION OF ELEMENTS OF SOIL
WITH WORKING SURFACES OF FORESTRY FIRE GRINDER
AND STRIPPED PLAYER**

Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova¹
Bauman Moscow State Technical University²

Purpose: The stage of interaction of the working body of a fire-fighting soil-throwing-strip-laying machine with soil is considered. It is noted that when developing forest fire engines, it is necessary to take into account the natural qualities of the soil, the geometric design features, as well as the operating modes of the unit.

Design / methodology / approach: The technique of simulation of the working environment in interaction with the working bodies of the unit is presented. The working bodies of the combined fire-fighting soil-throwing strip-spreading machine interact with the medium in several stages: first, the cutting edge of the spherical discs develops solid soil, separated soil layers are formed into the formed soil shaft, milling cutters, which also function in several stages, form a directed flow: separate the soil from a pre-formed loosened shaft, mechanically milling the soil layer with a cutting edge, and then giving a mechanical impulse already rotary blade. The process of separating the soil layer at the entrance to the work of active working bodies is carried out by the cutting edges of the working bodies.

Research implications: It is indicated that when simulating the physical and mathematical process of the operation of a forest fire fighting machine, it is of great importance to take into account in the model the physical and mechanical properties of soil, which are characterized by particle size distribution, density, porosity, moisture, cohesion, loosening, angle of repose, ductility, compressibility, strength, shear resistance, friction coefficients of the soil on steel and soil on the soil, abrasion, stickiness.

Key words: wildfire, discrete element method, simulation, soil, milling thrower, spherical disks, interaction of planes, numerical integration.