

рубков, предприятие может планировать технологический процесс с минимальными негативными последствиями на подготовительном этапе.

В результате анализа построенных графиков было получено, что при низком риске лесозаготовка в Республике Карелия может продолжаться от 60 до 107 дней, при среднем риске – от 107 до 117 дней и при высоком от 117 до 155 дней. Также на основании предлагаемой методики разработана математическая модель по обоснованию комплектов лесозаготовительных и лесотранспортных машин с учетом сезонности [3].

Предлагаемая методика по оценке сроков лесозаготовительных работ в зимний период может быть использована:

- для организации ритмичной работы лесозаготовительного предприятия;
- для обоснования транспортного освоения арендованной территории при ее делении на зоны зимней и летней вывозки;
- для оценки рисков работы лесозаготовительных машин в весеннее время;
- для формирования комплекта лесосечных и лесотранспортных машин и обоснования режима их работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шегельман И.Р. Обоснование периода эксплуатации зимних лесовозных дорог / И.Р. Шегельман, Л.В. Щеголева, В.М. Лукашевич // Изв. вузов: Лесной журнал, 2007. – № 2. – С. 54–57.
2. Шегельман И.Р. Применение ГИС-технологий в изучении климатических и почвенно-грунтовых условий Республики Карелия / И.Р. Шегельман, Л.В. Щеголева, В.М. Лукашевич // Вестник Поморского университета. Сер. Естественные и точные науки. – Архангельск: ПГУ, 2007. – № 1 (11). – С. 22–27.
3. Щеголева Л.В. Задача формирования парка машин и оборудования для проведения лесозаготовительных работ при разделении лесосеки на зоны летней и зимней вывозки / Л.В. Щеголева, В.М. Лукашевич // Вестник Московского государственного университета леса. – М., МГУЛ, 2009. – № 4. – С. 119–121.
4. Шегельман И.Р. Оценка сезонности при подготовке лесозаготовительного производства / И.Р. Шегельман, В.М. Лукашевич // Фундаментальные исследования. – М.: Академия Естествознания, 2011. – №12 (3). – С. 599–603.

УДК 630.383:630.37

КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЕ В ПОЧВОГРУНТАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОЛЕСНО-ГУСЕНИЧНЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

А.И. Никифорова,

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, РФ.

И.А. Барашков,

аспирант, ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, РФ.

Д.С. Киселев,

аспирант, ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, РФ.

tlzp@inbox.ru

В статье предложена математическая модель, позволяющая оценить колеобразование под воздействием колесной лесозаготовительной машины оснащенной моногусеницами для повышения ее проходимости.

Для оценки динамической картины состояния почвогрунтов под нагрузкой от движителей лесозаготовительных машин запишем уравнения движения деформируемой среды, тензор напряжений в которых представляется соответствующим тензором деформаций. Линейной упруго-вязко-пластической деформации соответствует уравнение

$$\sigma + \tau \frac{\partial \sigma}{\partial t} = \sigma_T + E\varepsilon + \mu \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}, \quad (1)$$

здесь σ – напряжение;

E – модуль упругости;

μ – вязкость;

время релаксации $\tau = \mu/E$;

σ_T – предельное напряжение, начиная с которого происходят упруго-вязкие деформации;

ε – деформация;

t – время.

Придав функциональное представление параметрам в линейной модели, уравнение нелинейной упруго-вязко-пластической деформации запишем в виде

$$\sigma + \tau(t) \frac{\partial \sigma}{\partial t} = \sigma_T + E(\varepsilon)\varepsilon + \mu(\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}. \quad (2)$$

На основании (2) можно построить уравнение для осадки почвогрунта при действии на него давления со стороны движителя машины

$$p + \tau(t) \frac{\partial p}{\partial t} = p_T + E_x(x)x + \mu_x(x) \frac{\partial x}{\partial t}, \quad (3)$$

здесь p – давление на почвогрунт;

x – осадка почвогрунта;

E_x , μ_x , p_T – параметры, характеризующие соответственно упругие, вязкие и пластические свойства почвогрунта.

Для лесозаготовительных машин можно принять условие $p > \tau(t) \frac{\partial p}{\partial t}$, тогда (3) примет вид

$$p = p_T + E_x(x)x + \mu_x(x) \frac{\partial x}{\partial t}. \quad (4)$$

Введением линейного характера изменения коэффициента вязкости от осадки по мере ее увеличения

$$\mu_x(x) = \mu_0 + \mu x, \quad (5)$$

нелинейное уравнение (4) представляется в виде

$$p = p_T + Cx + (\mu_0 + \mu x) \frac{dx}{dt}, \quad (6)$$

здесь $E_x(x) = C$ – постоянная Герстнера.

Для лесных почвогрунтов интерес представляет рассмотрение вязкоупругих и вязкопластических моделей, которые можно получить из (6).

Вязкоупругие почвогрунты исследованы на основании решения дифференциального уравнения [1]

$$p = Cx + (\mu_0 + \mu x) \frac{dx}{dt}, \quad (7)$$

которое можно записать в виде

$$\frac{dx}{dt} = \frac{(p - Cx)}{(\mu_0 + \mu x)}, \quad (8)$$

и после разделения переменных

$$\frac{(\mu_0 + \mu x) dx}{p - Cx} = dt \quad (9)$$

и интегрирования получить решение

$$C \frac{t}{\mu} = \left(\frac{\mu_0}{\mu} + \frac{p}{C} \right) \ln \left(\frac{p}{p - Cx} \right) - x, \quad (10)$$

которое можно привести к виду

$$t_* = -(a + 1) \ln(1 - x_*) - x_*, \quad (11)$$

здесь $t_* = C^2 \frac{t}{\mu p}$, $a = \mu_0 \frac{C}{\mu p}$, $x_* = C \frac{x}{p}$.

Рассматриваемая модель является трех параметрической.

При анализе деформации почвогрунтов колесно-гусеничными машинами примем допущения: гусеница представляет собой тонкую ленту, жесткость которой при изгибе вокруг оси, параллельной движению, бесконечно большая; жесткость вокруг другой оси, перпендикулярной первой и лежащей в плоскости ленты, исчезающе мала; время восстановления деформации почвогрунта после прохода машины много больше времени последующего прохода; прохождение лесозаготовительной машины происходит по одной и той же колее [2].

Длина проекции области соприкосновения гусеницы с почвогрунтом на горизонтальную плоскость равна

$$A = 1 + a_n = 1 + [2R(h_n - h_{n-1})]^{1/2}, \quad (12)$$

здесь горизонтальная проекция деформации равна

$$a_n = [2R(h_n - h_{n-1})]^{1/2}, \quad (13)$$

где R – радиус колеса;

h_n – осадка после n -кратного прохода.

Осадку почвогрунта может быть представлена выражением

$$x = h_n - \frac{\xi^2}{2R}, \quad (14)$$

где ξ – расстояние от точки контакта колеса с поверхностью почвогрунта.

После дифференцирования ξ по времени получено представление

$$\frac{d\xi}{dt} = -v, \quad (15)$$

и скорость образования осадки

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\xi v}{R}, \quad (16)$$

где v – скорость движения машины.

Сила деформации, согласно (12), равна

$$P = b(pl + pa_n) = bp(1 + a_n), \quad (17)$$

где P – сила;

l – расстояние между колесами тандемной тележки;

b – ширина гусеницы.

Для вязкоупругой модели получено выражение

$$Pa_n = \int pd\xi = \int \left[c \left(h_n - \frac{\xi^2}{2R} \right) + \mu \left(h_n - \frac{\xi^2}{2R} \right) \frac{\xi v}{R} \right] d\xi = Ch_n a_n - C \frac{a_n^3}{6R} + \mu h_n v \frac{a_n^2}{2R} - \mu v \frac{a_n^4}{8R^2}. \quad (18)$$

Тогда (17) принимает вид

$$P = b(1 + a_n) \left(Ch_n - C \frac{a_n^2}{6R} + \mu h_n v \frac{a_n^2}{2R} - \mu v \frac{a_n^3}{8R^2} \right). \quad (19)$$

и формула (18) примет вид

$$pa_n = Ch_{n-1} a_n + \frac{1}{3} \frac{Ca_n^3}{R} + \mu v \left(\frac{h_{n-1} a_n^2}{2R} + \frac{a_n^4}{8R^2} \right). \quad (20)$$

из которой следует выражение для определения давления на почвогрунт

$$p = Ch_{n-1} + \frac{1}{3} \frac{Ca_n^2}{R} + \mu v \left(\frac{h_{n-1} a_n}{2R} + \frac{a_n^3}{8R^2} \right). \quad (21)$$

На основании (18) и (21) получаем

$$\frac{P}{b} = \left[Ch_{n-1} + \frac{1}{3} \frac{Ca_n^2}{R} + \mu v \left(\frac{h_{n-1} a_n}{2R} + \frac{a_n^3}{8R^2} \right) \right] (1 + a_n). \quad (22)$$

При $l=0$, что соответствует условию движения колесных лесных машин с жестким диском, формула (22) переходит в

$$\frac{P}{b} = Ch_{n-1} a + \frac{1}{3} \frac{Ca^3}{R} + \mu v \left(\frac{h_{n-1} a^2}{2R} + \frac{a^4}{8R^2} \right). \quad (23)$$

В том случае, когда выполняется условие $l \gg a$ (22) принимает вид

$$\frac{P}{bl} = Ch_{n-1} + \frac{1}{3} \frac{Ca_n^2}{R} + \mu v \left(\frac{h_{n-1} a_n}{2R} + \frac{a_n^3}{8R^2} \right). \quad (24)$$

Полученные формулы позволяют по заданной реологии почвогрунта последовательно определять осадку при известной осадке от предшествующего прохода. Приняв начальное условие $h_0 = 0$,

можно последовательными решениями построенных уравнений определять глубину образующейся колеи в результате очередного прохода лесозаготовительной машины. Для первого прохода получаем осадку $h_0 = 0$, $h_1 = \frac{a_1^2}{2R}$ и согласно (24) получаем уравнение

$$\frac{P}{bl} = \frac{1}{3} \frac{Ca_1^2}{R} + \frac{\mu va_1^3}{8R^2}, \quad (25)$$

решение которого позволяет определить глубину колеи после первого прохода. Далее

$$h_2 = h_1 + \frac{a_2^2}{2 \cdot R}, \dots, h_3 = h_2 + \frac{a_3^2}{2 \cdot R}, \quad (26)$$

При малых скоростях движения машины (24) переходит в

$$\frac{P}{bl} = Ch_{n-1} + \frac{1}{3} \frac{Ca_n^2}{R}, \quad (27)$$

поэтому для глубины колеи после первого прохода лесозаготовительной машины получаем формулу

$$h_1 = \frac{a_1^2}{2R} = \frac{3}{2} P(Cbl)^{-1}. \quad (28)$$

Сравним образование колеи в почвогрунтах колесно-гусеничными и колесными машинами. Согласно динамическим испытаниям грунтов, реологические свойства которых описываются уравнением (6) при $\mu_0=0$, зависимость осадки от числа ударов постоянной силы имеет вид

$$h_n = h_1 n^{1/2}, \quad (29)$$

такая одно параметрическая зависимость позволяет по глубине первого прохода определять все последующие.

Согласно (26)-(28) получаем

$$\frac{P}{blC} = \beta = h_{n-1} + \frac{3}{2}(h_n - h_{n-1}). \quad (30)$$

$$\text{Тогда } h_n = \frac{3\beta}{2} - \frac{h_{n-1}}{2}. \quad (31)$$

После первого прохода глубина колеи равна $h_1 = \frac{3\beta}{2}$ после второго $h_2 = \frac{3\beta}{2} - \frac{3\beta}{4} = \frac{3\beta}{4}$, после третьего $h_3 = \frac{3\beta}{2} - \frac{3\beta}{8} = \frac{9\beta}{8}$, после четвертого $h_4 = \frac{15\beta}{16}$ и т.д. Отметим, что условие малости скорости движения лесозаготовительной машины эквивалентно условию $\mu=0$, которое характеризует почвогрунты как упруго деформируемые.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Математическая модель колееобразования в почвогрунтах под воздействием лесных машин / С.М. Базаров, И.А. Барашков, А.И. Никифорова, А.М. Хахина // Известия СПбГЛТА. – 2011. – № 197. – С. 54–65.
2. Теория колееобразования в почво-грунтах под воздействием гусеничных лесных машин / С.М. Базаров, И.А. Барашков, А.И. Никифорова, А.М. Хахина // Известия СПбГЛТА. – 2012. – № 198. – С. 59–70.

УДК 621.181.011.56:674.8

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОТЛОМ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Е.В. Саликова,

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО КГТУ, г. Кострома, РФ
esalikova@list.ru

В.П. Чулков,

канд. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО КГТУ, г. Кострома, РФ
ipchvp@rambler.ru

В статье рассматривается разработка автоматизированной системы управления котлом для утилизации древесных отходов, в основе которой лежит программно-аппаратный комплекс, включающий в себя устройство управления и специализированное программное обеспечение, осуществляющее управление ходом технологического процесса.