

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*624.3

Ю. А. Ширнин, Н. И. Роженцова

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЛЕСОСЕК С ГРАНИЦАМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ НА ОСНОВЕ ГИС

Исследуются лесные участки с непрямолинейными границами с целью определения среднего расстояния трелевки, оптимального количества погрузочных пунктов и расположения их внутри лесосеки. Показано, что разработанная методика позволяет производить разделение участка на делянки и определять значение среднего расстояния трелевки на полученных площадях.

Введение. Расчет технологических параметров лесосек, имеющих форму прямоугольника, треугольника, трапеции, изложен в [1, 2]. Особый интерес представляют участки неправильной, с точки зрения геометрии, формы, которые получаются как естественным, так и искусственным путем.

Методика расчета эффективных систем машин и разработки технологической карты освоения лесосеки для конкретных условий лесного участка изложена в [3], где в качестве критерия выбраны удельные затраты, $\text{p}/\text{м}^3$, на лесосечные работы. Величина этих затрат в свою очередь зависит от производительности машин и механизмов.

Производительность машин и оборудования рассчитывается по методике, изложенной в [1,4]. Для данных расчетов необходимы таксационные параметры рубок (коэффициент интенсивности, средний объем, длина и средний диаметр хлыста, запас на 1 га). Производительность трелевочного оборудования $P_{см}^{трел}$ в общем виде можно представить в виде зависимости

$$P_{см}^{трел} = f(tax, tech, razm, l), \quad (1)$$

где tax – таксационные параметры лесного участка; $tech$ – технические и технологические параметры трелевочного оборудования; $razm$ – размерные характеристики участка; l – среднее расстояние трелевки, м.

Показатель l зависит от параметров разрабатываемого участка и может изменяться в пределах одной лесосеки, поскольку делянки, на которые разделяется лесосека, могут быть неправильной геометрической формы и иметь разную площадь. С увеличением количества погрузочных пунктов Z на лесосеке уменьшаются площади делянок, среднее расстояние трелевки и, следовательно, затраты на трелевку. Вместе с тем повышаются расходы на строительство и содержание погрузочных пунктов.

Целью настоящей работы является определение в автоматизированном режиме среднего расстояния трелевки l и других технологических параметров лесосек, имеющих неправильную геометрическую форму.

Решаются следующие **задачи**: нахождение функции, описывающей границы лесосеки, на базе карт геоинформационных систем (ГИС); определение оптимального количества погрузочных пунктов и границ делянок.

1. Нахождение функции, описывающей границы лесосеки. Определение площади лесосеки непрямоугольной формы

Границы лесных участков представляют собой криволинейные и прямолинейные отрезки (линии), координаты точек которых x и y на плоскости известны из карт ГИС. В качестве функции, описывающей границы лесосеки, принят полином степени M , представленный в виде [5]

$$f(x) = \sum_{m=0}^M c_m x^m, \quad (2)$$

где c_m – коэффициент полинома, m – номер (степень) коэффициента; n – номер точки; N – количество точек, задающих границу.

Коэффициенты полинома могут быть найдены на основе метода наименьших квадратов из следующих соотношений

$$\mathbf{c} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}, \quad (3)$$

где:

$$A_{k,m} = \sum_{n=0}^{N-1} (x_n)^{m+k}; \quad B_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n^k \cdot y_n; \quad k=0,1,\dots,M; \quad m=0,1,\dots,M.$$

На рис. 1 приведен пример аппроксимации криволинейной границы участка.

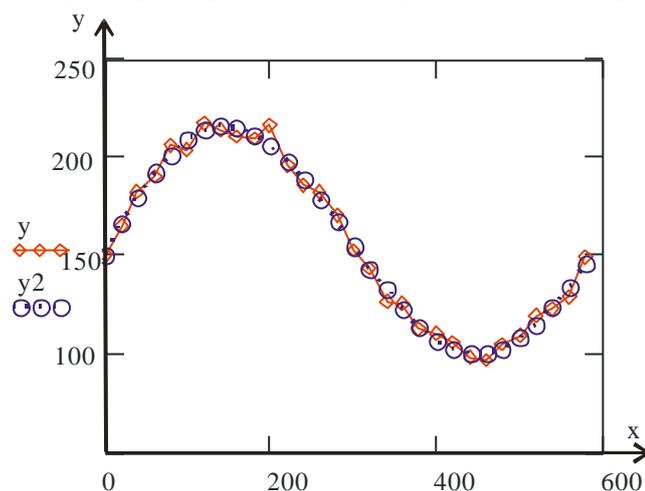


Рис.1. Аппроксимация линии границы лесосеки: y – линия границы; y_2 – линия аппроксимации

Из графика (рис. 1) видно, что кривая аппроксимации практически повторяет контуры границы лесосеки, что говорит о высокой степени адекватности полученной модели.

Интегрируя функцию (2), получаем функцию площади исследуемого участка

$$S(x) = \sum_{m=0}^M \frac{c_m x^{m+1}}{m+1}. \quad (4)$$

2. Обоснование оптимального количества погрузочных пунктов на лесосеке

Суммарные удельные затраты приходятся на 1 м^3 стрелеванной древесины в условиях существующей квартальной сети, используемой в качестве лесовозных усов, складываются из удельных затрат на трелевку древесины C_1 , р/м^3 и затрат на строительство и содержание погрузочных пунктов C_2 , р/м^3 [6]

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_2. \quad (5)$$

Поиск оптимального значения Z , при котором значение C_{Σ} будет стремиться к минимальному значению, является важной задачей в повышении эффективности работ.

$$C_1 = \frac{C_{тр}}{ПсМ^{трел}}, \quad (6)$$

где $C_{тр}$ – стоимость машино-смены на трелевке, р/см.

$$ПсМ^{трел} = \frac{3600 \cdot M_{п} \cdot m_{ч} \cdot \varphi}{\sum t + \frac{2l}{g_{cp}}}, \quad (7)$$

где g_{cp} – средняя скорость трелевочной машины при ее движении в грузовом и холостом направлении, м/с; $m_{ч}$ – число часов в смене, ч; φ – коэффициент использования времени смены; $M_{п}$ – объем трелеваемой пачки; $\sum t$ – суммарное время на формирование пачки, ее погрузку и разгрузку, маневры машины, с.

Значение показателя l формулы (7) складывается из значений среднего расстояния трелевки l_i на всех полученных делянках и имеет следующее выражение

$$l = \frac{\sum l_i \cdot S_i}{S} = \frac{\sum l_i \cdot S_i}{Z \cdot S_i} = \frac{\sum l_i}{Z}, \quad (8)$$

где S_i – площадь отдельной делянки, м².

Удельное значение затрат на строительство и содержание погрузочных пунктов C_2 , р/м³ представим в виде

$$C_2 = \frac{C_m \cdot Z}{Q_{тр}}, \quad (9)$$

где C_m – затраты на строительство и содержание одного погрузочного пункта, р.; $Q_{тр}$ – объем стрелеванной древесины, м³.

Определение оптимального значения Z происходит путем сопоставления показателей, влияющих на затраты. Из всех решений выбирается то, при котором C_{Σ} будет наименьшим. При поиске оптимального числа Z необходимо выполнить два условия. Первое

$$Z \cdot B \leq L_{уч}, \quad (10)$$

где $L_{уч}$ – размер стороны лесосеки, вдоль которой располагаются погрузочные пункты, м; B – протяженность погрузочного пункта, вдоль лесовозной дороги, м. При трелевке хлыстов можно принять $B = 45$ м, при трелевке сортиментов – $B = 25$ м.

Второе – количество погрузочных пунктов не может быть дробным.

На основании полученного числа погрузочных пунктов определяются границы делянок, для чего весь разрабатываемый участок (лесосеку) необходимо разбить на делянки с одинаковой долей запаса на каждой.

При равномерном распределении запаса по участку функция запаса примет вид

$$Q(z) = q_0 S(z) = \frac{q_0}{10^4} \sum_{m=0}^M \frac{c_m x^{m+1}}{m+1}, \quad (11)$$

где q_0 – средний запас древесины на участке, м³/га.

Границы делянок располагаются в точках, соответствующих значениям запаса

$$q_z = \frac{Q}{Z} z, \quad z = 0, 1, \dots, Z-1. \quad (12)$$

Значение абсцисс этих точек определяется из формулы (11) решением уравнения после подстановки значения запаса. При $M > 4$ при равномерном распределении запаса (12) решение уравнения (11) возможно из функции, обратной функции запаса, связывающей его значения с координатами участка на основе метода наименьших квадратов. Обратная функция задается в виде

$$x(q) = \sum_{m=0}^M d_m q^m, \tag{13}$$

где d_m – коэффициент полинома.

$$d = A2^{-1} \cdot B2, \tag{14}$$

где $A2_{k,m} = \sum_{n=0}^{N-1} (q_z)^{m+k}$; $B2_k = \sum_{n=0}^{N-1} q_z^k \cdot x_n$; $k = 0,1,...M$; $m = 0,1,...M$.

Путем подставления в формулу (13) значения запаса q_z определяются границы делянок (рис. 2).

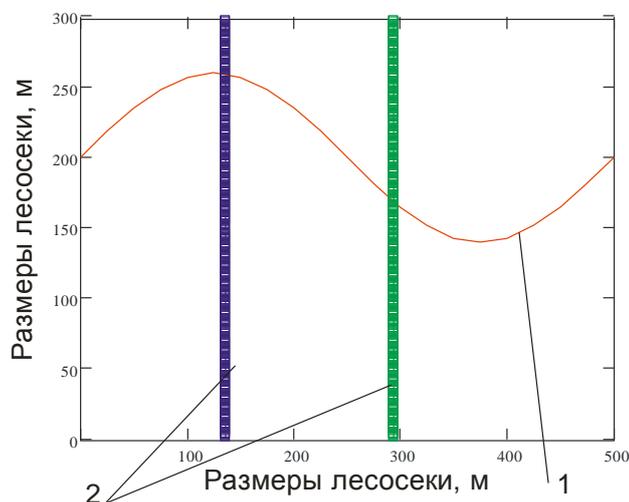


Рис.2. Результат деления лесосеки с криволинейной границей на делянки. 1 – криволинейная граница лесосеки, 2 – границы делянок

3. Нахождение среднего расстояния трелевки для участков непрямоугольной формы

Аналитическое описание границы, полученное в разделе 1 (рис.3), позволяет находить среднее расстояние трелевки на делянках с использованием методики [1].

Расстояние трелевки с элементарной площадки определяется по формуле

$$l_s = x + \frac{y}{2} = x + \frac{\sum_{m=0}^M c_m x^m}{2}. \tag{15}$$

Площадь элементарной площадки равна

$$dS = y dx = \sum_{m=0}^M c_m x^m dx. \tag{16}$$

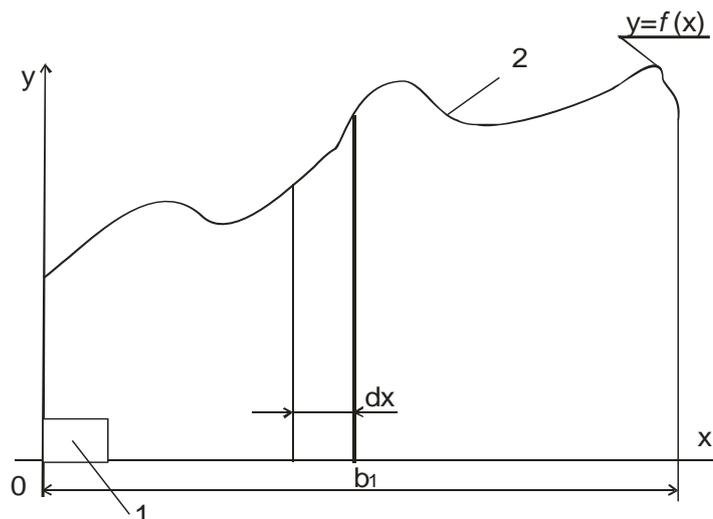


Рис.3. Графическое представление (делянки) лесосеки, имеющей непрямолинейную границу:
1 – погрузочный пункт; 2 – непрямолинейная граница участка

Элементарная грузовая работа составит

$$dR = q_0 dS_{\ell_3} = q_0 \left(\sum_{m=0}^M c_m x^m \right) \left(x + \frac{\sum_{m=0}^M c_m x^m}{2} \right) dx. \quad (17)$$

Площадь рассматриваемого участка составит

$$S = \int_0^{b_1} y dx = \int_0^{b_1} \sum_{m=0}^M c_m x^m dx. \quad (18)$$

Запас на исследуемом участке найдем из выражения

$$Q = q_0 S = q_0 \int_0^{b_1} \sum_{m=0}^M c_m x^m dx. \quad (19)$$

Среднее расстояние трелевки с учетом всех полученных зависимостей находится из следующего выражения

$$\begin{aligned} \ell &= \frac{\sum dR}{Q} = \frac{\int_0^{b_1} q_0 \left(\sum_{m=0}^M c_m x^m \right) \left(x + \frac{\sum_{m=0}^M c_m x^m}{2} \right) dx}{q_0 \int_0^{b_1} \sum_{m=0}^M c_m x^m dx} = \frac{\int_0^{b_1} x \sum_{m=0}^M c_m x^m + \frac{\sum_{m=0}^M c_m x^m \sum_{n=0}^M c_n x^n}{2} dx}{\int_0^{b_1} \sum_{m=0}^M c_m x^m dx} = \\ &= \frac{\int_0^{b_1} \left(\sum_{m=0}^M c_m x^{m+1} + \frac{\sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^M c_m c_n x^{m+n+1}}{2} \right) dx}{\int_0^{b_1} \sum_{m=0}^M c_m x^m dx} = \frac{\sum_{m=0}^M \frac{1}{m+2} c_m x^{m+2} \Big|_0^{b_1} + \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^M \frac{1}{2} \frac{c_m c_n x^{m+n+1}}{m+n+1} \Big|_0^{b_1}}{\sum_{m=0}^M \frac{1}{m+1} c_m x^{m+1} \Big|_0^{b_1}} = \\ &= \frac{\sum_{m=0}^M \frac{1}{m+2} c_m b_1^{m+2} + \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^M \frac{1}{2} \frac{c_m c_n b_1^{m+n+1}}{m+n+1}}{\sum_{m=0}^M \frac{1}{m+1} c_m b_1^{m+1}}. \end{aligned} \quad (20)$$

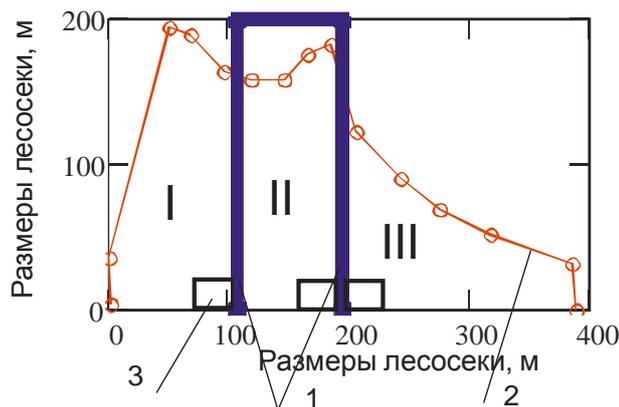


Рис.6. Деление лесосеки с криволинейной границей на делянки.
1 – граница деления; 2 – граница лесосеки; 3 – погрузочный пункт

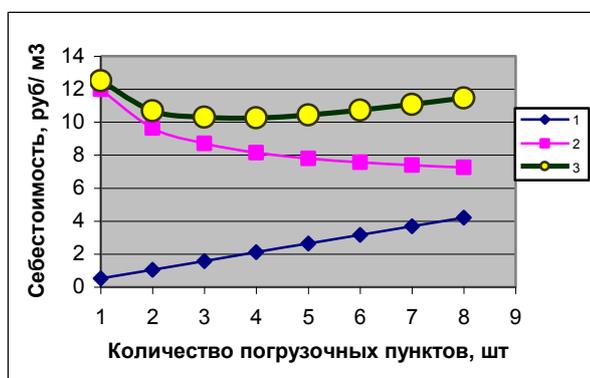


Рис.7. График изменения затрат в зависимости от количества погрузочных пунктов.
1 – соответствует изменению удельных затрат на строительство и содержание погрузочных пунктов;
2 – изменению удельных затрат на трелевку; 3 – изменению совокупных удельных затрат при интенсивности рубки 100 %

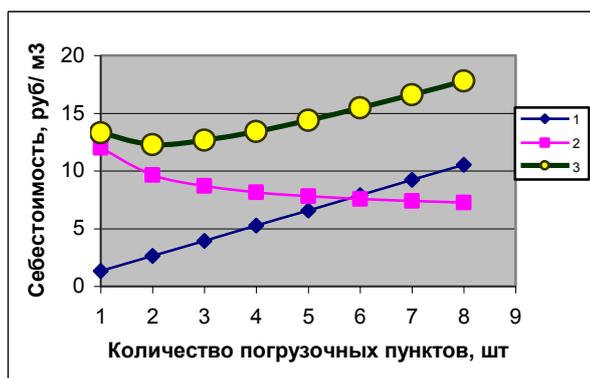


Рис.8. График изменения затрат в зависимости от количества погрузочных пунктов.
1 – соответствует изменению удельных затрат на строительство и содержание погрузочных пунктов;
2 – изменению удельных затрат на трелевку; 3 – изменению совокупных удельных затрат при интенсивности рубки 40 %

Представленные графики (рис.7, 8) позволяют утверждать, что при рубке интенсивностью 40 % от общего запаса трелевку целесообразнее осуществлять к двум погрузочным пунктам; при трелевке интенсивностью 100 % – к четырем погрузочным пунктам;

там. Причем, при рубке интенсивностью до 60 % от общего запаса древесины целесообразно осуществлять трелевку к двум погрузочным пунктам (на две делянки); при трелевке интенсивностью свыше 60 % – к трем погрузочным пунктам; свыше 90 % – к четырем погрузочным пунктам.

Выводы. Разработана методика, позволяющая по координатам, описывающим границы лесосеки из карт ГИС, производить разделение участка на делянки и определять значение среднего расстояния трелевки на полученных площадях. Определение площади сводится к нахождению полиномиальной функции, описывающей границы лесосеки.

Список литературы

1. Ширнин, Ю. А. Технология и оборудование малообъемных лесозаготовок и лесовосстановление: учеб. пособие / Ширнин Ю. А., Пошарников Ф. В. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 398 с.
2. Ширнин, Ю. А. Моделирование процессов заготовки сортированных деревьев и хлыстов: моног. / Ю. А. Ширнин. – Красноярск: Издательство Красноярского университета, 1992. – 204 с.
3. Ширнин, Ю. А. Моделирование процедуры выбора технологий рубок леса с использованием ГИС / Ю. А. Ширнин, Н. И. Роженцова // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2007.– № 1. – С. 40–49.
4. Ширнин, Ю. А. Технология и эффективность рубок с естественным возобновлением леса: учеб. пособие / Ю. А. Ширнин, Е. И. Успенский, А. С. Белоусов. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1991.–100 с.
5. Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго. – М.: Наука, 1965. – 780 с.
6. Ширнин, Ю. А. Процессы комплексного освоения участков лесного фонда при малообъемных лесозаготовках: Научное издание/ Ю. А. Ширнин, К. П. Рукомойников, Е. М. Онучин; под ред. Ю. А. Ширнина. – Йошкар – Ола: МарГТУ, 2005. – 196 с.

Статья поступила в редакцию 01.04.08

Yu. A. Shirnin, N. I. Rozhentsova

TECHNOLOGICAL PARAMETRES OF CUTTING AREA BORDERS OBTAINED ON THE BASIS OF GIS

Forest areas with non-rectilinear borders are studied to define the average distance of skidding, optimal number of loading sites and their arrangement inside the cutting area. The method developed is shown to allow the division of the site into logging blocks and the value of the mean logging distance on the areas obtained.

ШИРНИН Юрий Александрович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – моделирование и оптимизация технологических параметров лесозаготовок, эффективность технологического процесса рубок леса. Автор более 200 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.

РОЖЕНЦОВА Наталья Игоревна – аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – моделирование и оптимизация технологических параметров лесозаготовок, эффективность технологического процесса рубок леса. Автор 8 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.