



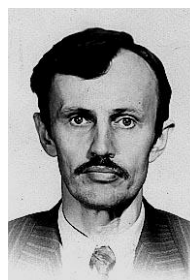
УДК 630\*323

**Ю.А. Ширнин, Э.Ф. Герц**

Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет 160 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



Герц Эдуард Федорович родился в 1953 г., окончил в 1981 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 30 печатных работ по технологии лесосечных работ.



### **СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАЛКИ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ НЕСПЛОШНЫХ РУБКАХ**

Рассмотрен процесс стохастического моделирования валки деревьев при несплошных рубках. Даны рекомендации по выбору оборудования и исполнителей для проведения работ.

*Ключевые слова:* несплошная рубка, стохастическая модель, вероятность беспрепятственной валки деревьев.

Несплошные рубки главного и промежуточного пользования сопровождаются удалением части деревьев из древостоя. При изреживании и валке бензиномоторными пилами вероятность повреждения оставляемых деревьев при соударении с падающими, а также возможность валки определяются таксационными характеристиками древостоя, степенью его изреживания и точностью направления валки. Пространство между стоящими деревьями, необходимое для валки в заданном направлении, зависит от размеров вырубаемых деревьев (высота и ширина кроны), исходной густоты и степени изреживания древостоя.

Вероятность валки ( $P$ ) без повреждения оставляемых деревьев, при условии их случайного, пуассоновского распределения на малых площадях [3], равна

$$P = e^{-\frac{h b_d}{S_d}}, \quad (1)$$

где  $h$  – высота дерева, м;

$b_d$  – ширина просвета, необходимая для беспрепятственной его валки, м;

$S_d$  – площадь, приходящаяся на одно дерево, м<sup>2</sup>/дер.

Найденное по формуле (1) значение  $P$  не учитывает возможного отклонения дерева от заданного направления валки, которое увеличивает вероятность повреждения оставляемых на доращивание деревьев при прочих равных условиях. Отклонение на угол  $\beta$  от заданного направления приводит к увеличению ширины просвета, требуемого для беспрепятственной валки дерева на величину:

$$b_u = \pm h \operatorname{tg} \beta.$$

Таким образом, необходима дополнительная площадь, которую, с некоторым допущением, можно считать треугольной с основанием, равным отклонению вершины от заданной точки падения на угол  $\beta$ . В этом случае

$$P = e^{-\frac{h b_d + h^2 \operatorname{tg} \beta}{S_d}}. \quad (2)$$

При валке дерева в просвет размерами  $h b_d$  и более отклонение от заданного направления определяет вероятность соударения с деревом, оставляемым на доращивание. Учитывая, что отсутствие хотя бы одного дерева на рассматриваемой площадке и его повреждение являются событиями противоположными, дополнительная вероятность соударения деревьев в случае отклонения от заданного направления валки на угол  $\beta$  составит:

$$P_c = 1 - e^{-\frac{h^2 \operatorname{tg} \beta}{S_d}}.$$

Распределение отклонения падающего дерева от заданного направления валки может быть представлено стандартной записью закона нормального распределения:

$$f(\beta) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\beta - \tilde{\beta})^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение случайной величины;

$\tilde{\beta}$  – математическое ожидание угла отклонения валки дерева.

При математическом ожидании угла отклонения валки дерева, равного заданному, т. е.  $\tilde{\beta} = 0$ , плотность распределения случайной величины [2] запишется в виде формулы Гаусса

$$f(\beta) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\beta^2}{2\sigma^2}}.$$

Среднее квадратичное отклонение угла падения от заданного ( $\sigma$ ) отражает возможность точной валки дерева в зависимости от применяемого оборудования, квалификации вальщика, таксационных характеристик, особенностей строения деревьев и насаждения в целом. Это обстоятельство подтверждает правомерность применения закона нормального распределения отклонения угла падения дерева, на суммарную величину которого оказывают влияние все перечисленные факторы. Доверительный интервал, который с доверительной вероятностью  $\alpha$  накрывает  $\beta$ , составит:

$$\left( \tilde{\beta} - t_{\alpha} \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}; \tilde{\beta} + t_{\alpha} \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} \right); \tilde{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i,$$

где  $\tilde{\beta}$  – математическое ожидание угла отклонения от заданного направления валки дерева;

$t_{\alpha}$  – коэффициент Стьюдента;

$\tilde{\sigma}$  – среднее квадратичное отклонение угла падения дерева от заданного направления,

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\tilde{\beta} - \beta_i)^2};$$

$n$  – число опытов;

$\beta_i$  – отклонение угла падения дерева от заданного направления, полученное в  $i$ -м опыте.

С учетом доверительной вероятности попадания в интервал вероятность соударения

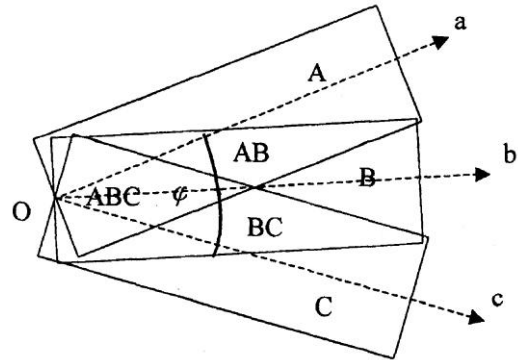
$$P_{\beta} = \alpha P.$$

Вероятность соударения  $P$  при этом определится по формуле (2), а угол отклонения дерева от заданного направления валки в соответствии с рассчитанным интервалом для заданного доверительного интервала

$$\beta = \tilde{\beta} + t_{\alpha} \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}.$$

Полученные таким образом вероятности беспрепятственной валки и соударения деревьев для определенных условий (характеристика насаждения, применяемое оборудование, квалификация вальщика) позволяют судить о приемлемости выбранного варианта. В случае несоответствия результатов расчетов лесоводственным и технологическим ограничениям необходимо рассмотреть другие варианты валки, обеспечивающие допустимую вероятность соударений.

Рис. 1. Расчетные схемы для определения вероятности беспрепятственной валки дерева:  $a, b, c$  – возможные направления валки дерева;  $A, B, C$  – сектора валки;  $AB, BC$  – перекрытые сектора



Предложенная методика не учитывает возможности выбора других направлений. Расчетная схема для определения вероятности беспрепятственной валки дерева в трех вероятных направлениях представлена на рис. 1.

В каждом из них валка возможна, если нет мешающих деревьев. В этом случае вероятность беспрепятственной валки в каждом из направлений запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} P(a) &= P(ABC) P(AB) P(A); \\ P(b) &= P(ABC) P(AB) P(BC) P(B); \\ P(c) &= P(ABC) P(BC) P(C). \end{aligned}$$

Вероятность события заключается в возможности беспрепятственной валки дерева хотя бы в одном из направлений. Вероятность валки дерева в нескольких направлениях условная, что заключается в необходимости отсутствия мешающих деревьев на перекрывающихся площадках. С учетом изложенного [1] полная вероятность валки дерева в двух направлениях составит

$$P(ab) = P(AB) [1 - (1 - P(A))(1 - P(B))].$$

При увеличении числа возможных направлений валки в заданном секторе повышается и вероятность беспрепятственной валки дерева в этом секторе. Вероятность хотя бы в одном из трех или четырех направлений составит:

$$\begin{aligned} P(abc) &= P(ABC) \left[ \frac{1 - (1 - P(AB) P(A))}{(1 - P(BC) P(C)) (1 - P(AB) P(BC) P(B))} \right]; \\ P(abcd) &= P(ABCD) \left[ \frac{1 - (1 - P(ABC) P(AB) P(A))}{1 - P(ABC) P(BCD) P(AB) P(BC) P(B)} \right. \\ &\quad \left. \frac{1 - P(ABC) P(BCD) P(BC) P(CD) P(C)}{1 - P(BCD) P(CD) P(D)} \right]. \end{aligned}$$

В общем случае для  $n$  рассматриваемых направлений вероятность беспрепятственной валки дерева

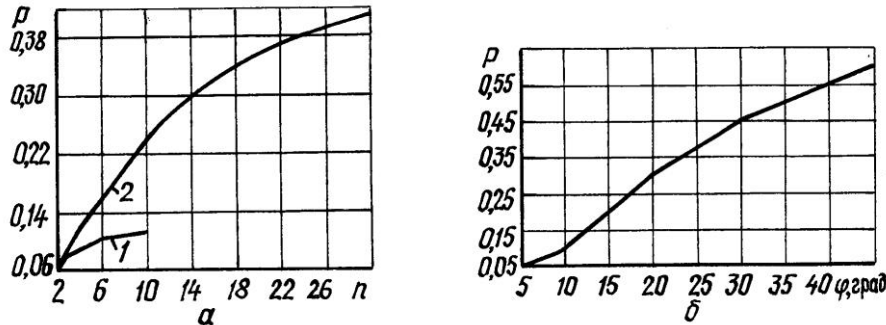


Рис. 2. Зависимости вероятности беспрепятственной валки дерева в заданном секторе от числа возможных направлений ( $a$ ) и максимальной вероятности беспрепятственной валки дерева от сектора валки ( $b$ ):

1 – для  $\varphi = 11^\circ$ ; 2 – для  $\varphi = 26^\circ$

$$P(n) = P(S_n) \left[ 1 - \prod_{j=1}^n \left( 1 - \prod_{i=1}^n P(S_i) \right)_j \right],$$

где  $S_n$  – размер площадки  $n$ -кратного перекрытия;

$S_i$  – размер площадки  $i$ -кратного перекрытия,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$j$  – число рассматриваемых направлений валки,  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Размер площадки  $n$ -кратного перекрытия при прочих равных условиях определяется величиной сектора валки ( $\varphi$ ). При всех рассматриваемых направлениях размеры площадок  $n$ -кратного перекрытия для секторов валки дерева  $\varphi \leq \frac{b_d}{h}$  и  $\varphi > \frac{b_d}{h}$  соответственно составят:

$$S_n \cong h(b_d - htg(\varphi/2)); \quad S_n \cong b_d^2 / 4 tg(\varphi/2).$$

Зависимость вероятности беспрепятственной валки дерева от числа рассматриваемых возможных направлений валки в секторах  $11$  и  $26^\circ$  при  $b_d = 5$  м,  $h = 20$  м и  $S_d = 30$  м<sup>2</sup> представлена на рис. 2,  $a$ .

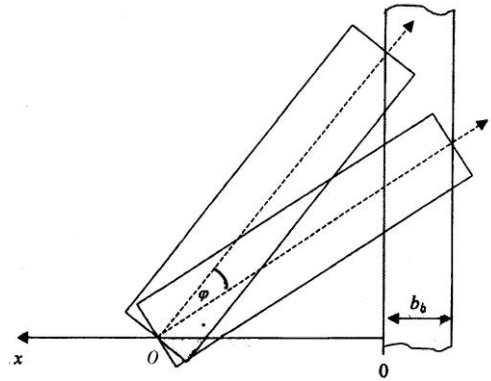
При росте числа возможных направлений полная вероятность беспрепятственной валки увеличивается и составляет не менее 90 % предела функции, которая при  $n \rightarrow \infty$  примет вид

$$P(n)^{\max} \Rightarrow P(S_n). \quad (3)$$

Полная вероятность валки дерева в секторе  $\varphi$ , включающая все возможные направления, максимальна для данных условий (рис. 2,  $b$ ).

Вероятность беспрепятственной валки дерева ограничивается технологией трелевки. При трелевке хлыстов за вершину дерева следует валить под острым углом к волоку. В зависимости от положения дерева, подлежащего валке, и применяемой технологии возможное направление валки на пасеке может быть выбрано из некоторого сектора  $\varphi$  (рис. 3), равного

Рис. 3. Расчетная схема для определения сектора валки дерева при традиционных технологиях (трелевка хлыстов)



$$\varphi = \arccos \frac{x}{h} - \arccos \frac{x + b_b}{h},$$

где  $b_b$  – ширина волока, м;

$x$  – расстояние от дерева, подлежащего рубке, до ближнего края волока,  $x < h - b_b$ .

Вероятность беспрепятственной валки дерева на волок (в непосредственной близости от него) определяют с учетом сектора валки и влияния вырубki (волока). График зависимости вероятности беспрепятственной валки дерева вершиной на волок от расстояния между деревом и границей волока представлен на рис. 4.

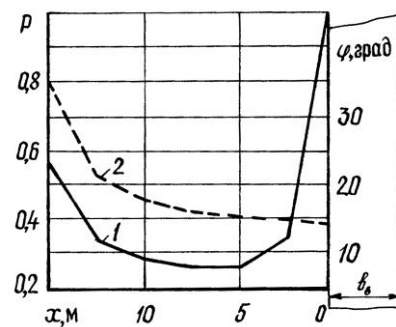
Близость волока до 7,5 м от его границы значительно влияет на вероятность беспрепятственной валки дерева и увеличение сектора валки.

На основании изложенного рекомендуем такую последовательность принятия решения при выборе оборудования и исполнителей для выборочной валки деревьев с заданными таксационными характеристиками и способом изреживания древостоя.

1. Наблюдают за валкой в древостое с фиксированной характеристикой. На основании полученной выборки рассчитывают среднее значение отклонения от заданного угла валки, а также его среднее квадратичное отклонение.

2. Определяют интервал, который с надежностью 90 % покрывает среднее значение отклонения от заданного направления валки.

Рис. 4. Зависимость максимальной вероятности беспрепятственной валки дерева вершиной на волок (1) и сектора валки (2) от расстояния между деревом и границей волока



3. Рассчитывают вероятность соударения деревьев, характеризующую точность валки дерева исполнителем с применением конкретного оборудования и надежность попадания  $\tilde{\beta}$  в интервал (3).

4. Полученные результаты для рассматриваемых вариантов валочного оборудования и вальщиков различной квалификации, наряду с другой производственной информацией, используют при выборе средств и исполнителя работ.

5. Вариант технологии рубки (узко-, средне- или широкопосечная) с формированием древостоя со случайным типом размещения деревьев по площади лесосеки может быть принят, если обеспечивается беспрепятственная валка деревьев с вероятностью не менее 90 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Прикладные задачи теории вероятности. – М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.

2. *Зайдель А.Н.* Погрешности измерений физических величин. – Л.: Наука, 1985. – 112 с.

3. *Сотонин С.Н.* О соответствии распределения деревьев на малой площади закону Пуассона // Комплексная механизация лесозаготовок и транспорт леса: Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1986. – С. 10–11.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 24.01.03

*Yu.A. Shirnin, E.F. Gerts*

#### **Stochastic Simulation of Tree Felling under Thinning**

The process of stochastic simulation of trees felling under thinning has been considered. The recommendations regarding equipment selection and performers for the work to be done are provided.

---