

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ КОМПЛЕКСАМИ МАШИН «ХАРВЕСТЕР – ФОРВАРДЕР»

Перемещение харвестера по лесосекам может происходить как по уже сформированным технологическим коридорам, так и при их непосредственном прорубании в процессе работы. Для обоих случаев в модели приняты следующие допущения:

- траектории передвижения харвестера криволинейны, но равноудалены от криволинейных границ соответствующих пасек;
- по окончании разработки каждой пасаки харвестер перемещается на следующую путем переезда по кратчайшей возможной траектории без возвращения по пройденному пути.

Минимальный общий путь $l_{\text{двХ}}$, проходимый харвестером для освоения всей лесосеки и общее количество технологических стоянок $n_{\text{тсХ}}$ определяется выражениями:

$$l_{\text{двХ}} = \frac{a_{\text{л}}}{2l_{\text{рабХ}}} (b_{\text{л}} - 2l_{\text{рабХ}}) + a_{\text{л}}, \quad (1)$$

$$n_{\text{тсХ}} = \frac{l_{\text{двХ}}}{l_{\text{перХ}}}, \quad (2)$$

где $l_{\text{перХ}}$ – расстояние между технологическими стоянками харвестера.

Участки лесосеки, обрабатываемые харвестером на каждой технологической стоянке (рисунок 1) математически ограничиваются осью абсцисс и функциями:

$$f_1(x) = \sqrt{l_{\text{рабХ}}^2 - x^2}; \quad f_2(x) = \sqrt{l_{\text{рабХ}}^2 - x^2} - l_{\text{перХ}}, \quad (3)$$

где $f_1(x)$ – функция рабочего вылета манипулятора, м; $f_2(x)$ – функция, ограничивающая участок, который разработан харвестером с предыдущей технологической стоянки, м; x – координата по оси OX положения точки подвеса рабочего органа манипулятора в системе координат OXY (Рисунок 1) и началом координат O , находящимся на оси поворота манипулятора, м.

В исследованиях отечественных и зарубежных ученых вопросы определения площадей участков, разрабатываемых манипуляторными лесозаготовительными машинами с одной технологической стоянки,

Площадь $S_{\text{обр}}$, которая разрабатывается харвестером с одной технологической стоянки определяется выражением:

где $b_{\text{кор}}$ – ширина ранее проложенного технологического коридора при его наличии, м

$$f_3(x) = \sqrt{l_{\text{раскр}}^2 - x^2}; \quad x = x_{\text{раскр}}; x = -x_{\text{раскр}}, \quad (5)$$

$x_{\text{раскр}}$ – координата x продольной границы за которой производится пакетирование лесоматериалов, м.

10

вых варианта размещения продольных границ $x_{\text{раскр}}$ (Рисунок 1). В первом случае (Рисунок 2, а) валка деревьев производится вдоль продольной оси движения харвестера, что удобно в зимнее время или при работе в низкополнотных древостоях. При таком технологическом процессе лесоматериалы и порубочные остатки располагаются технологического коридора справа и слева от харвестера, на минимальном расстоянии $x_{\text{раскр}}$, м:

$$x_{\text{раскр}} = \begin{cases} \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2}, & \text{если } \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2} \geq \frac{b_{\text{ГПДх}} + D_{\text{кр}}}{2} \\ \frac{b_{\text{ГПДх}} + D_{\text{кр}}}{2}, & \text{если } \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2} < \frac{b_{\text{ГПДх}} + D_{\text{кр}}}{2} \end{cases} \quad (6)$$

где $b_{\text{ГПДф}}$ – габаритная полоса движения форвардера на заданном участке, связанная с габаритной шириной форвардера $b_{\text{ф}}$ (м) зависимостями, изложенными в, м; $b_{\text{ГПДх}}$ – габаритная полоса движения харвестера на заданном участке, м; $D_{\text{кр}}$ – диаметр кроны обрабатываемых деревьев, м.

Типовая схема размещения сортиментов и порубочных остатков на лесосеке, представленная на Рисунок 2 б, должна использоваться при необходимости укрепления волока порубочными остатками на грунтах с низкой несущей способностью. При этом валка дерева осуществляется перпендикулярно продольной оси волока, порубочные остатки, получаемые при обрезке сучьев, размещаются на технологическом коридоре, а сортименты – слева и справа от него. Тогда:

$$x_{\text{раскр}} = \begin{cases} \frac{b_{\text{ГПДх}}}{2}, & \text{если } \frac{b_{\text{ГПДх}}}{2} \geq \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2} \\ \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2}, & \text{если } \frac{b_{\text{ГПДх}}}{2} < \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2} \end{cases} \quad (7)$$

При необходимости сохранения порубочных остатков для последующего сбора и переработки, удобно формировать из них валы по сторонам технологического коридора, как показано на рисунке 2 в. При этом граница $x_{\text{раскр}}$ определяется зависимостью:

$$x_{\text{раскр}} = \frac{b_{\text{ГПДх}}}{2} + b_{\text{вал}} + l_{\text{хг}}, \quad (8)$$

где $l_{\text{хг}}$ – габаритная длина харвестерной головки, м; $b_{\text{вал}}$ – допускаемая ширина вала порубочных остатков, м.

Координата $y_{\text{раскр}}$, м положения места раскряжевки вдоль оси OY определяется выражением:

$$y_{\text{раскр}} = \sqrt{l_{\text{раскр}}^2 - x_{\text{раскр}}^2}. \quad (9)$$

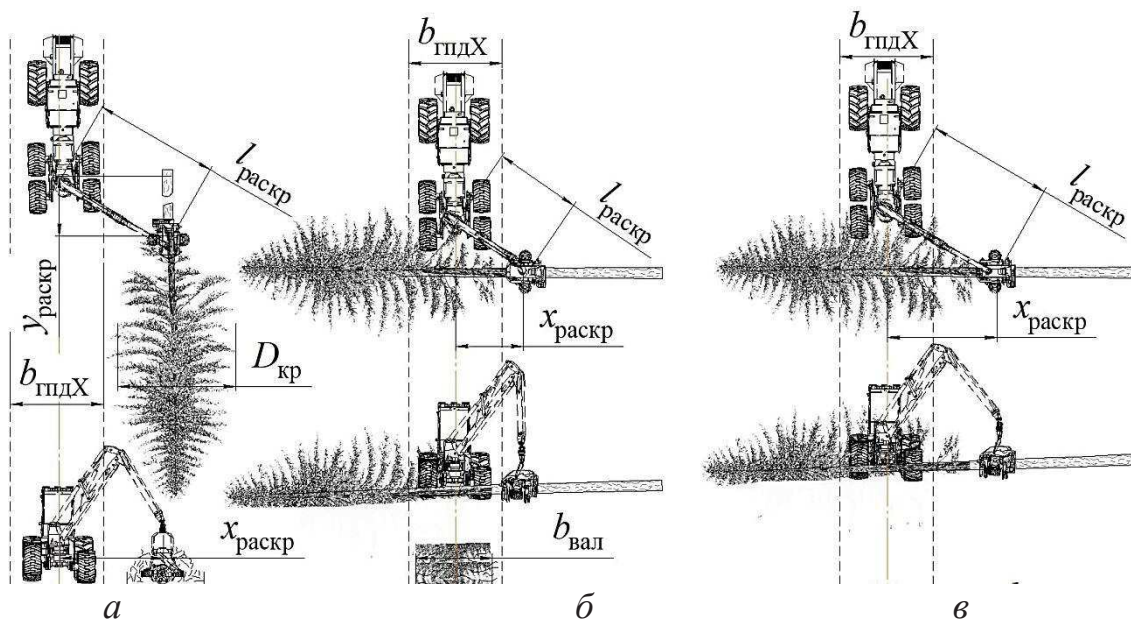


Рисунок 2 – Типовые схемы размещения лесоматериалов и порубочных остатков на лесосеке относительно мест технологических стоянок

Для последующей оценки временных и энергетических затрат на работу харвестера важно разделить участки лесосек, обрабатываемые харвестером с одной технологической на отдельные зоны, в которых он совершает однотипные действия. Так, деревья, растущие на левой полупасеке после валки, перемещаются в точку раскряжевki A_2 (Рисунок 1), а деревья с правой полупасеки – в точку раскряжевki A_1 . Сам процесс валки следует осуществлять таким образом, чтобы центр давления кроны упавшего дерева, находился близко к горизонтальной или вертикальной осям, проходящим через точки A_2 или A_1 соответственно, в зависимости от принятой типовой схемы размещения сортиментов (Рисунок 2). Такой подход обеспечит необходимую ориентацию сортиментов после обрезки сучьев и уменьшит необходимое количество корректирующих движений манипулятора.

Деревья, находящиеся за границей функции уровня раскряжевki $f_3(x)$, перемещаются в точки раскряжевki A_1 и A_2 путем уменьшения вылета манипулятора, а деревья, находящиеся до границы $f_3(x)$ – путем его увеличения.

Величина $\Delta l_{\text{ман}i}$, на которую должен быть сокращен или увеличен вылет манипулятора после валки i -го дерева, определяется выражением:

$$\Delta l_{\text{ман}i} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} - l_{\text{раскр}}, \quad (10)$$

где X_i и Y_i – координаты положения i -го дерева относительно оси поворота манипулятора, м.

В обоих случаях, последовательно или параллельно с подтаскиванием деревьев, осуществляется поворот манипулятора в направлении места раскрывки на требуемый угол $\Delta\alpha_{\text{ман}i}$, рад:

$$\Delta\alpha_{\text{ман}i} = \arctg\left(\frac{Y_i}{X_i}\right) \cdot \arctg\left(\frac{y_{\text{раскр}}}{x_{\text{раскр}}}\right). \quad (11)$$

Расположение деревьев на отдельных лесосеках весьма разнообразно. Так могут наблюдаться локальные сгущения деревьев, куртины и прогалины. Однако ученые лесоводы сходятся во мнении, что при больших объемах выборок лесосек, вне зависимости от способа лесовосстановления (искусственного или естественного) уже к 20-летнему возрасту распределение деревьев по площади близко к равномерному. При этом количество стволов деревьев на 1 га площади $n_{\text{ств}}$, шт и на всей лесосеке $n_{\text{ствЛ}}$, шт до и после прохода харвестера определяется согласно зависимости:

$$n_{\text{ств}} = \frac{S_{\text{сеч}}(1 - i_{\text{руб}})}{\left(\frac{\pi \cdot d_{1,3}^2}{4}\right)}, \quad n_{\text{ствЛ}} = \frac{S_{\text{сеч}}(1 - i_{\text{руб}})a_{\text{л}}b_{\text{л}}}{10000\left(\frac{\pi \cdot d_{1,3}^2}{4}\right)}, \quad (12)$$

где $i_{\text{руб}}$ – интенсивность проводимой рубки. До проведения рубки харвестером $i_{\text{руб}} = 0$; $S_{\text{сеч}}$ – сумма площадей сечений на 1 га при полноте равной 1, м².

Для моделирования координат X_i и Y_i расположения каждого i -го дерева (Рисунок 1) рационально применять 2 основных подхода. Первый – для технологических процессов рубок прочистки в искусственно посаженном лесу. Деревья в нем располагаются рядами с шириной междурядья $b_{\text{мр}}$, м и средним расстоянием между деревьями в ряду $l_{\text{др}}$:

$$l_{\text{др}} = \frac{10000}{n_{\text{ств}}b_{\text{мр}}} \quad (13)$$

Моделирование иных видов рубок ухода и главного пользования основывается на случайном равномерном распределении координат деревьев по площади лесосеки с последующим их приведением к месту одной технологической стоянки харвестера с началом координат в точке O (Рисунок 1).