



ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630*03

Э.Ф. Герц, С.В. Залесов, В.А. Копнов

Герц Эдуард Федорович родился в 1953 г., окончил в 1981 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 100 печатных работ в области организации и оптимального управления технологическими процессами лесопромышленного производства.

E-mail: gerz.e@mail.ru



Копнов Виталий Анатольевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Уральский государственный университет, доктор технических наук, директор Института качества жизни, заведующий кафедрой управления качеством Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 100 печатных работ в области управления качеством и надежностью лесных машин и производств.

Моб. тел.: 8(922) 145-55-01

**ВЫБОР МАРШРУТА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УЗКОЗАХВАТНЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН В РЕДИНАХ**

Разработана математическая модель выбора маршрута перемещения узкозахватных лесозаготовительных машин по взаимоспряженным кривым; приведены результаты имитационного моделирования непрямолинейного перемещения в процессе заготовки древесины в редилах.

Ключевые слова: вырубка редин, узкозахватная лесозаготовительная машина, выбор маршрута, крутизна маневрирования, движение по взаимоспряженным кривым.

Совершенствование технологических процессов и оборудования для выполнения лесосечных работ, непрерывный поиск новых совершенных решений, отбор наиболее жизнестойких из них привел к ситуации, в которой на рынке лесозаготовительных машин (ЛЗМ) преобладают манипуляторные с гусеничным или колесным двигателем.

Манипуляторы устанавливаются с возможностью поворота на 360° (полноповоротные) или на несколько меньший угол, но с возможностью работы с обеих сторон машины (широкозахватные). Максимальные вылеты манипуляторов ЛЗМ обусловлены, в основном, массой базового шасси и перемещаемого груза (дерева). Наиболее эффективно машина работает с деревьями, масса которых близка к расчетной грузоподъемности манипулятора, что позволяет при нормативных затратах времени на выполнение цикла достигать максимальной производительности.

Поэтому крупные производители предлагают технологические машины для рубок в молодняках, средневозрастных и спелых древостоях с учетом максимального диаметра дерева в месте спиливания. Однако при проведении

рубок главного пользования в высокобонитетных насаждениях диапазон варьирования деревьев по крупности может превышать предельные для машины значения. В результате проведения условно сплошной рубки на лесосеке остается некоторое количество крупномерных деревьев. Их число зависит от условий места произрастания и варьируется от нескольких штук до нескольких сотен деревьев, которые остаются после вырубki доступных для широкозахватных ЛЗМ деревьев и представляют собой редины. Завершать вырубку крупномерных деревьев можно с помощью моторных пил, а в условиях возрастания дефицита трудовых ресурсов и повышения их стоимости – узкозахватных ЛЗМ.

Очевидно, что узкозахватные ЛЗМ, в отличие от широкозахватных и полноповоротных, на каждой рабочей позиции срезают только одно дерево, поэтому стратегия выбора маршрута их перемещения по лесосеке должна отличаться. При заготовке леса ЛЗМ, вообще, и узкозахватной в редирах, в частности, необходимо выбирать такой маршрут перемещения по пасеке или ленте, разрабатываемой за один проход, при котором путь, проходимый ЛЗМ при разработке лесосеки, был бы минимальным, а ширина ленты – максимальной. Непрямолинейный маршрут перемещения ЛЗМ в процессе прохождения ленты леса с поворотами позволяет оператору в качестве очередного выбирать ближайшее дерево, находящееся в стороне от продольной оси ленты, увеличивая тем самым ее ширину, разрабатываемую за один проход, и соответственно уменьшая путь перемещения ЛЗМ, отнесенный к одному заготовленному дереву.

Цель нашего исследования – разработать математическую модель выбора маршрута перемещения узкозахватных лесозаготовительных машин по взаимосопряженным кривым.

В основу математической модели выбора маршрута узкозахватной ЛЗМ положено движение по взаимосопряженным кривым. Поворот на месте гусеничных ЛЗМ связан со значительными потерями энергии и времени на буксование, а для колесных он вообще не возможен.

Узкозахватная ЛЗМ с рабочей позиции заготавливает в редирах, как правило, только одно дерево. В качестве очередного дерева всегда рассматривается ближайшее по оси абсцисс. В предлагаемой нами модели выбора маршрута приняты следующие допущения и ограничения:

на стоянке в рабочей позиции машина располагается вдоль ленты, причем абсцисса стоянки машины и абсцисса заготавливаемого дерева равны: $x_{mi} = x_j$;

взаимное положение машины и дерева, для заготовки которого осуществляется переезд, определяется минимальным и максимальным вылетом

рабочего органа: $r + \frac{d_j}{2} \leq x_{mi} - x_j \leq R - d_j$;

радиус поворота ЛЗМ при переезде ограничивается минимально допустимым радиусом: $R_{nj} \geq R_{nm}$;

необходимость заготовки всех деревьев, расположенных на разрубаемой ленте со стороны вырубki: $y_j^{\text{дост}} \leq y_{j+1}^{\text{недост}}$.

Необходимый радиус поворота для переезда к очередной рабочей позиции определяется следующим образом:

$$R_{nj} = \frac{\Delta y^2 + \Delta x^2}{4\Delta y}.$$

Расстояние между двумя рабочими позициями зависит от их взаимного расположения:

при $\Delta x \geq \Delta y$ расстояние переезда складывается из двух взаимосопряженных дуг радиусом R_{nj} и составляет

$$l_k = R_{nj} \alpha,$$

где α – угол между продольной осью ленты и направлением переезда между двумя смежными рабочими позициями,

$$\alpha = 2\pi - 4\arctg \frac{\Delta x}{\Delta y};$$

при $\Delta x < \Delta y$ маршрут состоит из двух взаимосопряженных дуг радиусом R_{nj} и отрезка прямой l_n :

$$R_{nj} = \frac{\Delta x}{2}; \quad l_n = \Delta x - \Delta y - z,$$

где z – величина, характеризующая взаимное положение дерева и машины на двух смежных стоянках,

$$z = (y_{j+1} - y_{m+1}) - (y_j - y_{mi}).$$

Средняя ширина ленты, пройденная ЛЗМ за один проход,

$$b = \frac{n_3 \cdot 10^4}{L_n N_n},$$

где n_3 – число деревьев, заготовленное на ленте, шт.;

L_n – длина ленты, м;

N_n – число деревьев на гектаре, шт.

В соответствии с математической моделью перемещения ЛЗМ был разработан и моделирующий алгоритм.

Для имитационного эксперимента на основании анализа работы узкозахватной ЛЗМ в качестве варьируемых факторов, определяющих расстояние переезда между деревьями при случайном их распределении на площади, были приняты:

число деревьев на 1 га;

крутизна маневрирования, определяемая радиусом поворота.

Уровень варьирования факторов выбирали на основании целесообразности маневрирования ЛЗМ при переезде, которая, в свою очередь, определяется уменьшением расстояния переезда, отнесенного к одному заготовленному дереву, и увеличением ширины разрубаемой ленты леса. Для густоты насаждения минимальный и максимальный уровни варьирования

приняты соответственно 2 и 6 (100 шт./га). Для колесных тракторов минимальный радиус поворота ограничен конструктивно, для гусеничных тракторов он может равняться нулю. Однако поворот на месте связан со значительными потерями времени и энергии при буксовании. В практике работы гусеничных машин минимальный радиус поворота ограничен 2...4 м. На этом основании нижний и верхний уровни варьирования минимального радиуса поворота были приняты соответственно 4 и 8 м.

Эксперимент на имитационной модели проводили по полному факторному плану 2^2 . Для определения числа дублированных опытов и нормальности распределения выходной величины в центре плана был поставлен эксперимент с 190-кратным повторением.

Окончательный вид регрессионных моделей, отражающих зависимости расстояния переезда между стоянками и средней ширины ленты, имеют следующий вид:

$$L_g = 10,32 - 1,05N + 0,49R_{nm};$$

$$B = 8,07 - 0,79N - 0,36R_{nm} + 0,04NR_{nm}.$$

Значения отклика, предсказанные полученными уравнениями регрессии, приведены в таблице.

При проверке адекватности регрессионных моделей с использованием коэффициента детерминации было показано, что рассматриваемые уравнения регрессии достаточно определены включенными переменными. Этот вывод обеспечивается с доверительной вероятностью 0,95.

Проверка адекватности имитационной модели работе реальной ЛЗМ проведена сравнением выходных параметров модели и данных, полученных в натуральных экспериментах. Для оценки адекватности модели принято сравнение средних значений ширины ленты, разрабатываемой ВМ-4 за один проход. В работе Г.К. Виногорова* приведена средняя ширина ленты, разрабатываемая за один проход в зависимости от числа деревьев на 1 га и полученная в результате длительных наблюдений за работой ВМ-4.

Для оценки адекватности имитационной модели реальному процессу использовали результаты прогонов модели на суммарную длину ленты 4000 м в каждой точке плана. В таблице представлены данные натуральных измерений и экспериментов на имитационной модели.

Значение ширины (м) ленты, разрабатываемой узкозахватной ВМ-4

Число стволов, шт./га	Натурные измерения	Модель с минимальным радиусом поворота, м		
		4	6	8
200	4,2	5,4	4,8	4,3
400	3,0	4,1	3,7	3,3
600	2,5	2,8	2,6	2,4

* Виногоров Г.К. Лесосечные работы. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 272 с.

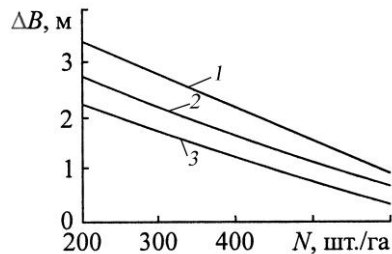


Рис. 1. Зависимость уширения ленты, разрушаемой узкозахватной ЛЗМ, от густоты насаждения при маневрировании с минимальным радиусом поворота: 1 – 4 м; 2 – 6; 3 – 8 м

Из таблицы видно, что результаты натуральных измерений лежат в диапазоне изменения результатов моделирования при различных минимальных радиусах поворота, причем эффективность крутизны маневрирования при переезде определяется густотой насаждения. По мере увеличения густоты насаждения ширина ленты, разрушаемая за один проход по данным натурального эксперимента, соответствует увеличению крутизны маневрирования ЛЗМ.

Увеличение ширины ленты, разрабатываемой узкозахватной ЛЗМ за счет маневрирования, в эксперименте варьируется от 0,4 до 3,4 м в зависимости от густоты насаждения и крутизны маневрирования. Графическая интерпретация уширения ленты, разрабатываемой за один проход, в зависимости от густоты насаждения с ограничением крутизны маневрирования приведена на рис. 1.

В общем случае ширина ленты, разрабатываемой за один проход для узкозахватной ЛЗМ, определяется как сумма вылета технологического оборудования и уширения ленты ΔB за счет маневрирования:

$$B = R + \Delta B.$$

На рис. 2 приведена зависимость расстояния переезда фланговой ЛЗМ с шириной рабочей зоны технологического оборудования 2 и 6 м, отнесенного к одному заготовленному дереву, в зависимости от густоты насаждения при прямолинейном перемещении по ленте и маневрировании.

Из рис. 2 следует, что изменение крутизны маневрирования в анализируемом диапазоне густоты древостоев оказывает незначительное влияние на среднее расстояние переезда ЛЗМ на одно заготовленное дерево (0,9...2,3 и 0,1...0,7 м для ЛЗМ с шириной рабочей зоны соответственно 2 и 6 м в зависимости от минимального радиуса поворота). Вместе с тем маневрирование позволяет уменьшить путь перемещения ЛЗМ, отнесенный к одному

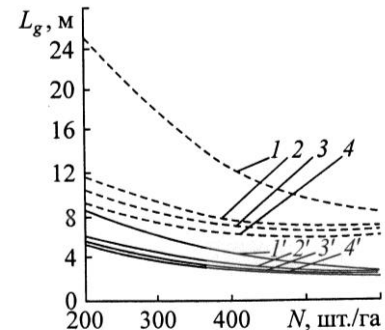


Рис. 2. Зависимость расстояния переезда, отнесенного к одному заготовленному дереву, от густоты насаждения при прямолинейном перемещении (1, 1') и маневрировании с минимальным радиусом поворота 8 (2, 2'), 6 (3, 3') и 4 м (4, 4') для ЛЗМ с шириной рабочей зоны 2 (2–4) и 6 м (2'–4')

заготовленному дереву, на 2,3...15,7 и 0,3...3,0 м для тех же условий при прямолинейном перемещении. Это для ЛЗМ с шириной рабочей зоны технологического оборудования 2 и 6 м составляет соответственно 28...63 и 11...36 %.

Таким образом, при вырубке низкополнотных древостоев и редины по мере снижения густоты древостоя возрастает предпочтительность перемещения ЛЗМ по непрямолинейному маршруту, а эффективность маневрирования убывает с увеличением ширины рабочей зоны технологического оборудования.

E.F. Gerts, S.V. Zalesov, V.A. Kopnov

Choosing Movement Route of Narrow-cut Forest Harvesters in Open Tree Stand

The mathematical model is developed for selecting the movement route of narrow-cut forest harvesters along the entangled curves. The results of simulation modeling of non the lineal movement in the harvesting timber process in the open stands are provided.

Keywords: open stands clear cutting, narrow-cut forest harvester, route selection, slope of maneuvering, movement along entangled curves.
