

УДК 630*323

Ю.А. Ширнин, Е.М. Онучин

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.



Онучин Евгений Михайлович родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Марийский государственный технический университет, аспирант МарГТУ. Имеет 5 печатных работ по исследованиям машин и механизмов для лесосечных и лесовосстановительных работ.



**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ
МНОГООПЕРАЦИОННОЙ ЛЕСНОЙ МАШИНЫ**

Предложена имитационная модель, позволяющая методом статистических испытаний получить уравнения регрессии для оценки влияния природно-производственных условий на доступность древостоев для лесных машин.

Ключевые слова: имитационное моделирование, траектория движения, лесная машина, лента леса, регрессионные модели, проникаемость древостоя.

5

Движение лесных машин в древостое при выполнении лесосечных и лесохозяйственных работ в настоящее время изучено мало. Вместе с тем исследование этого процесса позволяет решить ряд актуальных проблем экологичности лесосечных работ, эффективности лесовосстановительных и лесозащитных мероприятий.

Выбор маршрута движения лесной машины в древостое относится к классу задач перемещения по местности со случайным распределением препятствий. Отдельные вопросы данной проблемы рассмотрены в работах [1, 3–5 и др.].

Эмпирические зависимости максимальной ширины свободного прохода от густоты древостоя были получены ранее [1], но использовавшаяся модель не учитывала ряда факторов, важных для проектирования технологических процессов лесосечных и лесовосстановительных работ. В частности, модель предполагала равномерное распределение деревьев по обрабатываемой площади, максимальную ширину прохода определяли для «беско-

нечной» траектории, не оценивая отклонение реальной траектории от осевой линии (предпочтительной траектории). В работах [4] и [5] дана оценка доступности деревьев для машины при рубках ухода и подроста хвойных пород. Она выражается уравнениями регрессии, полученными при имитационном моделировании древостоев и технологических процессов рубок ухода. В этих моделях не рассматривают траекторию движения лесной машины, что существенно влияет на достоверность результатов и не позволяет сравнить возможные стратегии движения машины в древостое. В работе [3] предложены два способа определения максимально допустимых размеров машины без повреждения стволов и прикорневой части. Первый позволяет получить аналитические выражения для среднего расстояния между деревьями и принять их при определении максимальных габаритов машины. Второй предусматривает картирование лесоучастка и прокладку криволинейной трассы в процессе камеральной обработки. Результаты вычислений по первому способу ориентировочны, второй способ весьма трудоемок.

Цель настоящего исследования – разработать методику и алгоритм имитационной модели движения колесной лесной машины в древостое для получения уравнений регрессии, связывающих параметры машины (колея, база, максимальный угол поворота управляемых колес, скорость движения), древостоя (распределение деревьев по площади, густота, средний диаметр деревьев, его дисперсия) и технологии (теоретическая длина маршрута в древостое, ограничения по отклонению траектории от осевой линии маршрута) через доступность древостоя для машины.

Имитационная модель включает:

1) процедуру описания распределения деревьев по площади, которая разработана и изучена многими исследователями, в частности [2], она

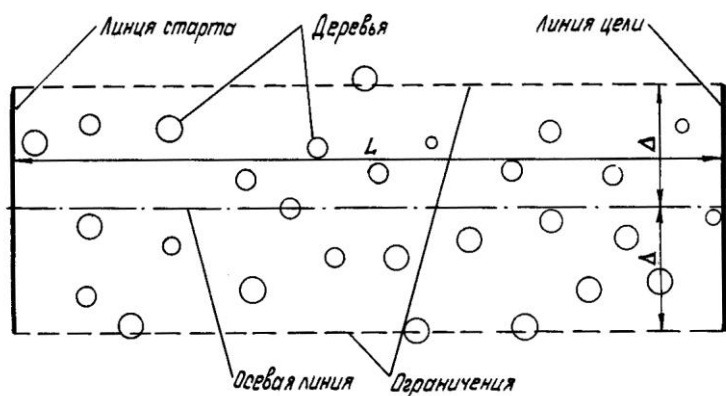


Рис. 1. Модель ленты леса, в котором осуществляется движение машины

дополнена линией старта, линией цели и ограничениями траектории от осевой линии обрабатываемой ленты леса (рис. 1);

2) модель траектории движения колесной лесной машины, для математического описания которой сделан ряд допущений.

Траектория движения представляет собой ломаную кривую, отдельные участки ее являются дугами окружности различного радиуса (что соответствует постоянному углу поворота управляемых колес машины), но одинаковой длины. Изменение угла поворота управляемых колес происходит мгновенно и только в вершинах ломаной линии, где он может быть либо увеличен, либо уменьшен на фиксированную величину, либо оставаться неизменным.

Длину машины представим в виде отрезка ее осевой линии, равного базе машины. За ширину примем увеличенную на половину колеи машины непроходимую зону вокруг деревьев. Из этого следует, что траектория не должна проходить по некоторой круговой площади вокруг каждого дерева, определяемой его диаметром у земли и непроходимой зоной, учитывающей колею и исключающей повреждение ствола дерева.

Анализ допущений позволяет сделать вывод, что решающее влияние на точность и ресурсоемкость моделирования траектории оказывают длина участка ломаной линии и угол поворота управляемых колес в ее вершине. Для определения этих параметров был выполнен натурный эксперимент, в ходе которого трактор МТЗ-80, оборудованный устройством для обозначения траектории движения, установленным на середине передней оси, совершал различные маневры. След трактора картировали и обрабатывали в среде Mechanical Desktop 5. Затем аппроксимировали траекторию на основе сделанных предположений и методом последовательного приближения подбирали искомые параметры так, чтобы ошибка аппроксимации не превышала 5 % от ширины колеи трактора.

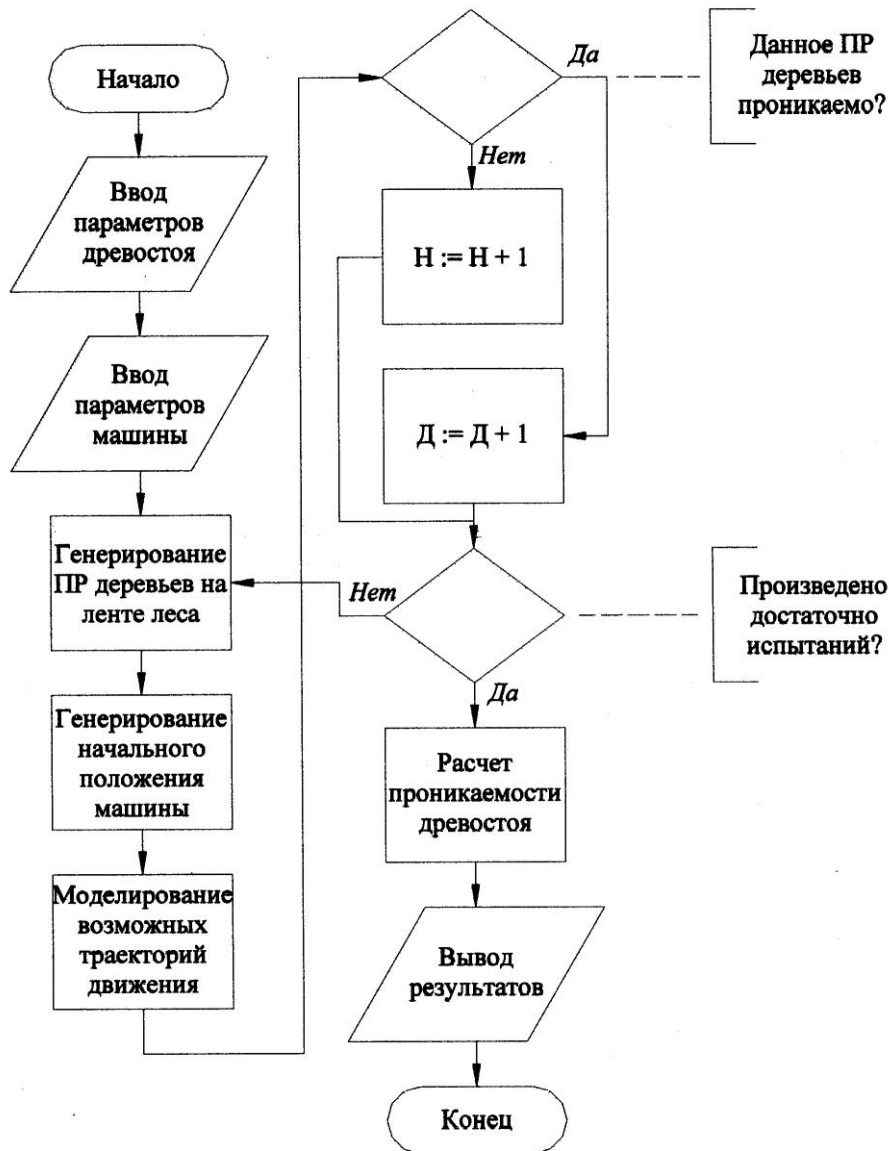


Рис. 2. Блок-схема алгоритма программы, имитирующей движение лесной машины в древостое (ПР – пространственное расположение)

Для реализации имитационной модели движения лесной машины на ЭВМ был составлен алгоритм, представленный на рис. 2, и написана программа на языке программирования Delphi 5.

Для моделирования траектории использованы следующие параметры (рис. 3, а): b_0 – положение середины передней оси на линии старта; φ_0 – начальный угол между продольной осью машины и линией старта; θ_0 – начальный угол поворота управляемых колес.

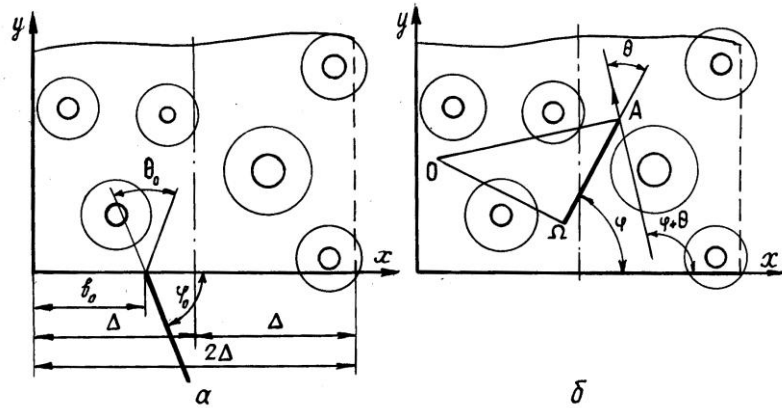


Рис. 3. Положение машины в древостое: а – в начальный момент движения; б – в процессе движения

Приняты следующие допущения:

угол θ , характеризующий поворот в плане управляемых колес, положителен при повороте против часовой стрелки от продольной оси машины, в противном случае он отрицателен;

b_0 – случайная величина, распределенная по нормальному закону и характеризующаяся математическим ожиданием $M(b_0) = \Delta$ и дисперсией $D(b_0) = \delta\Delta$. Углы φ_0 и θ_0 в первом приближении также являются случайными величинами с равномерным распределением, изменяющимися в пределах: $0^\circ < \varphi_0 < 180^\circ$ и $-\theta_{\max} < \theta_0 < \theta_{\max}$, где θ_{\max} – параметр машины.

Положение машины в древостое определяют точками A и Ω , соответствующими серединам передней и задней осей (рис. 3, б).

Для построения дуги ломаной линии решим систему уравнений

$$\begin{cases} y - y_{\Omega} = k^*(x - x_{\Omega}); \\ y - y_A = k_{\theta}^*(x - x_A), \end{cases}$$

где x, y – текущие абсциссы и ординаты линий OA и $O\Omega$;

x_A, y_A – координаты точки A ;

x_{Ω}, y_{Ω} – координаты точки Ω ;

$$k^* = -\frac{1}{k} \quad (k = \operatorname{tg}\varphi);$$

$$k_{\theta}^* = -\frac{1}{k_{\theta}} \quad (k_{\theta} = \operatorname{tg}(\varphi + \theta)).$$

Находим координаты точки O – центра поворота машины:

$$x_O = \frac{y_A - y_{\Omega} + k^*x_{\Omega} - k_{\theta}^*x_{\Omega}}{k^* - k_{\theta}^*};$$

$$y_O = k^*(x_O - x_{\Omega}) + y_{\Omega}.$$

Центральный угол дуги траектории определяем по выражению

$$\varphi = \frac{\Lambda}{OA},$$

где Λ – длина участка ломаной линии.

Частные случаи решения возможны при: $\varphi = 90^\circ$ – продольная ось машины параллельна осевой линии лесоучастка; $\theta = 0^\circ$ – машина совершает прямолинейное движение.

Новое положение машины определяют пересчетом координат точек A и Ω по формулам поворота относительно точки O . В результате получаем предполагаемый участок траектории. Движение по нему признают возможным, если траектория не выходит за ограничения и не пересекает непроходимую зону, при этом точки отрезка, представляющего машину, не накладываются на деревья.

Если движение по ленте возможно, то моделируют следующий участок до тех пор, пока точка A не достигнет линии цели. В этом случае данную ленту леса признают проникаемой, что фиксирует соответствующий счетчик. Когда движение по участку невозможно, в том же положении моделируют новый участок, изменяя угол θ на некоторую величину $\Delta\theta$. Если и в этом случае движение по траектории затруднено, то возвращаются к предыдущему положению машины. Если не удастся построить участок траектории, по которому возможно движение из начального положения машины (рис. 3, *a*), то такая лента леса считается непроникаемой, что фиксирует счетчик.

Испытав достаточно большое число реализаций ленты леса с данными параметрами, мы можем судить о возможности передвижения лесной машины, также характеризуемой некоторыми параметрами (метод статистических испытаний Монте-Карло).

По результатам многофакторного вычислительного эксперимента на имитационной модели строят регрессионные модели.

Полученные результаты исследований позволяют:

сравнивать стратегии движения лесных машин в древостое и выбирать рациональные по критерию проникаемости;

рассчитывать проникаемость древостоев при проектировании модульных лесных машин;

определять параметры технологических процессов (длина и ширина коридора), предусматривающих движение машин в древостое;

рассчитывать число вырубаемых (мешающих) деревьев при прокладке волоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность – машина. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
2. Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Лесосечные машины для рубок ухода: компьютерная система принятия решений. – Петрозаводск: Изд-во Петрозавод. ун-та, 1998. – 235 с.

3. Исследование лесопромышленных процессов. Ч. I. Изучение предметов обработки: Методич. указания к проведению исследовательской практики для студентов специальности 2601 / Сост. П.М. Мазуркин, С.М. Гордеев, М.Ю. Смирнов; Под ред. П.М.Мазуркина. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1994. – 64 с.

4. *Савельев А.Г.* Разработка технологии рубок ухода на основе исследования доступности деревьев при машинном способе заготовки (на примере лесов I группы Прибалтики): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск: БелТИ, 1989. – 24 с.

5. *Ширнин Ю.А., Лазарев А.В.* Определение доступности при машинной заготовке подроста из-под полога леса // Тр. науч. конф. по итогам науч.-исслед. работ МарГТУ (Йошкар-Ола. 20–22 апреля 1998 г.). – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – С. 102–105. – Деп. в ВИНТИ 30.09.98 № 2890-В 98.

Марийский государственный
технический университет

Поступила 24.01.03

Yu.A. Shirnin, E.M. Onuchin

Simulation of Movement of Multiple-function Logging Machine

Simulation model has been suggested allowing to obtain regression equations by Monte-Carlo method for assessment of the influence of nature-and-production conditions on stands accessibility for forest machines.

