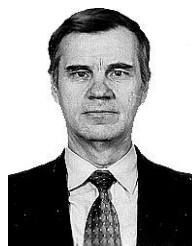


УДК 630*323

В.И. Посметьев, Е.В. Пухов

Посметьев Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1978 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет свыше 180 печатных работ в области технических средств и систем защиты машин от перегрузок.



Пухов Евгений Васильевич родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант ВГЛТА. Имеет 11 печатных работ по исследованиям машин и механизмов для лесовосстановительных работ.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН НА ВЫРУБКАХ**

Исследована проходимость основных марок гусеничных и колесных тракторов. Разработана методика выбора трактора при комплектовании почвообразующих агрегатов на вырубке, основанная на имитационном компьютерном моделировании.

Ключевые слова: имитационное моделирование, траектория движения, колесные и гусеничные машины, вырубки, проходимость.

Оптимизация энергозатрат, эффективность и экологичность эксплуатации колесных и гусеничных машин на предприятиях лесного комплекса при комплектовании лесохозяйственного агрегата в значительной степени зависят от выбора марки трактора. Для этой цели обычно используют общие соображения, оценочные аналитические зависимости или дорогостоящие экспериментальные исследования. Одним из основных факторов, влияющих на выбор марки трактора, является его проходимость.

Оценке проходимости колесных и гусеничных машин с применением имитационного компьютерного моделирования посвящен ряд работ, в которых исследователи предлагают как простые модели движения лесных почвообрабатывающих агрегатов (ЛПА), например при определении числа столкновений рабочих органов лесохозяйственных машин с препятствиями [1], так и более сложные [2, 3, 5]. Однако существующие модели носят частный характер и не обеспечивают пригодную для практического приме-

ния имитацию движения ЛПА на объектах, насыщенных препятствиями, основу которых составляют деревья и пни.

Цель нашего исследования – оценить проходимость основных марок гусеничных и колесных тракторов, используемых при лесовосстановлении на вырубках. Методика расчета основана на имитационном компьютерном моделировании.

Еще на стадии проектирования, а также при агрегатировании лесных машин необходимо знать проходимость агрегата, имеющего те или иные геометрические параметры: длину, ширину, колею, базу, ширину колес (гусениц), диаметр колес.

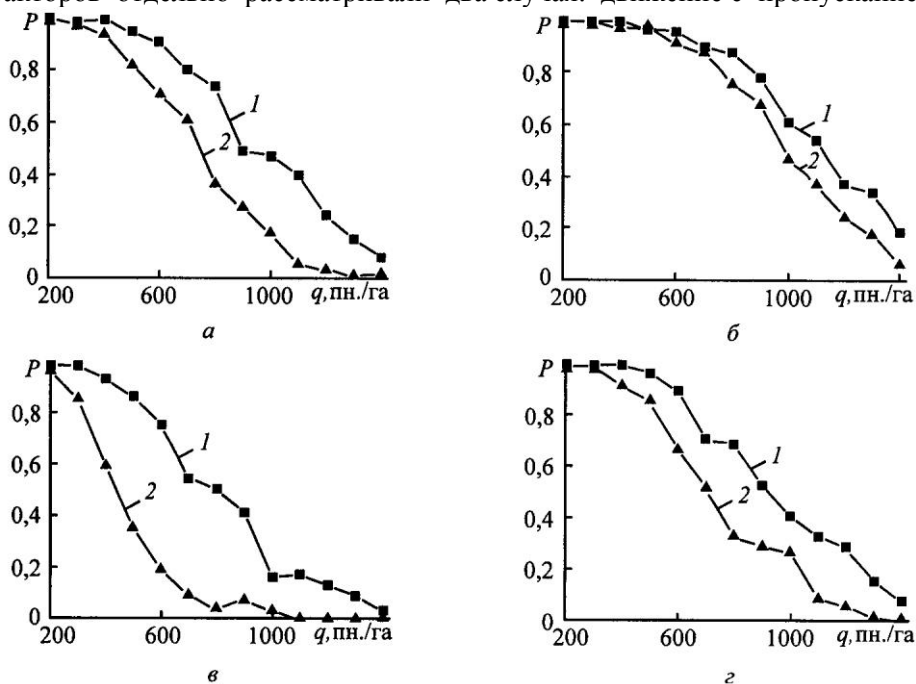
В качестве характеристики проходимости принимали вероятность P того, что машина пройдет заданное расстояние L вдоль линии гона без столкновения с пнями. Для вырубок с разной плотностью пней q вероятность P различна и представляет собой функцию $P(q)$. При ее определении для произвольной лесной машины использовали разработанный авторами алгоритм компьютерного управления движением трактора в имитационной модели [4]. Алгоритм позволяет найти оптимальную траекторию движения модельного трактора на заданном участке вырубки. Траекторию строили последовательной стыковкой элементарных движений (прямолинейные отрезки и дуги окружности) с использованием двухуровневого планирования.

Чтобы отыскать функцию $P(q)$ в модели, задавали вырубку с необходимой плотностью пней q , а затем многократно запускали трактор, чтобы подсчитать отношение числа удачных проездов N_y заданного расстояния L к общему числу N запусков и тем самым определить соответствующую статистическую вероятность $P(q) = N_y / N$. Площадь модельной вырубки составляла 1 га ($100 \times 100 \text{ м}^2$). Случайное распределение пней по площади вырубки осуществляли с использованием встроенного в систему программирования «Borland Delphi 5» генератора случайных чисел (random), позволяющего получать реализации некоторой случайной величины U , равномерно распределенной в интервале $(0; 1)$. При этом декартовы координаты (x_i, y_i) пней на квадратной вырубке размером $L \times L$ определяли случайными величинами $X = LU$ и $Y = LU$. Начальное положение трактора выбирали у границы вырубки случайным образом. По преодолении модельным трактором некоторого контрольного расстояния расчет прекращали. При этом необходимо было оставить впереди трактора определенное рабочее пространство, чтобы условия работы алгоритма построения траектории были одинаковыми по всей ее длине. Контрольное расстояние выбрано равным 50 м.

Для расчета функции $P(q)$ плотность пней изменяли дискретно от 200 до 1400 пн./га с шагом 100 пн./га. Для каждой плотности пней компьютерный эксперимент на проходимость трактора проводили по 200 раз. Эксперименты выполняли сериями по 50 запусков, чтобы по четырем сериям оценить статистический разброс искомой вероятности. В компьютерном эксперименте расчет прекращали и считали, что трактор не преодолел контрольное расстояние, если произошло одно из следующих событий: алгоритм не нашел подходящей траектории движения для трактора, и последний

уперся в пень; геометрический центр трактора отклонился от линии гона более чем на 20 м; вектор скорости трактора отклонился от положительного направления линии гона более чем на 90° . Таким образом, результат засчитывали и значение N_y увеличивали на единицу только в случае, если трактор удачно преодолел 50 м. Однако если трактор застревал на первых 10 м движения, данный неблагоприятный случай в статистическую выборку не включали. Причиной такого застревания обычно является неудачное начальное положение трактора (его выбирают случайным образом), в то время как конфигурация пней вполне позволяет их преодолевать. Таким образом, считали, что на первых 10 м трактор только «заезжает» на вырубку, и для определения вероятности использовали оставшиеся 40 м линии гона.

Анализ проходимости выполняли для четырех тракторов: двух гусеничных (ЛХТ-55, ДТ-75) и двух колесных (Т-157, МТЗ-80). Трактора в модели были представлены совокупностью геометрических областей, которые могут контактировать с препятствиями: гусеничные – двумя связанными прямоугольниками, колесные – четырьмя [4]. Учитывали также изменение взаимного положения этих прямоугольников при поворотах. Для каждого из тракторов отдельно рассматривали два случая: движение с пропуском



Зависимости вероятностей P проходимости тракторов ЛХТ-55 (а), ДТ-75 (б), Т-157 (в) и МТЗ-80 (г) от плотности q пней на вырубке с седланием (1) и без седлания (2) пней

пней между гусеницами (седланием пней) и без пропускания. Зависимости вероятностей P проходимости исследуемых тракторов от плотности q пней на вырубке представлены на рисунке.

Определение вероятности преодоления трактором вырубке относится к задачам теории протекания [6], в рамках которой может быть объяснен характерный вид графиков $P(q)$. Графики представляют собой так называемые «размытые ступеньки»: при увеличении q вероятность плавно уменьшается от 1 до 0 на достаточно большом интервале изменения q . В теории протекания подобная ступенька может быть описана всего двумя параметрами: один из них характеризует положение ступенькообразного спада, другой – степень размытия. В данном случае за первый параметр принимали критическое значение плотности пней $q_{кр}$, т. е. предельную плотность, при которой трактор еще может преодолеть данную вырубку по намеченной траектории без крутых поворотов, поворотов на месте или движения задним ходом (условно абсолютная проходимость).

Чтобы определить $q_{кр}$ по графикам на рисунке, задавали уровень вероятности $P(q_{кр}) = 0,9$. В качестве второго параметра использовали интегральный параметр $q_{ср}$, определяющий положение середины ступеньки, который вычисляли по формуле

Результаты компьютерной оценки проходимости тракторов на вырубке

Трактор	$q_{кр}$, пн./га		$q_{ср}$, пн./га	
	с седланием	без седлания	с седланием	без седлания
ЛХТ-55	580	440	930	697
ДТ-75	720	620	1064	951
Т-157	440	260	753	417
МТЗ-80	600	440	910	702

$$q_{ср} = \Delta q \sum_{i=1}^n P_i,$$

где $\Delta q = 100$ пн./га;

P_i – вероятности, соответствующие плотностям пней 100, 200, ..., 1400 пн./га;

n – число точек (q_i, P_i) на графике (в нашем случае $n = 14$).

Параметр $q_{ср}$ характеризует относительную проходимость трактора на вырубке, когда допускается его произвольное маневрирование (крутые повороты и движение задним ходом). При плотности пней выше $q_{ср}$ трактор уже не в состоянии двигаться по вырубке.

В ходе компьютерного эксперимента показатели проходимости исследуемых тракторов на вырубке $q_{кр}$ и $q_{ср}$ были получены с точностью ± 20 и ± 1 пн./га соответственно (см. таблицу).

Анализ этих результатов показывает, что наибольшей абсолютной проходимостью обладает гусеничный трактор ДТ-75, а наименьшей – колесный Т-157 (в 2,4 раза). Следует отметить, что, несмотря на «ломающуюся» раму трактора Т-157, он оказался наименее приспособленным для работы на

вырубке вследствие повышенных радиуса поворота и габаритов. Независимо от типа движителя, абсолютная проходимость всех тракторов при объезде пней уменьшается в среднем на 38 %, что указывает на целесообразность снижения высоты пней при подготовке вырубки к лесовосстановительным работам. Различия в проходимости между гусеничными и колесными тракторами выражены относительно слабо. Проходимость гусеничного трактора ДТ-75 в среднем в 1,4 раза выше, чем гусеничного ЛХТ-55, что в основном объясняется увеличенными габаритами последнего. Колесные трактора в среднем в 1,5 раза менее проходимы на вырубке вследствие повышенного радиуса поворота по сравнению с гусеничными. В то же время понижение пней на вырубке способствует повышению проходимости колесных тракторов в среднем в 1,5 раза, тогда как гусеничных лишь в 1,2 раза. Это объясняется «зашемлением» гусеничных полотен даже между низкими пнями при частых поворотах гусеничного трактора, тогда как колесные трактора легко преодолевают такие препятствия, объезжая или переезжая через них.

Выводы

1. Колесные трактора на вырубках в среднем в 1,5 раза менее проходимы, чем гусеничные, однако этот недостаток практически полностью устраняется при предварительном понижении пней на вырубке.

2. С учетом принятых технологий лесовосстановительных работ на вырубках и системы машин предложенный абсолютный показатель проходимости $q_{кр}$ тракторов может быть использован на этапе принятия оптимальных решений при комплектовании почвообрабатывающих агрегатов, отличающихся наибольшей производительностью на всех основных видах работ.

3. Предлагаемый относительный показатель $q_{ср}$ проходимости определяет максимальную плотность пней на вырубке, при которой еще возможно функционирование тракторов на вспомогательных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бартенев, И.М.* К вопросу столкновения лесохозяйственных машин с препятствиями на вырубках [Текст] / И.М. Бартенев, Е.В. Карамышев, В.Р. Карамышев // Вестн. Центр.-Чернозем. регион. отд-ния наук о лесе Акад. естеств. наук Воронеж. гос. лесотехн. академии / ВГЛТА. – Воронеж, 1998. – Вып. 1. – С. 230–234.

2. *Герасимов, Ю.Ю.* Моделирование, экологическая оптимизация и экспериментальные исследования техпроцессов и машин для рубок ухода на основе ГИС-технологий [Текст] / Ю.Ю. Герасимов, В.С. Сюнев // Там же. – Воронеж, 1999. – Вып. 2. – С. 115–118.

3. *Коришун, В.Н.* Моделирование движения агрегата по вырубке [Текст] // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: сб. науч. тр. / ВГЛТА. – Воронеж, 1999. – Вып. 7, ч. 1. – С. 61–64.

4. *Посметьев, В.И.* Алгоритм компьютерного управления движением почвообрабатывающего агрегата на вырубке [Текст] / В.И. Посметьев, Е.В. Пухов, В.В.

Посметьев // Технологии, машины и производство лесного комплекса будущего: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / ВГЛТА. – Воронеж, 2004. – Ч. 1. – С. 29–34.

5. *Ширнин, Ю.А.* Результаты имитационного моделирования движения колесной лесной машины по ленте леса [Текст] / Ю.А. Ширнин, Е.М. Онучин // Вестн. Моск. гос. ун-та леса. – Лесн. вестн. – 2003. – Вып. 5. – С. 107–114.

6. *Stauffer, D.* Introduction to percolation theory [Text] / D. Stauffer, A. Aharony. – London: Tyler & Francis, 1998. – 181 p.

Воронежская государственная
лесотехническая академия

Поступила 07.11.05

V.I. Posmetjev, E.V. Pukhov

Motion Simulation of Wheeled and Tracked Machines on Clear-cut Areas

Flotation of the main models of tracked and wheeled tractors is investigated. The technique of choosing tractor when kitting tillage aggregates at the clear-cut area has been developed based on computer simulation.
