

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 634.0.323.13.375

*Ю.И. Беленький, В.Д. Валяжонков,
А.М. Иванов, С.А. Демидов, Фам Нгок Линь*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕВОСТОЕВ С ЦЕЛЬЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ И ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНЫХ МАШИН

*Yu.I. Belenky, V.D. Valyazhonkov,
A.M. Ivanov, S.A. Demidov, Fam Ngok Lin*

SIMULATION MODELING OF FOREST STANDS WITH THE AIM OF IMPROVEMENT OF LOGGING OPERATIONS AND PARAMETERS OF FOREST MACHINES

Беленький Ю.И. – д-р техн. наук, проф., ректор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: belenkiy.y@kirlp.com

Валяжонков В.Д. – канд. техн. наук, доц. каф. эксплуатации транспортных и технологических машин Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru

Иванов А.М. – канд. с.-х. наук, зав. лаб. лесоводства Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, г. Санкт-Петербург. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru

Демидов С.А. – асп. каф. эксплуатации транспортных и технологических машин Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: serge309@yandex.ru

Фам Нгок Линь – асп. каф. эксплуатации транспортных и технологических машин Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: linhpham110@gmail.com

Belenky Yu.I. – Dr. Techn. Sci., Prof., Rector, St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: belenkiy.y@kirlp.com

Valyazhonkov V.D. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Operation of Transport and Technological Machines, St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru

Ivanov A.M. – Cand. Agr. Sci., Head, Lab. of Forestry, St. Petersburg Research Institute of Forestry, St. Petersburg. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru

Demidov S.A. – Post-Graduate Student, Chair of Operation of Transport and Technological Machines, St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: serge309@yandex.ru

Fam Ngok Lin – Post-Graduate Student, Chair of Operation of Transport and Technological Machines, St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: linhpham110@gmail.com

Цель исследования – реализация адекватного отклика прогнозирования рациональных параметров лесных машин и технологических процессов лесозаготовок. Это позволит оце-

нить влияние на них факторов природно-производственных условий (ППУ) путем имитационного моделирования (ИМ) древостоев; упростит работу и позволит заметно сни-

зять все виды затрат на статистическую оценку составления характеристики древостоя, технологических процессов и эффективности их применения. Метод исследования: исследование изменчивости диапазона каждой случайной величины M имитируемого параметра в допустимых пределах с целью установления его статистических характеристик с соблюдением выражения: $[M_{min}] \leq M \leq [M_{max}]$. При этом методе исследования изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Он дает возможность получить выборку любого параметра или показателя в виде изменчивости случайной величины. Имитация устанавливает сущность явления без проведения экспериментов в реальных условиях. Создана методика имитационного моделирования древостоев с учетом стохастического характера параметров природно-производственных условий. Данная методика заметно снижает временные, трудовые, инвестиционные и другие виды затрат, так как выполняется без проведения экспериментальных работ. При этом модель изучаемой системы с достаточной точностью описывает реальную систему. Полученные модели древостоев создают возможность проведения физического моделирования взаимодействия способов и средств технологического обеспечения с ППУ. Физическое моделирование функционирования системы «способ воздействия – техническое средство – ППУ» методом подобия открывает возможности решения по созданию новых и совершенствованию существующих технологий лесосечных работ; созданию новых и совершенствованию существующих лесных машин; рациональному техническому взаимодействию с лесной средой.

Ключевые слова: имитационное моделирование древостоев, стохастический характер параметров, природно-производственные условия.

The research objective was the implementation of an adequate response of forecasting of rational parameters of forest cars, technological processes and the efficiency of their application on the influ-

ence of the factors of natural working conditions (NWC) by imitating modeling (IM) of forest stands. This will simplify the work and will significantly reduce the cost of all kinds of statistical evaluation of the characteristics of the stand. Research methods included the research of the variability of ranges of each random variable of M of the imitated parameter in the allowed limits with the purpose of the establishment of its statistical characteristics observing the expression $[M_{min}] \leq M \leq [M_{max}]$. With the help of this method of research the studied system was replaced with the model accurately describing the real system that was used in carrying out experiments with the purpose of obtaining information about this system. It gives an opportunity of receiving the selection of any parameter or an indicator in the form of variability of a random variable. The imitation establishes the essence of the phenomenon without carrying out experiments in actual practice. The technique of imitating modeling of forest stands taking into account stochastic nature of parameters of natural working conditions has been created. This technique considerably reduces temporary, labor investment and other types of expenditures as it works without carrying out experimental works. At the same time the model of the studied system, with sufficient accuracy describes the real system. The received models of forest stands create the possibility of carrying out physical modeling of the interaction of the ways and means of technological support from NWC. Physical modeling of functioning of the system "a way of influence – a technical means – NWC" by the method of similarity gives possibilities of the decision on how to create new and improve existing technologies of felling works; create new and improve existing forest cars; technically interact with the forest environment rationally.

Keywords: simulation modeling of forest stands, stochastic nature of parameters, natural and production conditions.

Введение. Обоснование выбора значений параметров вновь создаваемых и совершенствуемых лесных машин, выбора технологий лесосечных работ и технических средств их реализации неразрывно связано с природно-производственной характеристикой условий их эксплуатации. При этом надо учитывать, что каждая лесорастительная зона характеризуется

своим многофакторным разнообразием природно-производственных условий (ППУ).

Согласно своей природе, факторы ППУ объединены в климатическую группу, группу лесоэксплуатационных условий и группу состава и структуры насаждений с таксационными параметрами древостоев [1–5]. Количество факторов, входящих в данные группы, около пятидесяти, но, как отмечается в рекомендациях ЦНИИМЭ [1], влияние не всех факторов является существенным на параметры вновь создаваемых и совершенствуемых лесных машин, а также выбора технологий лесосечных работ и технических средств.

Согласно рекомендациям, изложенным в работах [1–5], основными влияющими факторами являются крупномерность деревьев в эксплуатируемых насаждениях, рельеф местности, почвенно-грунтовые условия, породный состав насаждений, количество деревьев из расчета на 1 га и их распределение по площади.

Параметры и показатели приведенных факторов ППУ эксплуатации лесных машин имеют стохастический характер. Основными источниками информации о параметрах и показателях являются материалы лесоустройства и лесотаксационные справочники. Однако приведенные в них данные представлены постоянными осредненными значениями.

Случайная природа изменчивости значений параметров и показателей ППУ усложняет установление статистической их оценки и выявление вероятности событий их появления. Без знания случайной изменчивости значений параметров и показателей ППУ невозможно объективно отразить их влияние на параметры создаваемых и совершенствуемых лесных машин, а следовательно, выявить оптимальные или близкие к ним значения параметров этих машин. Отсутствие данных знаний также негативно отражается на выборе рациональных технологий и машин для их выполнения.

Основной объем информации о значениях параметров и показателей ППУ выявляют экспериментальным путем. Это требует больших затрат труда, времени и финансов. Особенно это касается получения достоверной исходной информации для статистической оценки случайной природы каждого параметра и показателя древостоя.

Цель исследования. Реализация адекватного отклика прогнозирования рациональных параметров лесных машин, технологических процессов лесозаготовок и эффективности их применения на влияние факторов ППУ путем имитационного моделирования (ИМ) [6, 7]. Это упростит работу и позволит резко снизить все виды затрат на статистическую оценку составления характеристики древостоя.

При этом методе исследования изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Он дает возможность получить выборку любого параметра или показателя в виде изменчивости случайной величины. Имитация устанавливает сущность явления без проведения экспериментов в реальных условиях.

Имитационное моделирование в большинстве случаев выполняют с помощью генератора случайных больших чисел. Данным методом открывается возможность моделировать площади древостоев для сплошных, постепенных и выборочных рубок главного пользования, а также для выполнения рубок ухода по осветлению, прочистке, прореживанию и проходных рубок.

Основные параметры и показатели, характеризующие древостой, являются случайными величинами, изменяющимися по нормальному закону распределения. Большинство из них сосредоточено в 90–95%-м доверительном интервале этого распределения.

Методы исследования. Исследование изменчивости диапазона каждой случайной величины имитируемого параметра в допустимых пределах с целью установления его статистических характеристик с соблюдением выражения

$$[M_{\min}] \leq M \leq [M_{\max}].$$

Результаты и их обсуждение. Воспользуемся данным методом и смоделируем древостой для проведения проходных рубок ухода со следующими исходными данными:

- площадь насаждений составляет 1 га (100 на 100 м);
- возраст древостоя 50...60 лет;
- смешанный древостой с породным составом 4ЕЗС2Б1Ос;
- количество стволов 800 шт/га;
- средний диаметр ствола дерева на высоте

1,3 м составил: ели – 28 см, сосны – 22, березы – 28, осины – 30 см;

- хвойный подрост высотой в среднем 1,5 м, расположенный отдельными куртинами на площади 110 м²;

- основными почвенно-грунтовыми условиями являются грунты второй категории с 10-процентным мозаичным включением грунтов третьей категории на площади 180 м²(по классификации ЦНИИМЭ [1]);

- основными элементами микропрофиля поверхности древостоя являются впадины, возвышения и валуны различной конфигурации с неравномерным расположением по площади. Их количество соответственно составило: 85, 60 и 55 шт/га.

Для отражения в моделях древостоя приведенных исходных данных воспользуемся двенадцатизначными случайными числами, имитируемыми генератором. При этом отдельный

знак числа будет нести случайную информацию об определенном показателе, что представлено схемой на рисунке 1.

Первые четыре знака предназначены для определения координат дерева на площади древостоя. Из них два первых знака указывают на место расположения квадрата 10x10 м, в котором расположено дерево, а два вторых – координаты дерева в этом квадрате. В целом получаемые цифры являются номером дерева.

Остальные знаки числа, с 5-го по 12-й, отражают характеристику основных показателей древостоя. Из них конкретные знаки характеризуют следующие параметры и показатели: 5, 6 и 7 – дерева; 8, 9 и 10 – подрост; 11 и 12 – условия почвогрунта и микропрофиля. Данные характеристики древостоя оцифровываются в рамках отведенного значения в диапазоне от 0 до 9 исходя из вероятности появления ожидаемого события.



Рис. 1. Схема генерирования двенадцатизначных случайных чисел для определения стохастического характера параметров и показателей древостоя

Фрагмент модели древостоя, полученной с помощью имитационного моделирования, приведен на рисунке 2. На схеме представлены распределение деревьев по площади древостоя

и характеристики этих деревьев и жизнеспособного подростка. Каждое дерево и каждая куртина подростка имеют собственное обозначение. Например:

$$\frac{5479C}{D28H22V0,58Л} \quad \text{и} \quad \frac{54+55\text{Подрост}}{ХвN1300h1,5S12}$$

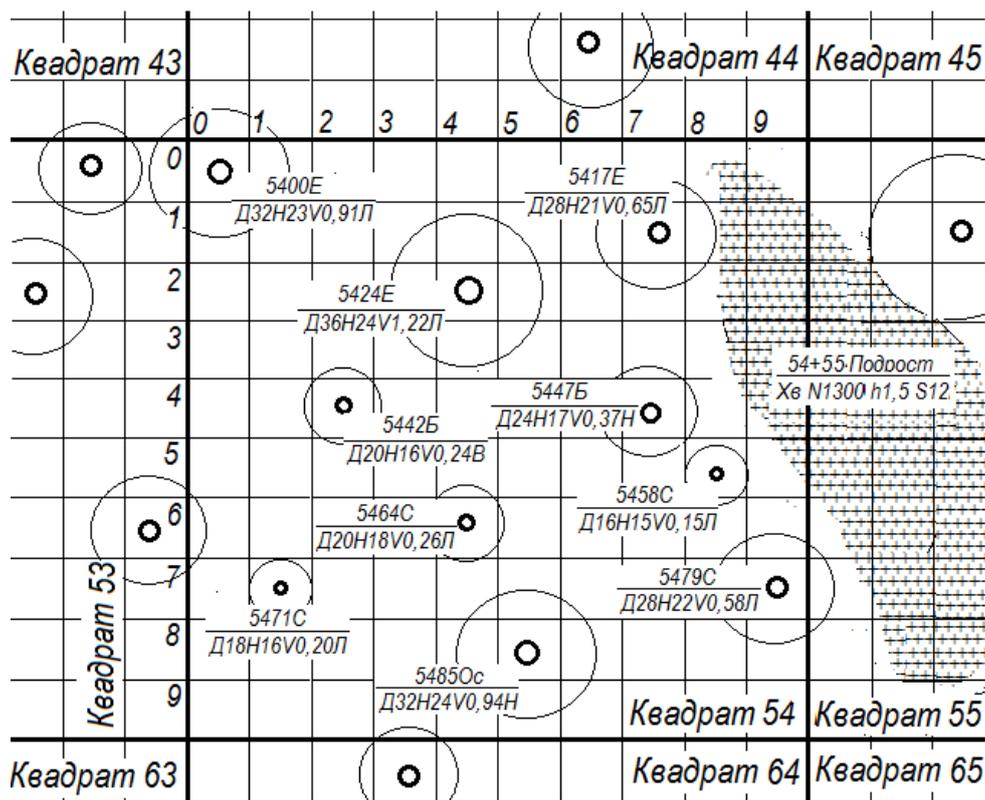


Рис. 2. Фрагмент модели древостоя, смоделированного имитацией

В первом обозначении число в числителе указывает координату расположения дерева в древостое и одновременно является его номером. Далее буквой представлена порода дерева (в данном случае С – сосна). В знаменателе Д28 отражает диаметр ствола дерева на высоте 1,3 м (в см), Н22 – высоту дерева (в м), V 0,58 – объём ствола дерева (в кубометрах) и последняя буква (в данном случае Л – лучшее) – хозяйственно-биологический признак.

Во втором обозначении сумма чисел в числителе указывает номера квадратов, в которых расположены куртины подроста. В знаменателе первые буквы отражают хозяйство по основным породам (в данном случае Хв – хвойное). Далее N1300 – количество подроста (в шт/га), h1,5 – его высоту (в м) и S12 – площадь куртины подроста.

Оцифруем параметры и показатели характеристики древостоя для возможного отражения вероятности их появления в виде событий. Для этого воспользуемся цифровым рядом от 0 до 9, входящих в последующие знаки после четвертого в генерируемом случайном числе. Вероятность появления деревьев по породному

составу и по хозяйственно-биологическому признаку в математическом и оцифрованном виде приведена в таблице.

При оцифровке диаметра стволов деревьев необходимо учитывать, что каждая порода имеет свои статистические характеристики данного параметра, являющегося случайной величиной, распределяемой по нормальному закону.

Величины высоты H и диаметра кроны D_K дерева, объёма V его ствола, расстояния от коренной шейки до нижней кромки кроны $H_{ш-к}$, а также диаметров пня по срезу D_0 и коренной шейке $D_{ш}$ устанавливаются с помощью аналитических зависимостей по каждой породе дерева в зависимости от диаметра на высоте груди $D_{1,3}$ [4, 5].

$$\left. \begin{matrix} H \\ V \\ D_K \\ D_0 \\ H_{ш-к} \\ D_{ш} \end{matrix} \right\} = f(D_{1,3})$$

Площадки куртин благополучного хвойного подроста $S_{Хв}$ и почвогрунтов третьей категории $S_{П-ч}$ изменяются в пределах $[5M^2] \leq S_{Хв} \leq [15M^2]$ и $[4M^2] \leq S_{П-ч} \leq [12M^2]$.

**Вероятность появления деревьев по породному составу
и хозяйственно-биологическому признаку в математическом и оцифрованном виде**

Вероятность появления события					
породного состава дерева			хозяйственно-биологического признака дерева		
Порода	Вероятность	Оцифрованный вид вероятности	Признак	Вероятность	Оцифрованный вид вероятности
Ель	$P_E = 0,4$	$P_{E1} = 0$ или $P_{E2} = 1$ или $P_{E3} = 2$ или $P_{E4} = 3$	Лучшее	$P_L = 0,7$	$P_{L1} = 0$ или $P_{L2} = 1$ или $P_{L3} = 2$ или $P_{L4} = 3$ или $P_{L5} = 4$ или $P_{L6} = 5$ или $P_{L7} = 6$
Сосна	$P_C = 0,3$	$P_{C1} = 4$ или $P_{C2} = 5$ или $P_{C3} = 6$	Вспомогательн.	$P_B = 0,2$	$P_{B1} = 7$ или $P_{B2} = 8$
Береза	$P_B = 0,2$	$P_{B1} = 7$ или $P_{B2} = 8$	Нежелательное	$P_H = 0,1$	$P_{H1} = 9$
Осина	$P_{Oc} = 0,1$	$P_{Oc1} = 9$			

Это составит в среднем 11 площадок куртин и 23 площадки с почвогрунтами третьей категории. Места расположения площадок куртин и почвогрунтов целесообразно устанавливать после распределения деревьев в древостое. При этом необходимо придерживаться расположения куртин в окнах древостоя, а площадок с почвогрунтами во впадинах микропрофиля.

Высота валунов h_v , глубина и площадь соответственно впадин $a_{вп}$, $S_{вп}$ и возвышений $h_{вв}$, $S_{вв}$ изменяются в пределах:

- валуны – $[25\text{см}] \leq h_v \leq [50\text{см}]$;
- впадины – $[0,3\text{м}] \leq a_{вп} \leq [0,6\text{м}]$ и $[5\text{м}^2] \leq S_{вп} \leq [10\text{м}^2]$;
- возвышения – $[0,3\text{м}] \leq h_{вв} \leq [0,5\text{м}]$ и $[5\text{м}^2] \leq S_{вв} \leq [12\text{м}^2]$.

Оцифровка параметров микропрофиля для возможного отражения вероятности их появления в виде событий выполнена аналогично оцифровке параметров и показателей древостоя.

Выводы. Разработанная методика с использованием ИМ открыла возможность создавать модели древостоев с выявлением случайных величин их основных параметров и показателей, а также случайного расположения координат деревьев в древостое. Главным достоинством методики является получение конечного результата без проведения трудоемких и затратных экспериментальных работ по сбору материалов в реальных ППУ.

Полученные модели древостоев создают возможность проведения физического моделирования взаимодействия способов и средств

технологического обеспечения с ППУ. Физическое моделирование функционирования системы «способ воздействия – техническое средство – ППУ» методом подобия открывает возможности решения следующих задач:

- создание новых и совершенствование существующих технологий проведения рубок главного пользования и рубок ухода;
- создание новых и совершенствование существующих лесосечных машин;
- обоснование выбора способов и средств технологического обеспечения проведения рубок ухода и главного пользования в конкретных ППУ;
- рациональное взаимодействие технических средств с лесной средой.

ИМ заметно снижают временные, трудовые, инвестиционные и другие виды затрат. При этом модель изучаемой системы с достаточной точностью описывает реальную систему, с которой проводятся эксперименты.

Таким образом, имитационное моделирование без проведения экспериментальных работ в реальных условиях обеспечивает:

- создание модели древостоев конкретных природно-производственных условий;
- создание и совершенствование технологий и параметров машин с оптимальными или рациональными значениями;
- выбор технологий и технических средств для выполнения рубок ухода и главного пользования.

Литература

1. Типизация природно-производственных условий лесозаготовительных районов. – Химки: Изд-во ЦНИИМЭ, 1986. – 23 с.
2. Желдак В.И. Лесоводство: учеб. Ч. 2. – Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2004. – 200 с.
3. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР / Д.П. Столяров, В.С. Моисеев, А.Г. Мошкалева [и др.]. – Л.: Изд-во ЛТА, 1984. – 320 с.
4. Черных В.Л., Сысуюев В.В. Информационные технологии в лесном хозяйстве: учеб. пособие. – Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2000. – 378 с.
5. Александров В.А., Александров А.В. Моделирование технологических процессов лесосечных машин: учеб. для вузов. – СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2009. – 297 с.
6. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 246 с.
7. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.

Literatura

1. Tipizacija prirodno-proizvodstvennyh uslovij lesozagotovitel'nyh rajonov. – Himki: Izd-vo CNIIMJe, 1986. – 23 s.
2. Zheldak V.I. Lesovodstvo: ucheb. Ch. 2. – Pushkino: Izd-vo VNIILM, 2004. – 200 s.
3. Lesotaksacionnyj spravocnik po Severo-Zapadu SSSR / D.P. Stoljarov, V.S. Moiseev, A.G. Moshkalev [i dr.]. – L.: Izd-vo LTA, 1984. – 320 s.
4. Chernyh V.L., Sysuev V.V. Informacionnye tehnologii v lesnom hozhaj-stve: ucheb. posobie. – Joshkar-Ola: Izd-vo MarGTU, 2000. – 378 s.
5. Aleksandrov V.A., Aleksandrov A.V. Modelirovanie tehnologicheskikh processov lesosechnyh mashin: ucheb. dlja vuzov. – SPb.: Izd-vo SPbGLTA, 2009. – 297 s.
6. Shannon R. Imitacionnoe modelirovanie sistem – iskusstvo i nauka. – M.: Mir, 1978. – 246 s.
7. Maksimej I.V. Imitacionnoe modelirovanie na EVM. – M.: Radio i svjaz', 1988. – 232 s.



УДК 634.023.1

С.В. Ушанов, Е.В. Палкин

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ЦЕПОВОЙ
ОКОРКЕ СЕГМЕНТНЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ЕЛИ**

S.V. Ushanov, E.V. Palkin

**MATHEMATICAL PROCESSING OF EXPERIMENTS' RESULTS OF FLAIL DEBARKING
OF SEGMENT OF FIR-TREE TIMBER**

Ушанов С.В. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. высшей математики и информатики Сибирского государственного технологического университета, г. Красноярск. E-mail: palest@yandex.ru

Палкин Е.В. – ст. преп. каф. технологии и оборудования лесозаготовок Сибирского государственного технологического университета, г. Красноярск. E-mail: palest@yandex.ru

Ushanov S.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Higher Mathematics and Informatics, Siberian State Technological University, Krasnoyarsk. E-mail: palest@yandex.ru

Palkin E.V. – Asst, Chair of Technology and Equipment of Logging, Siberian State Technological University, Krasnoyarsk. E-mail: palest@yandex.ru