

Научная статья  
УДК 004.942

## ВИРТУАЛЬНАЯ ЛЕСОСЕКА ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Владимир Викторович Побединский<sup>1</sup>, Николай Николаевич Теринов<sup>2</sup>,  
Эдуард Федорович Герц<sup>3</sup>, Андрей Вениаминович Мехренцев<sup>4</sup>

<sup>1, 3, 4</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Ботанический сад Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> pobedinskiyv@mail.ru

<sup>2</sup> nnterinov@mail.ru

<sup>3</sup> gertsef@m.usfeu.ru

<sup>4</sup> mehrentsevav@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Рассмотрена проблема совершенствования лесозаготовительных процессов на основе современных информационных технологий, в частности имитационного моделирования с графической визуализацией его результатов и цифрового прототипирования. Первым шагом к развитию таких информационных технологий будет создание виртуального объекта исследований, в данном случае лесосеки или модельного участка леса. Разработана схема процесса разработки модели лесосеки, по которой создана программа на языке дескрипторной графики среды MATLAB. Предложенная модель может использоваться для исследования, прогнозирования поведения и оптимизации параметров любых лесозаготовительных процессов, технологий, работы систем машин, развития лесообразовательных процессов и других лесохозяйственных мероприятий.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, виртуальная лесосека, дескрипторная графика

**Благодарности:** исследование выполнено в рамках госбюджетной темы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FUWW-2023-0010.

**Для цитирования:** Виртуальная лесосека для имитационного моделирования / В. В. Побединский, Н. Н. Теринов, Э. Ф. Герц, А. В. Мехренцев // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 374–380.

Original article

## VIRTUAL CUTTING AREA FOR SIMULATION MODELING

Vladimir V. Pobedinsky<sup>1</sup>, Nikolay N. Terinov<sup>2</sup>, Eduard F. Gerts<sup>3</sup>,  
Andrey V. Mekhrentsev<sup>4</sup>

<sup>1, 3, 4</sup> Ural State Forest University, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> Ural State Agrarian University, Russia

<sup>2</sup> Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> pobedinskiyv@mail.ru

<sup>2</sup> nnterinov@mail.ru

<sup>3</sup> gertsef@m.usfeu.ru

<sup>4</sup> mehrentsevav@m.usfeu.ru

**Abstract.** The problem of improving timber industry technologies on the basis of modern information technologies, in particular, simulation modeling with graphic visualization of its results and digital prototyping is considered. The first step towards the development of such information technologies will be the creation of a virtual research object, in this case, a cutting area or a model forest area. A scheme of the process of developing a cutting area model has been developed, according to which a program in the language of descriptor graphics of the MATLAB environment has been created. The proposed model can be used to study, predict the behavior and optimize the parameters of any logging processes, technologies, the operation of machine systems, the development of forest formation processes and other forestry activities.

**Keywords:** simulation; virtual cutting area; descriptor graphics

**Acknowledgements:** the study was carried out within the framework of the state budget theme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FUWW-2023-0010.

**For citation:** Virtual'naya lesoseka dlya imitacionnogo modelirovaniya. [Virtual cutting area for simulation modeling] (2025) V. V. Pobedinsky, N. N. Terinov, E. F. Gerts, A. V. Mekhrentsev. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies] : proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 374–380. (In Russ).

На сегодня цифровые двойники массово внедряются в науку и производство [1]. При этом основой цифрового прототипирования и цифровых двойников являются имитационные модели функционирования рассматриваемых объектов.

Современные средства моделирования позволяют в высокой степени реалистично визуализировать результаты моделирования, что делает цифровые двойники достаточно адекватными и эффективными для практического использования в любых процессах [1–3].

Для графической визуализации создается виртуальный рассматриваемый объект, который управляется средствами имитационной модели [3].

В случае моделирования процессов лесообразования или лесозаготовительных процессов объектом исследований является участок лесонасаждения или лесосека, так как в дальнейшем должны проводиться различные лесосечные, лесохозяйственные мероприятия.

Таким образом, основными параметрами виртуальной лесосеки должны быть определены ее геометрические параметры и параметры древоостоя с детализацией по каждому дереву. Поскольку лесосека, образно говоря, должна «знать» все необходимое о каждом дереве, то первыми параметрами должны быть координаты расположения дерева, его порода, толщина на уроне 1,3 м и высота. В настоящей работе для программной реализации виртуальной лесосеки в качестве инструментария выбрана система дескрипторной графики MATLAB [4]. Дескрипторная или управляемая графика (Handle Graphics) основана на низкоуровневых графических функциях, что значительно расширяет ее возможности, так как позволяет обеспечить доступ ко всем свойствам графических объектов системы и управлять ими. Большим преимуществом здесь является возможность управления из имитационной модели, реализованной в приложении Simulink.

Таким образом, первым шагом к реализации методологии цифрового прототипирования объектов лесопромышленных технологий будет создание виртуальной лесосеки.

Создание цифровых моделей лесных экосистем может выполняться с различными целями. Это могут быть задачи сравнительного испытания моделей технологического оборудования для выполнения широкого комплекса лесохозяйственных мероприятий, включая все формы ухода; моделирование процессов сукцессии, а также реакции лесных экосистем в результате проведенных хозяйственных мероприятий. В перспективе моделирование реальных участков лесного фонда может использоваться долгосрочно, на несколько ревизионных периодов вперед, планирования лесохозяйственных мероприятий, рассматривая ряд альтернативных стратегий. В лесопромышленном комплексе цифровые модели альтернативных технологических процессов, реализованные на модели имеющегося лесного участка, могут рассматриваться как инструмент оперативного управления.

В начале проектирования лесосеки, точнее говоря делянки, задаются ее геометрические параметры, т. е. длина и ширина. Наиболее удобно будет задаться участком  $100 \times 100$  м, т. е. площадью в один гектар, что позволит достаточно просто пересчитывать и переходить к другим участкам. По-

скольку в дальнейшем должны моделироваться различные варианты лесосек, то должна быть определена плотность лесонасаждений. Следовательно, задается количество деревьев на уже определенной площади. Если следовать усредненным характеристикам, то можно задаться количеством порядка 600 деревьев. Предположим, что лесосека планируется для моделирования сплошных рубок, следовательно, возраст спелого древостоя будет 101 год. На этом поле размещаются элементы леса, т. е. генерируется распределение координат деревьев и формируются векторы данных с координатами  $X_i$  и  $Y_i$ . Задав координаты, в зависимости от таксационных характеристик, моделируется число хвойных и лиственных деревьев. Затем определяется полнота, моделируются диаметры деревьев на высоте 1,3 м. Высота деревьев рассчитывается по известным корреляционным уравнениям в зависимости от толщин и породы. Аналогично моделируется второй ярус леса под пологом – подрост и кустарники. На первом этапе это насаждение пока не рассматривается.

В оценке состояния ландшафтной поверхности важное значение может иметь наличие, местоположение и размеры биотопов, которые ЛЗМ должны обходить в процессе работы, поэтому моделируются их параметры, координаты, длина и ширина. Схема выполнения моделирования виртуальной лесосеки показана на рис. 1.

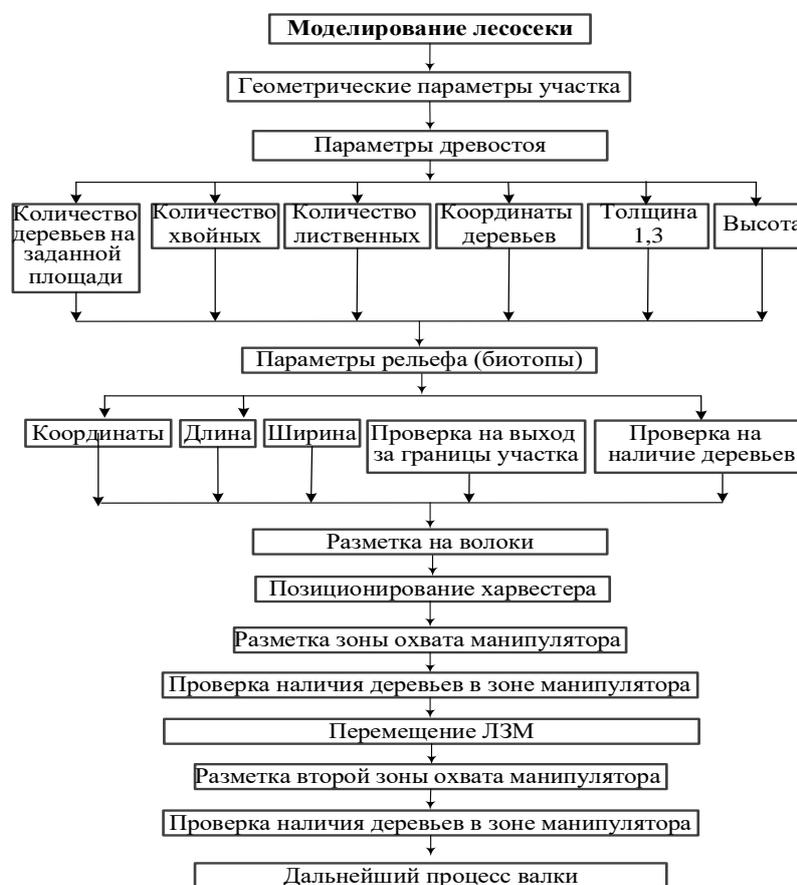


Рис. 1. Схема процесса моделирования виртуальной лесосеки

Моделирование организационно-технологических элементов лесосеки осуществляется с учетом топографии участка лесного фонда, отводимого в рубку, способа и вида назначенных рубок, системы лесосечных машин, предшествующих рубок.

Первичная транспортная сеть на лесосеке (пасечные и магистральные волоки), их направление намечается с учетом расположения транспортных путей (дорог, просек, технологических коридоров предыдущей рубки), а также рельефа местности.

Места складирования лесоматериалов назначаются в пределах лесосеки или за ее пределами с учетом возможности (наличие нелесных участков или других позволяющих свести к минимуму повреждения компонентов леса при складировании лесоматериалов). Их число на лесосеке и расположение уточняются методами оптимизации.

При разработке делянки ограничивается расстояние между технологическими коридорами (волоками), которое диктуется лесоводственными требованиями в зависимости от вида рубок.

Организационная структура пасеки определяется в первую очередь назначенным способом рубки и системой лесосечных машин.

Для манипуляторной ЛЗМ пасека (часть делянки, с которой древесина трелюется по одному волоку) делится на полосы:

- волок определенной ширины;
- ленты, доступные манипулятору ЛЗМ по обе стороны от волока;

При анализе возможных схем разработки первой пасеки рассмотрен классический вариант: обе полупасеки симметричны, их ширина определяется максимальным вылетом манипулятора.

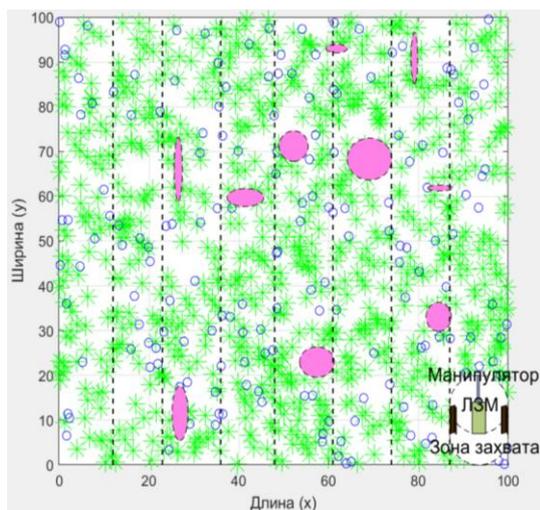
После моделирования древостоя следует рассмотреть процесс валки деревьев харвестером.

В общем виде следует предусмотреть процедуры позиционирования машины, выделить зону захвата манипулятора, а в этой зоне определить деревья для валки.

После валки и раскряжевки формируются пачки сортиментов вдоль волока, а машина должна переместиться вперед на следующую позицию до ближайших деревьев. Процесс валки циклически повторяется.

Построенная модель лесосеки в среде MATLAB и ее графическое исполнение показано на рис. 2, где приведены результаты процесса моделирования в соответствии со схемой (см. рис. 1).

Также на рис. 2, 3 показаны два положения ЛЗМ в процессе работы.



✱ – хвойные деревья;  
○ – лиственные;  
● – биотопы; ■ – штабель

Рис. 2. Результаты моделирования лесосеки в графической среде MATLAB

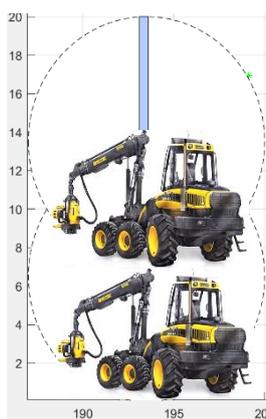


Рис. 3. Два положения харвестера в процессе валки леса

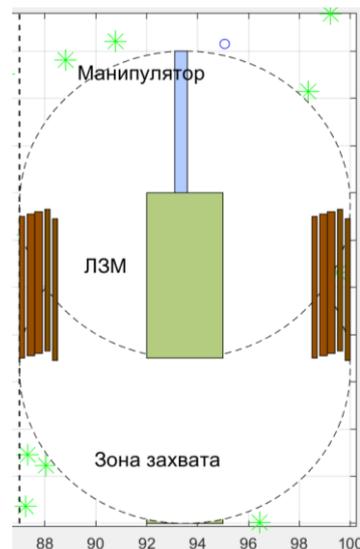


Рис. 4. Зоны захвата манипулятора и штабели сортиментов

В заключение можно отметить, что такая модель с визуализацией результатов является более адекватной, позволяет выполнять моделирование любых лесозаготовительных процессов, оценивать эффективность новых, перспективных технологий, лесохозяйственных мероприятий, прогнозировать развитие лесобразовательных процессов.

### Список источников

1. Побединский В. В., Ляхов С. В., Некрасов А. С. Визуализация работы цифрового прототипа процесса технической эксплуатации машин // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы XIV международной научно-технической конференции. Екатеринбург, 2023. С. 417–421.
2. Моделирование закомелистой части ствола лесоматериала в среде MATLAB / В. В. Побединский, И. Н. Кручинин, А. В. Берстенов [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. 2024. № 1. С. 23–31.
3. Имитационная модель подготовки машин к техническому обслуживанию и ремонту / С. В. Ляхов, В. В. Побединский, Ю. Н. Строганов [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. 2022. № 61. С. 63–68.
4. Салихова М. Н., Побединский В. В., Ляхов С. В. MATLAB для учебного процесса университета // Достижения и перспективы научно-инновационного

развития АПК : сборник статей по материалам III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган, 2022. С. 384–389.

## *References*

1. Pobedinsky V. V., Lyakhov S. V., Nekrasov A. S. Visualization of the work of a digital prototype of the process of technical operation of machines // Effective Response to Modern Challenges Taking into Account the Interaction of Man and Nature, Man and Technologies: socio-Economic and Environmental Problems of the Forest Complex : proceedings of the XIV International Scientific and Technical Conference. Yekaterinburg, 2023. P. 417–421.

2. Modeling of the back-to-back part of the timber trunk in the MATLAB environment / V. V. Pobedinsky, I. N. Kruchinin, A. V. Berstenev. 2024. № 1. P. 23–31.

3. Imitation model of machine preparation for technical service and repair / S. V. Lyakhov, V. V. Pobedinsky, Yu. N. Stroganov [et al.]. 2022. № 61. P. 63–68.

4. Salikhova M. N., Pobedinsky V. V., Lyakhov S. V. MATLAB for the educational process of the university // Achievements and prospects of scientific and innovative development of the agro-industrial complex : collection of articles based on the materials of the III All-Russian (National) Scientific and Practical Conference. Kurgan, 2022. P. 384–389.