

УДК 630*323, 630*332

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.61

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ С ОБРЕЗКОЙ СУЧЬЕВ У ПНЯ

М. А. Пискунов¹, Л. В. Щёголева¹, И. П. Матвеев²

¹Петрозаводский государственный университет,

Российская Федерация, 185910, Петрозаводск, пр. Ленина, 33

E-mail: piskunov_mp@list.ru

²ООО «КЦ Кей-Петрозаводск»,

Российская Федерация, 185035, Петрозаводск, ул. Красноармейская, 25

В работе представлены основные допущения и положения для построения программной системы, позволяющей моделировать расположение сучьев после валки деревьев, когда обрезка сучьев осуществляется бензопилой около пня. Показаны примеры визуализации изменения плотности сучьев по лесосеке при различных условиях.

Ключевые слова: валка деревьев; обрезка сучьев; лесосечные отходы; моделирование; программная система.

Введение. В процессе лесозаготовок на лесосеках образуется значительный объём отходов в виде сучьев, вершин, обломков стволов. Так, к примеру, общий объём сучьев, образующийся после лесосечных работ, достигает 15–20 % от объёма заготавливаемой древесины [1]. Эти ресурсы, несмотря на то, что относятся к отходам, тем не менее, представляют собой ценные вторичные древесные ресурсы для использования в биоэнергетике.

Проблема оценки ресурсного потенциала и вовлечения лесосечных отходов в переработку имеет долгую историю. Ещё в СССР этими вопросами занимались лесотехнические университеты и исследовательские институты лесоинженерного профиля.

Научный интерес к вопросам использования лесосечных отходов в России сохраняется и теперь, что подтверждается работами, которые опубликованы в последние пять лет. В частности, вопросы исследования источников и объёмов лесосечных отходов рассмотрены в работах [2, 3], направления использования отходов и

экономическое обоснование этого использования в работе [4], результаты исследований технологических аспектов заготовки отходов представлены в публикациях [5, 6].

Существуют различные схемы, технологии и системы машин для заготовки лесосечных отходов, которые описаны, например, в работах [7–10] и др. Системы машин и технологии для заготовки лесосечных отходов разделим на две группы: первая группа технологий, когда в качестве ресурсов для заготовки выступают древесные отходы, образующиеся в ходе технологического процесса заготовки деловой древесины, то есть процесс заготовки отходов выступает как вторичный процесс; вторая группа – когда заготовка энергетической древесины в виде отходов выступает как первичный и самостоятельный процесс.

Для систем машин первой группы характеристики образования отходов, такие как место преимущественного образования отходов (пасека, волок, погрузочная площадка, терминал) и плотность отходов

© Пискунов М. А., Щёголева Л. В., Матвеев И. П., 2018.

Для цитирования: Пискунов М. А., Щёголева Л. В., Матвеев И. П. Моделирование расположения лесосечных отходов при использовании технологий заготовки древесины с обрезкой сучьев у пня // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 2 (38). С. 61–73. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.61

на единицу площади, определяются особенностями первичного процесса. Варьируя систему машин, последовательность операций при заготовке деловой древесины или включая дополнительные требования к технологическому процессу, можно управлять процессом образования отходов, подготавливая их к дальнейшей эффективной заготовке и уменьшению безвозвратных потерь.

В работах специалистов отрасли подтверждается то, что характер образования отходов влияет на эффективность последующей работы машин по заготовке отходов. В работе [11] исследуется влияние распределения лесосечных отходов (лесосечные отходы распределены по всей лесосеке или сконцентрированы в одном месте) на производительность мобильной рубильной машины. Авторы в источнике [12] показывают увеличение расхода топлива и себестоимости извлечения отходов при использовании на заготовке харвестера и форвардера по сравнению с использованием валочно-пакетирующей машины и скиддера.

Влияние концентрации лесосечных отходов на эффективность пакетировщика сучьев исследовано в [13], эффективность машины повышается на 25–30 %, когда отходы собраны и сконцентрированы в кучи. Также в работе [14] отмечаются различия в себестоимости заготовки отходов, когда пакетировщик отходов работает на верхнем складе или на волоках. Себестоимость измельчения отходов в щепу на верхнем складе на 30 % меньше, чем при работе рубильной машины на волоках, где приходится собирать отходы, распределённые по пасекам [15].

В работе [16] отмечается, что процессы заготовки отходов необходимо интегрировать в основной технологический процесс заготовки деловой древесины, приводится анализ сильных и слабых сторон различных способов получения топливной щепы из отходов в зависимости от места работы рубильной машины: волока, верхний склад, терминал, двор потребителя.

В публикации [17] приводятся сведения о влиянии места расположения рубильной машины на экономические критерии получения топливной щепы из лесосечных отходов. Сортировка отходов, как способ расширить спектр направлений дальнейшей переработки отходов, исследован в [18]. Авторы в источнике [19] приводят сведения о том, что при разных характеристиках расположения отходов для их заготовки целесообразно использовать разные системы машин, анализ потерь отходов в зависимости от мест их сосредоточения представлен в работе [20].

В процессе заготовки леса с использованием вальщиков, оснащённых бензопилами, существуют технологические процессы, когда после валки и обрезки сучьев осуществляется трелёвка хлыстов или трелёвка сортиментов, если дополнительно хлыст раскряжёвывается. При трелёвке сортиментов или хлыстов за вершины валка деревьев осуществляется преимущественно вершиной на волок. Основной объём сучьев образуется на волоке. Сучья, которые образуются на пасеках, переносятся вальщиками на волок, складываются в отдельные кучи или оставляются в местах образования, а после лесосечных работ осуществляется специальная уборка лесосек от сучьев. При трелёвке хлыстов за комли основной объём сучьев остаётся на пасеках. Сучья могут также переноситься на волок для укрепления грунта или оставаться около мест валки, а затем происходит уборка лесосек.

Заготовка сучьев сопряжена с тем, что производительность машин на сборе сучьев определяется плотностью сучьев на 1 м² лесосеки в местах их скопления. Маленькая плотность сучьев на одном квадратном метре лесосеки увеличивает время, связанное со сбором сучьев и увеличивает безвозвратные потери сучьев, как вторичных древесных ресурсов. При меньшей плотности оператору необходимо сделать больше циклов: наведение – захват – перенос сучьев в грузовой отсек машины.

Расположение кроны деревьев по стволу, её размеры и форма подчиняются закономерностям [21]. Эти закономерности могут быть использованы для управления процессом валки деревьев и образованием сучьев на лесосеке. Валку деревьев можно осуществлять таким образом, чтобы после обрезки сучья образовывались преимущественно в отдельных зонах пасек с прогнозируемой плотностью на одном квадратном метре в местах этих скоплений.

В данной работе рассмотрим вопросы моделирования расположения сучьев на лесосеке после направленной валки деревьев, представим основные положения, на которых основывается это моделирование, а также некоторые показательные варианты и примеры расположения сучьев после валки деревьев, полученные с помощью разработанной программы.

Цель работы – моделирование распределения сучьев по площади лесосеки после валки деревьев бензопилами, реализация в виде программной системы и демонстрация некоторых примеров и результатов моделирования.

Исходные положения, допущения и методы для моделирования. После валки дерева и обрезки с него сучьев на лесосеке образуются хлысты или сортименты и сучья, которые могут быть распределены некоторым образом по всей площади лесосеки. Параметры этого распределения: плотность сучьев, компактность, расположение мест скопления относительно волока будут зависеть от размеров и формы крон деревьев и углов валки деревьев.

Для моделирования расположения сучьев рассмотрим лесосеку, которая представляет собой прямоугольную область. Эта область делится на пасеки. Волок проходит в центре пасеки. По волокам хлысты или сортименты трелюются на погрузочную площадку. Размеры лесосеки, расстояние между волоками и ширина волоков заданы (рис. 1).

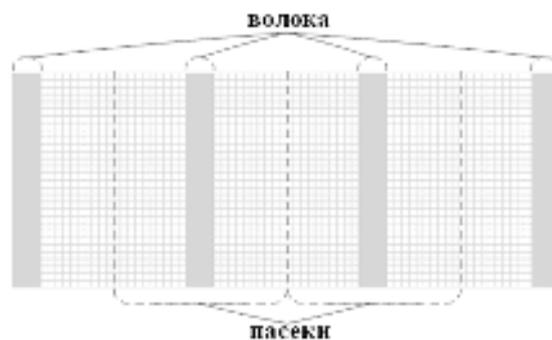


Рис. 1. Схема лесосеки

Задаются исходные данные о количественном и качественном составе древостоя:

- количественный состав задаётся через указание количества деревьев (N);
- породный состав задаётся в процентном соотношении пород;
- диаметр на высоте 1,3 м задаётся как распределение случайной величины, которая подчиняется закону нормального распределения.

Площадь лесосеки разбивается на одинаковые квадратные участки. Сторона участка равна 1 м. Для моделирования положения деревьев разыгрываются две случайные величины (координаты: X, Y). Первая (X) будет равномерно распределена по длине лесосеки, вторая (Y) – по ширине.

Кроме этого, после разыгрывания очередной координаты проверяется возможность нахождения дерева на этом участке. Возможность нахождения дерева складывается из двух условий:

- позиция дерева принадлежит площади рубки, а не площади волока;
- расстояние от позиции дерева до позиций ближайших деревьев не меньше заданного минимального расстояния между деревьями.

Таким образом, определяются позиции всех N деревьев на лесосеке.

При программной реализации этого алгоритма используются стандартные средства среды .net для генерации псевдослучайных чисел.

После определения позиции деревьев на лесосеке моделируются его качественные характеристики. В первую очередь моделируется порода дерева. Процентный состав леса задан, то есть распределение случайной величины, определяющей породу, задано. В работе рассматриваются только четыре основные породы: ель, сосна, берёза, осина. Эти породы являются лесообразующими для лесов Карелии.

Для программной реализации используется последовательность действий:

- разбивается отрезок $[0;1]$ на полуинтервалы, длины которых пропорциональны вероятностям встречи возможных пород на лесосеке;

- разыгрывается случайная величина, имеющая равномерное распределение на интервале $[0;1]$;

- определяется, в какой полуинтервал попадает полученное значение;

- по номеру интервала определяется порода.

После определения породы моделируется средний диаметр дерева на высоте 1,3 м. Распределение диаметра деревьев подчиняется нормальному закону распределения. Параметры распределения – смещение (средний диаметр) и масштаб. Средний диаметр необходимо определить для каждой породы.

Для моделирования значений случайной величины, имеющей стандартное нормальное распределение, используется преобразование Бокса-Мюллера.

Пусть x и y – независимые случайные величины, равномерно распределённые на отрезке $[-1, 1]$. Вычисляется $s = R^2 = x^2 + y^2$. Если окажется, что $|R| > 1$ или $R = 0$, то значения x и y генерируются заново. Как только выполнится условие $0 < R \leq 1$, по формулам:

$$z_0 = x \cdot \sqrt{\frac{-2 \ln s}{s}}, \quad z_1 = y \cdot \sqrt{\frac{-2 \ln s}{s}}$$

рассчитывается z_0 и z_1 , которые будут независимыми величинами, удовлетворяющими стандартному нормальному распределению.

После получения стандартного нормального распределения нужно перейти к нормальному распределению с параметрами η и σ^2 , где η – среднее значение диаметра, а σ – стандартное отклонение этой величины. Для этого используется формула $\xi = \eta + \sigma z$.

После моделирования породы и диаметра дерева определяется его высота, вес, весовая доля кроны, высота и ширина кроны в соответствии с лесотаксационными данными¹ [21].

Для моделирования распределения сучьев используется имитация валки. Определяется для каждого дерева лесосеки направление, в котором оно будет свалено. После этого определяется область, куда упадут спиленные сучья дерева. Проведение имитационных испытаний на однотипных составах леса с одинаковыми способами валки поможет выявить закономерности распределения сучьев.

Известны зависимости высоты (H_k) и ширины крон (D_k) от породы, диаметра и высоты дерева (H). На основании источника [21] отношения значений признаков представлены в табл. 1.

Каждая из представленных на лесосеке пород деревьев имеет свою форму кроны (рис. 2). Считаем, что формы крон берёзы, осины, ели и сосны можно одинаково аппроксимировать эллипсоидом. Для каждого дерева будем создавать проекцию кроны на плоскость земли после валки.

Считаем, что крона дерева симметрична относительно оси (ствола), а после валки дерева сучья срезаются таким образом, что они свободно падают на землю (специально не перемещаются). Разницу в весе сучьев внутри контура кроны не учитываем. Такое допущение возможно, если учесть, что сучья не просто падают, а спиливаются и, возможно, разбрасываются вокруг ствола.

¹ Лесотаксационный справочник / Б. И. Грошев, П. И. Мороз [и др.]. М.: Лесная промышленность, 1973. 208 с.

Таблица 1

Значения признаков, характеризующих размеры крон деревьев

Породы деревьев	Преобладающие формы крон	Отношения значений признаков	
		D_k/H	H_k/H
Сосна	Параболоидная	0,13	0,25
Ель	Конусовидная	0,17	0,575
Берёза	Яйцевидная	0,16	0,35
Осина	Шаровидная	0,18	0,3

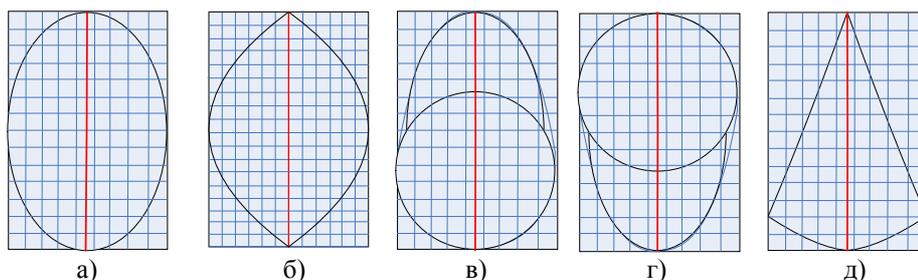


Рис. 2. Формы крон разных пород деревьев: а) приближение – параболическая форма; б) сосна – гиперболическая форма; в) берёза – яйцевидная форма; г) осина – яйцевидная форма; д) ель – конусовидная форма

Рассмотрим алгоритмы построения такой проекции:

- рассматривается матрица $(H_k/h) \times (D_k/h)$, где h – шаг дискретизации;
- составляется уравнение огибающей кроны;
- в связи с тем, что крона симметрична относительно оси – равномерно распределяем половину веса кроны по площади внутри огибающей;
- симметрично отображается значение половины матрицы относительно оси кроны.

Задача определения уравнения контура решается для разных пород по-разному: кроны сосны, берёзы и осины имеют параболическую огибающую (известны две точки пересечения и координаты вершины); кроны ели – треугольная область (угол кроны фиксирован).

Для учёта направлений валки на каждом из квадратных участков, на которые разбили площадь лесосеки, задаётся угол направления валки. Увеличение угла происходит по часовой стрелке. Известна позиция дерева на лесосеке и его высота. Зная катет и гипотенузу прямоугольного треугольника, находим угол между ними (см. рис. 3).

При валке бензопилами дерево валится в определённом направлении и не перемещается до обрезания сучьев. Таким образом, пень и комель хлыста находятся рядом.

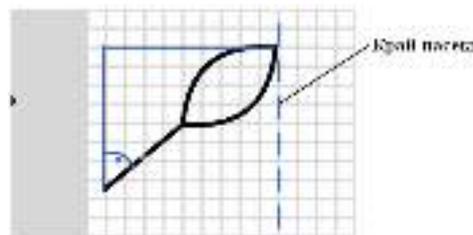


Рис. 3. Определение угла валки

После определения угла валки определяется место падения кроны. Известно положение дерева на лесосеке, угол направления валки, ширина и высота кроны, её вес и форма, высота ствола.

При валке дерева в направлении некоторого вектора k координаты этого вектора будут смещением выделенного квадрата кроны, который определяет место падения кроны, относительно координаты роста дерева на лесосеке. Таким образом, если координаты вектора k $\{a, b\}$, а координаты дерева на лесосеке $(c; d)$, то при валке в направлении этого вектора выделенный квадрат кроны попадёт в точку лесосеки с координатами $(a+c; b+d)$.

Рассмотрим теперь валку под углом α . Вновь необходимо найти смещение квадрата кроны относительно координат роста дерева. В этом случае можем просто повернуть систему координат дерева на угол α . Координаты вектора $k \{a, b\}$ в новой системе координат $\{a \cos \alpha - b \sin \alpha, a \sin \alpha + b \cos \alpha\}$.

Результаты. Результатом работы стала программная система, реализующая поставленные задачи. Для разработки программной системы была использована среда MS Visual Studio 2005.

Программная система (ПС) предназначена для моделирования распределения сучьев после валки и визуализации полученных результатов. Функции ПС:

- моделирование распределения древостоя и визуализация результата;
- моделирование валки и визуализация результата;
- осуществление возможности настройки всех исходных данных, касающихся лесосеки, древостоя и валки, необходимых для алгоритмов моделирования.

Внешний вид главного окна программы представлен на рис. 4.

В правой части окна расположены три вкладки.

1. «Характеристики лесосеки» – вкладка настройки параметров программы (рис. 5, а).

Назначение большинства элементов вкладки – задание необходимых параметров лесосеки.

2. «Параметры валки» – вкладка выбора настроек валки. Выбор из списка необходимого способа валки деревьев и задания угла валки (рис. 5, б).

3. «Действия» – основная вкладка. Её внешний вид представлен на рисунке главного окна программы (рис. 4). На вкладке находятся кнопки вызова основных функций программы.

Нажатие на кнопку «раскидать деревья» приводит к запуску моделирования распределения древостоя по площади лесосеки. Нажатие на кнопку «моделировать валку» вызывает функцию моделирования валки и отображения результатов в левой части окна. Кнопка «править справочник» – вызывает новое окно программы (рис. 6), где реализуется возможность изменения таксационных данных.

В ходе моделирования задаются входные данные, касающиеся характеристик площади лесосеки: количество пасек; ширина пасеки; ширина волока; длина лесосеки.

Входные данные, касающиеся состава древостоя на лесосеке: количество деревьев; встречаемость каждой из четырёх пород; минимальное расстояние между деревьями; средний диаметр ствола.

Кроме этого заданы справочные данные: зависимость высоты ствола, веса дерева и весовой доли кроны от диаметра ствола на высоте 1,3 м.

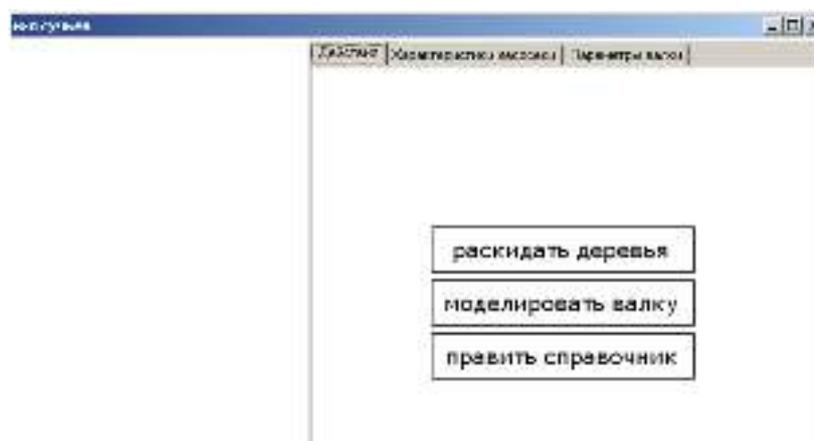


Рис. 4. Главное окно программы

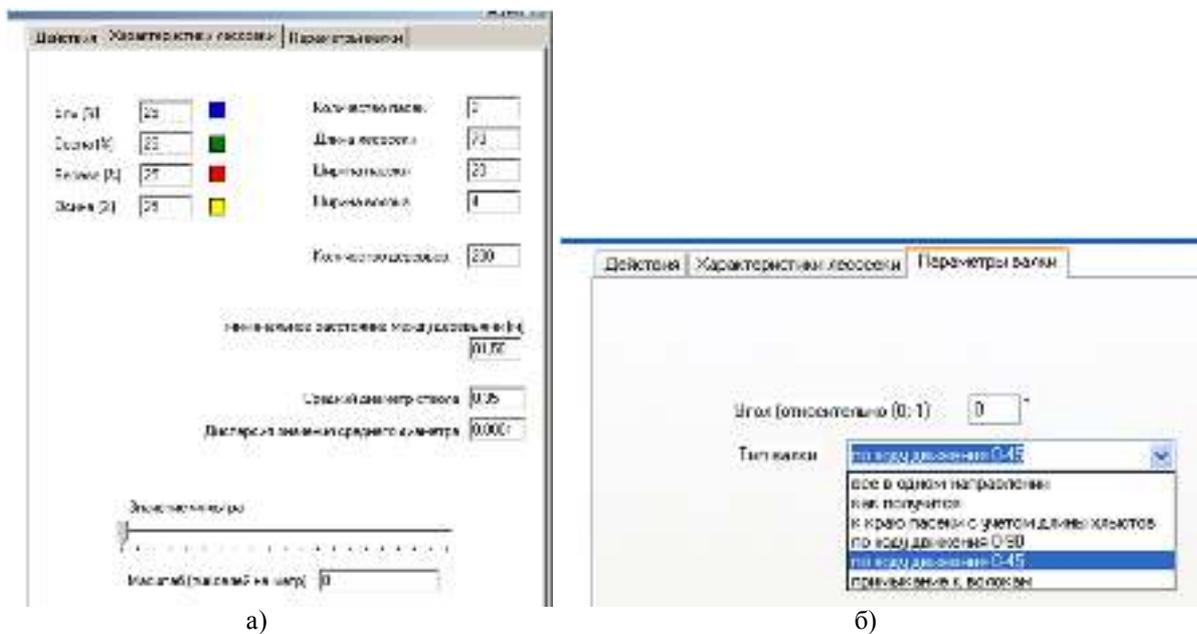


Рис. 5. Вкладка «Характеристики лесосеки»

Порода	Диаметр (см)	Классы высот	Вес (кг)	длина кроны (м)	Высота (м)
ель	16	2	130	33,5	10
ель	20	2	230	31,95	21
ель	24	2	510	30,4	23
ель	28	2	750	29,3	25
ель	32	2	1000	28,2	27
ель	36	5	1500	27,1	30

Рис. 6. Окно редактирования справочных данных

Данные, касающиеся параметров валки: способ валки (задаётся выбором из списка возможных вариантов); угол валки (если способ – валка в одном направлении).

Данные, касающиеся параметров визуализации результатов: минимальный вес сучьев на участке для его отображения; масштаб квадрата лесосеки (количество

пикселей) для отрисовки в окне программы. Справочные данные хранятся в таблице базы данных Access. Структура представлена на рис. 7.

Таблица treeweight (табл. 2) – основная, таблица treetype (справочник, содержащий названия породы) и таблица treeclass (справочник, содержащий класс высот дерева).

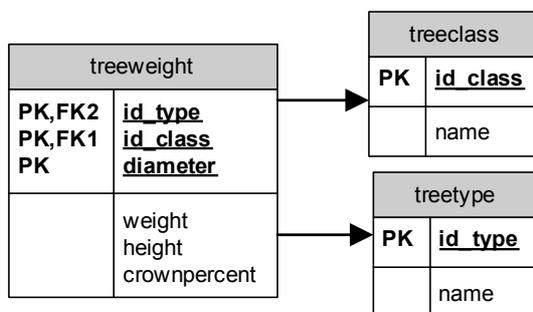


Рис. 7. Структура БД для хранения справочных данных

Таблица 2

Структура таблицы *treeweight*

Название поля	Тип данных	Описание
Id_type	long	Порода
Id_class	long	Класс высоты
diameter	double	Диаметр дерева на высоте 1,3 м (см)
weight	double	Вес надземной части дерева (кг)
height	double	Высота ствола (м)
crownpercent	double	Весовая доля кроны в весе всей надземной части (%)

Результаты вызова функции моделирования распределения древостоя отображаются в левой части главного окна программы (рис. 8). Серые линии – волокна, обозначение квадратного участка цветом означает, что на этом участке находится дерево соответствующей породы (легенда на вкладке «Характеристики лесосеки»).

Результаты вызова функции моделирования валки также отображаются на рисунке лесосеки в левой части экрана.

В данной работе покажем результаты моделирования валки и распределения сучьев после валки, в связи с многообразием природно-производственных факторов, для некоторых частных случаев. В

качестве примеров с целью демонстрации возможностей системы рассмотрим как абстрагированные от реального технологического процесса заготовки деловой древесины варианты, так и примеры, которые могут быть использованы в реальном процессе.

Модельные варианты валки для случаев, не связанных с реальным процессом заготовки деловой древесины:

- угол валки одинаков для всех деревьев. Угол валки задается;

- валка по ходу движения: угол валки в диапазоне $0-90^\circ$ к ближайшему волоку. В этом случае значение угла валки – случайная величина, имеющая равномерное распределение на отрезке $[0; 90]$.

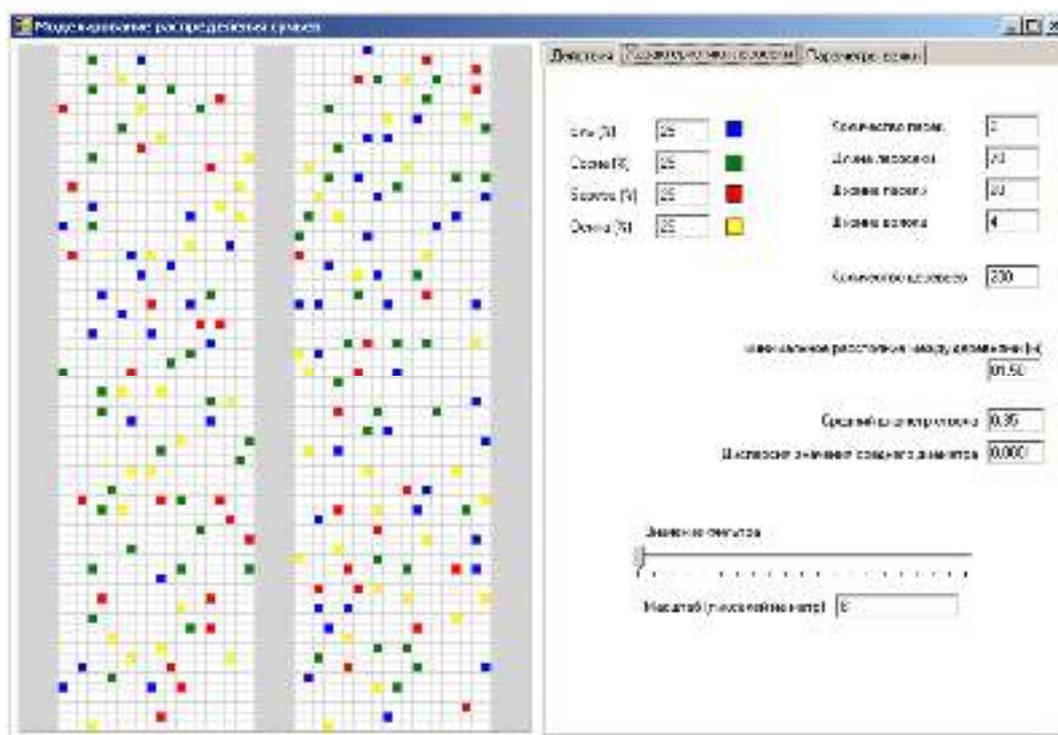


Рис. 8. Результаты моделирования распределения древостоя

Модельные варианты валки для случаев, связанных с дальнейшими операциями лесозаготовительных работ:

- угол валки выбирается таким образом, чтобы верхушка кроны была на краю пасеки;

- угол валки выбирается таким образом, чтобы верхушка кроны была на краю волока.

На рис. 9 представлены примеры распределения сучьев для следующих исходных данных: породный состав 40 % – ель; 25 % – сосна; 25 % – берёза; 10 % – осина; минимальное расстояние между деревьями – 1,5 м; ширина пасеки – 20 м; длина лесосеки – 200 м; ширина волока – 4 м; количе-

ство пасек – 5; количество деревьев – 1600. Показаны закономерности расположения сучьев на лесосеке при различных вариантах валки. Чем больше вес сучьев на участке, тем темнее его цвет. Затемнение можно наблюдать в центрах крон и в местах наложения крон друг на друга.

На рис. 9 представлены варианты моделирования: угол валки одинаков для всех деревьев, рис. 9, а; валка по ходу движения: угол валки в диапазоне 0–90° к ближайшему волоку, рис. 9, б; угол валки такой, чтобы верхушка кроны была на краю пасеки, рис. 9, в; угол валки такой, чтобы верхушка кроны была на краю волока, рис. 9, г.

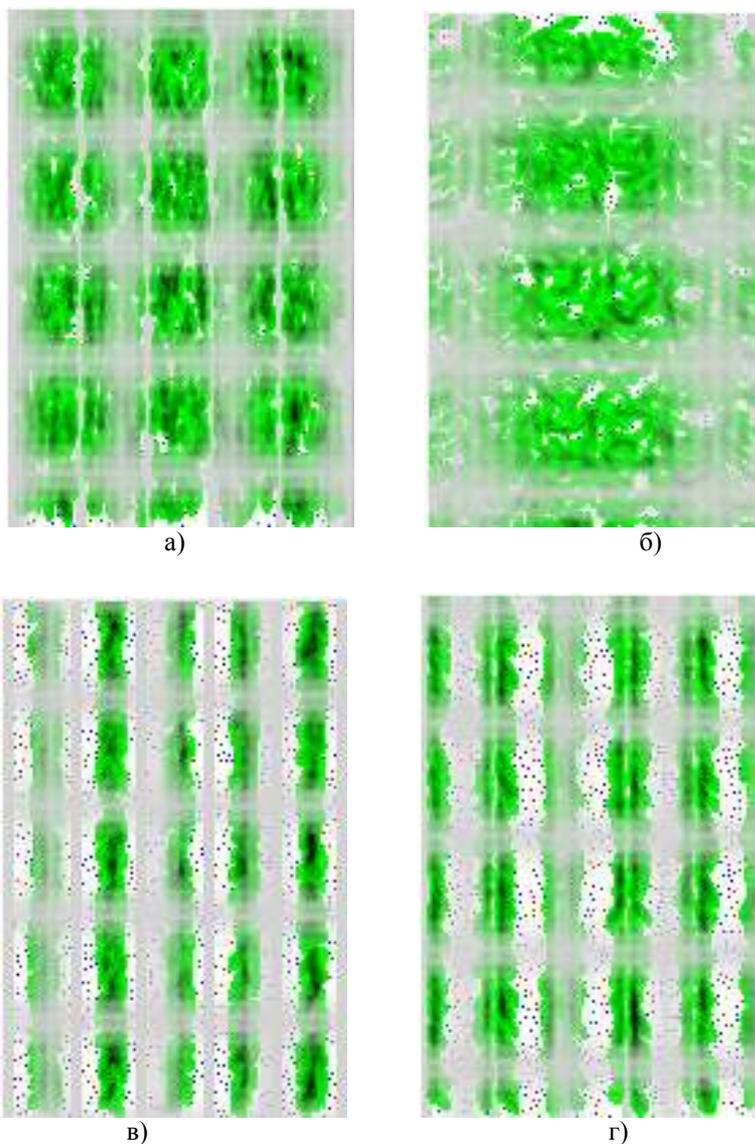


Рис. 9. Примеры моделирования расположения сучьев на лесосеке

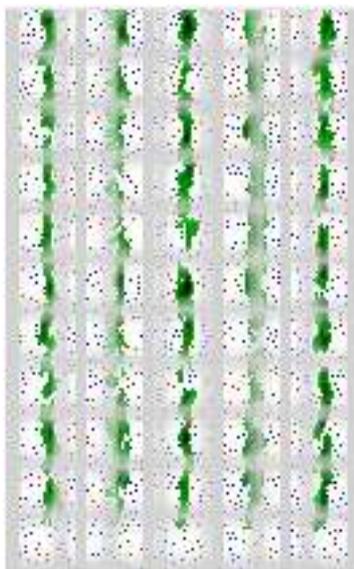


Рис. 10. Участки с плотностью сучьев выше 15 кг/м^2

Программная система позволяет также выделять участки с определённой плотностью сучьев, на рис. 10 показаны участки с плотностью сучьев больше 15 кг/м^2 при угле валки, когда верхушка кроны попадает на край пасеки.

Вывод. В работе рассмотрена задача моделирования распределения сучьев по лесосеке после валки. Созданы алгоритмы, позволяющие:

- моделировать распределение древо-стоя по лесосеке;
- моделировать валку деревьев и распределение сучьев.

Создана программная система, реализующая эти алгоритмы.

В основе работы лежит компьютерное моделирование процесса валки. Разработанная система позволяет осуществлять моделирование валки при разных исходных данных: разных характеристиках лесосеки, древостоя и способах валки.

Функция графического отображения результата позволяет наглядно оценить результаты того или иного способа валки.

Развитие вопросов, связанных с моделированием природно-производственных факторов, разработка программных систем для этого моделирования, а также расширение функционала этих систем в сторону прогнозирования влияния природно-производственных факторов на технологию лесозаготовок позволяет предоставить управленческому составу предприятий инструмент поддержки принятия решений для организации производства

Представленные в статье положения о программной системе ограниченного функционала уже позволяют управлять образованием отходов, снижать потери вторичных древесных ресурсов и моделировать различные производственные ситуации.

Список литературы

1. Михайлов Г. М., Серов Н. А. Пути улучшения использования вторичного древесного сырья. М.: Лесная промышленность, 1988. 224 с.
2. Проблемы формирования и использования древесных отходов в лесном комплексе России / В. П. Корпачев, А. И. Пережилин, А. А. Андрияс и др. // Хвойные бореальной зоны. 2016. № 1-2. С. 52-55.
3. Колесникова А. В. Оценка объёмов образования древесных отходов в Российской Федерации и анализ их использования // Экономика природопользования. 2013. № 6. С. 54-71.
4. Семенов М. И., Суховеев М. Е. Возможности использования биомассы заготовленной древесины в лесах Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 12 (122). С. 76-80.
5. Мохирев А. П., Керющенко А. А. Методика формирования технологической цепочки заготов-

ки деловой и энергетической древесины // Лесной вестник. 2017. № 5. С. 17-22

6. Михайлов К. Л., Гуцин В. А., Тараканов А. М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке // Известия вузов. Лесной журнал. 2016. № 6 (354). С. 98-109.

7. Kärhä K. Industrial supply chains and production machinery of forest chips in Finland // Biomass and bioenergy. 2011. № 35(8). P. 3404-3413. doi:10.1016/j.biombioe.2010.11.016

8. Forest chips for energy in Europe: Current procurement methods and potentials / O. Díaz-Yáñez, B. Mola-Yudego, P. Anttila et al. // Renewable and sustainable energy reviews. 2013. № 21. P. 562-571. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.016

9. An international review of the most productive and cost effective forest biomass recovery technologies and supply chains / M. R. Ghaffariyan, M. Brown, M. Acuna et al. // Renewable and sustainable energy reviews. 2017. № 74. P. 145-158. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.014

10. Матросов А. В., Быковский М. А. Современные машины и оборудование для пакетирования лесосечных отходов и тонкомерной древесины // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2014. № S2. С. 56-61.

11. Ghaffariyan M. R., Sessions J., Brown M. Collecting harvesting residues in pine plantation using a mobile chipper in Victoria (Australia) // Silva Balcanica. 2014. № 15 (2). P. 81-95. https://silvabalcanica.files.wordpress.com/2014/08/sb_152-2014_081-095.pdf

12. Spinelli R., Lombardini C., Magagnotti N. The effect of mechanization level and harvesting system on the thinning cost of Mediterranean softwood plantations // Silva Fennica. 2014. № 1, vol. 48 article id 1003. 15 p. https://doi.org/10.14214/sf.1003

13. Efficiency of slash bundling in mature coniferous stands / T. Moskalik, J. Sadowski, W. Sarzyński et al. // Academic Journals. 2013. Vol. 8(31). P. 1478-1486.

14. Laitila J., Kilponen M., Nuutinen Y. Productivity and cost-efficiency of bundling logging residues at roadside landing // Croatian Journal of Forest Engineering. 2013. № 2 (34). P. 175-187.

15. Comparing terrain and roadside chipping in Mediterranean Pine Salvage Cuts / E. Marci, N. Magagnotti, L. Berretti et al. // Croatian Journal of Forest Engineering. 2011. № 2 (32). P. 587-598.

16. Alam B. Md. Benefits of supply chain management for the Canadian Forest Sector and option in the woody biomass supply chain for energy production // Journal of Basic and Applied Scientific Research. 2012. № 2 (10). P. 9868-9885.

17. Potential and supply costs of wood chips from forests in Soria, Spain / P. Anttila, A. Asikainen, J. Laitila et al. // Forest Systems. 2011. № 2 (20). P. 245-254.

18. Kizha A. R., Han H.-S. Processing and sorting forest residues: cost, productivity and managerial impacts // Biomass and Bioenergy. 2016. Vol. 93. P. 97-106.

19. A productivity and cost comparison of two systems for producing biomass fuel from roadside forest treatment residues / N. Anderson, C. Woodam, D. Loeffler et al. // Forest Products Journal. 2012. № 3, vol. 62. P. 222.

20. Nilsson B., Nilsson D., Thörnqvist T. Distributions and losses of logging residues at clear-felled areas during extraction for bioenergy: comparing dried- and fresh-stacked method // Forests. 2015. № 6. P. 4212-4227. doi: 10.3390/f6114212.

21. Полищук А. Г. Эксплуатационные показатели деревьев и древостоев лесного фонда СССР. Химки: ЦНИИМЭ, 1968. 60 с.

Статья поступила в редакцию 02.02.18.

Информация об авторах

ПИСКУНОВ Максим Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин, Институт лесных, горных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет. Область научных интересов – прикладные задачи совершенствования технологий лесопромышленного комплекса. Автор 70 публикаций.

ЩЁГОЛЕВА Людмила Владимировна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики и кибернетики, Институт математики и информационных технологий, Петрозаводский государственный университет. Область научных интересов – математическое моделирование, информационные системы. Автор 153 публикаций.

МАТВЕЕВ Игорь Павлович – заместитель директора, ООО «КЦ Кей-Петрозаводск». Область научных интересов – прикладные задачи совершенствования технологий лесопромышленного комплекса.

UDC 630*323, 630*332
DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.61

**SIMULATION OF FOREST RESIDUAL POSITION AT THE CUTTING AREA USING
THE TECHNOLOGY OF WOOD HARVESTING WITH BRANCH CUTTING
AT THE STUMP**

*M. A. Piskunov*¹, *L. V. Shchegoleva*¹, *I. P. Matveev*²

¹Petrozavodsk State University,
33, Lenina Av., Petrozavodsk, 185910, Russian Federation

E-mail: piskunov_mp@list.ru

²OOO KTS Kei-Petrozavodsk,
25, Krasnoarmeyskaya St., Petrozavodsk, 185035, Russian Federation

Keywords: tree felling; knotting; forest residual; simulation; software.

ABSTRACT

Introduction. A vast amount of forest residual is left in the course of timber cutting. The system of machines and the processing sequence of primary process of commercial timber harvesting influence the process of residual formation. Managing organization and technology of primary process, it is possible to prepare forest residual to their effective harvesting at the stage of commercial timber harvesting. **The goal of the research is to** implement the model of distribution of branch timber over the cutting area by way of software. **Starting position, assumptions, and methods of simulation.** MS Visual Studio 2005 was used to develop the targeted software. The offered software makes it possible to simulate distribution of a stand and branch timber over the cutting area depending on felling direction of trees as well as to visualize the results of simulation. Basic data are set in the software, they include number of trees in the cutting area, species composition, length of cutting area, swath width and width of trail, number of swaths, minimum distance between the trees, tree diameter at 1.3 m height is set as distribution of random value which follows the law of normal distribution. The possibility to find a tree in this particular place includes the following conditions: the stand of the tree is in the area of swath; the distance from the stand of the tree to the stand of the nearest trees is no less the set minimum distance between the trees. The reference data are specified: dependence of stem height, tree weight, and fraction of total mass of the canopy on the stem diameter at 1.3 m height. The crown cover in a plane of cutting for four species (pine, spruce, birch, aspen) are given. The simulative variants of cutting are offered. **Results.** The system makes it possible to simulate the branch wood position if the tree crown is symmetric about the axis of the stem and the branches free fall on the ground. The system gives the possibility to show in graphic form the data of simulation as the position of trees in the cutting area and the density of branch wood, where different concentration of branch wood is reflected in color and it makes it possible to reveal the area of swaths with a certain number of residues (kg/m²). **Conclusions.** The system is a tool to analyze various manufacturing situations, it enables to reveal the zones of branch wood accumulation with the maximum density under various conditions, to analyze the amount of residues which is viable for harvesting and to calculate possible irrecoverable loss of residues as secondary resource.

REFERENCES

1. Mikhailov G. M., Serov N.A. *Puti uluchsheniya ispolzovaniya vtorichnogo drevesnogo syr'ya* [Ways for Improvement of Secondary Wood Recourses Usage]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1988. 224 p. (In Russ.).
2. Korpachev V. P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A., et al. Problemy formirovaniya i ispolzovaniya drevesnykh otkhodov v lesnom komplekse Rossii [Problems of Formation and Usage of Wood Waste in Russian Forest Complex]. *Khvoynye borealnoy zony* [The Conifers of the Boreal Area]. 2016. No 1-2. Pp. 52-55. (In Russ.).
3. Kolesnikova A. V. Otsenka obemov obrazovaniya drevesnykh otkhodov v Rossiyskoy Federatsii i analiz ikh ispolzovaniya [Estimation of the Extent of Wood Wastes Formation in the Russian Federation and the Analysis of Usage of Wood Wastes]. *Ekonomika prirodopolzovaniya* [Economics of Nature Use]. 2013. No 6. Pp. 54-71. (In Russ.).
4. Semenov M. I. Sukhoveev M.E. Vozmozhnosti ispolzovaniya biomassy zagotovlennoy drevesiny v lesakh Altayskogo kraya [Feasibility of Using of Biomass of Cut Timber in the Forests of Altai Territory]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Altai State Agricultural University]. 2014. No12(122). Pp. 76-80. (In Russ.).
5. Mokhirev A. P., Kerushchenko A.A. Metodika formirovaniya tekhnologicheskoy tsepochnki zagotovki