

УДК 630*311

UDC 630*311

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАПОЛНЯЕМОСТИ
ЗАХВАТНОГО-СРЕЗАЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА ПАЧКОЙ ДЕРЕВЬЕВ****OPTIMIZATION OF THE FILLABILITY OF
CLAW-SHEARING DEVICE**Медяков Андрей Андреевич
к.т.н.Medyakov Andrei Andreevich
Cand.Tech.Sci.Ласточкин Денис Михайлович
к.т.н.Lastochkin Denis Mihajlovich
Cand.Tech.Sci.Семенов Константин Денисович
аспирант
*Поволжский государственный технологический
университет, Йошкар-Ола, Россия*Semenov Konstantin Denisovich
postgraduate student
*Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola,
Russia*

В работе решается задача уменьшения числа рейсов от дерева к месту его укладки за счет оптимизации заполняемости пачкового захвата деревьями известных объемов. Получены необходимые условия оптимальности. Разработан численный метод решения задачи оптимизации. Проведен численный эксперимент

During the study, the authors have solved the problem of determining the minimum number of operations by optimizing fillability of a claw-shearing device with trees. Sufficient optimality conditions have been obtained. The numerical method for solving the optimization problem was developed. We have also performed a numerical experiment

Ключевые слова: ПАЧКА ДЕРЕВЬЕВ,
ЗАПОЛНЯЕМОСТЬ, ОПТИМИЗАЦИЯKeywords: PACK OF TREES, FILLABILITY,
OPTIMIZATION**Введение**

Традиционная для России хлыстовая технология заготовки древесины используется на лесопромышленных предприятиях крупного масштаба с производительностью в среднем от 100 000 м³ в год [1]. Основой современных механизированных лесозаготовительных работ при хлыстовой технологии являются валочно-пакетирующие машины (ВПМ). Эти машины производятся как отечественными предприятиями, например, ООО «Лестехком» (ЛП-19) и ОАО «АОМЗ» (ЛП60-01А), так и известными зарубежными фирмами, например John Deere (900 серия) и Caterpillar (500 серия).

При разработке лесосек ВПМ выполняют процесс срезания дерева, вынос к месту пакетирования и укладку в пакет, поэтому производительность такой машины достаточно высокая, до 1000 м³ в смену.

ВПМ оснащаются захватно-срезающими устройствами (ЗСУ), установленными или на саму лесозаготовительную машину, или на манипулятор (Рисунок 1) [2].

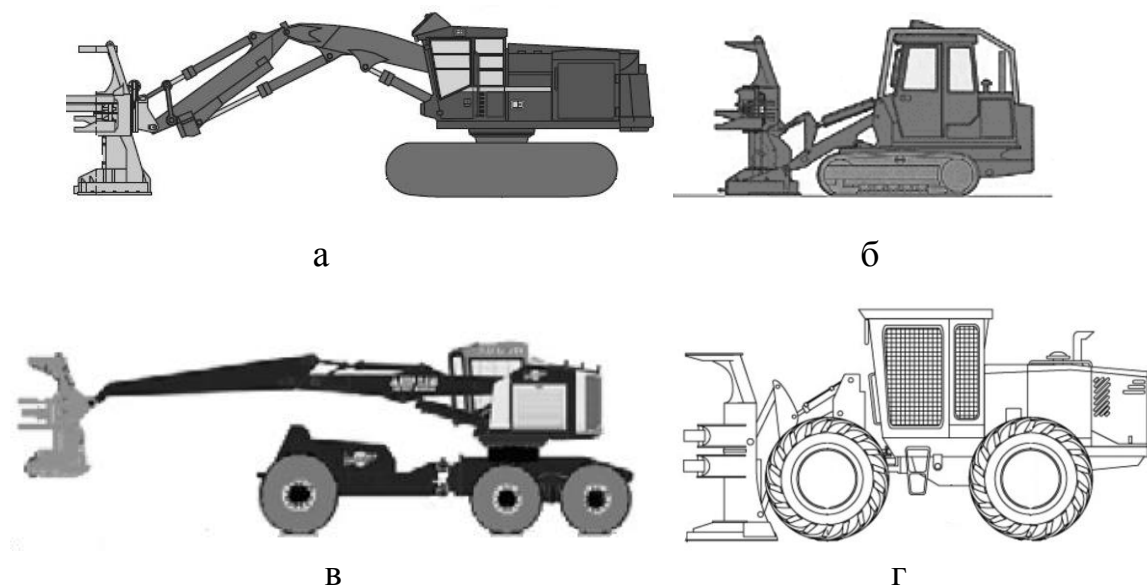


Рисунок 1 – Компонентные схемы ЗСУ на ВПМ:

а- гусеничная ВПМ с манипулятором; б- гусеничная ВПМ; в- колесная ВПМ с манипулятором; г- колесная ВПМ

ЗСУ выполняет несколько операций и в основном предназначено для захвата ствола дерева, его срезания, надежного удержания при переносе и направленной укладки. Для повышения производительности ЗСУ, при уборке деревьев различного объема, такие устройства увеличивают объем захвата за счет оснащения накопителем (дополнительными рычагами захвата с подвижной носовой секцией) для удержания при срезании в захвате сразу нескольких деревьев, т.е. пучка с последующей укладкой в пачку (Рисунок 2).

Пример валочно-пакетирующей машины ЛП-19 с головкой, с накопителем спиленных деревьев в захвате представлен на рисунок 3 [3]. ЗСУ с накопителем ЛП-19 способно срезать деревья максимального диаметра 0,52 м в месте пропила и накапливать до 7 деревьев диаметром по 0,2 м. Производительность такой машины по чистому времени работы при среднем объеме хлыста 0,3 м³, составляет 170 шт./час.



Рисунок 2 – Рычаги захвата деревьев ЗСУ ЛП-19
(снизу рычаги накопителя)



Рисунок 3 - Валочно-пакетирующая машина ЛП-19 с накопителем

Вне зависимости от способа крепления ЗСУ технологический процесс срезания дерева все равно будет связан с движением самой машины или манипулятора, что требует определенные временные и энергетические затраты [4].

Анализ валочных головок с накопителем различных производителей показывает, что максимальные диаметры срезаемых деревьев в среднем составляют 60 см, при этом количество удерживаемых одновременно деревьев в основном составляет 7-8 при диаметре 0,2 метра каждого. А для обычных валочных головок максимальных диаметр срезаемого дерева доходит до 90 см.

Но такой подход не полностью обеспечивает оптимальную заполняемость захвата пучком деревьев разного диаметра и, следовательно, теряется часть рабочей эффективности.

Поэтому если заранее знать распределение объемов деревьев на лесосеке можно подобрать оптимальное сочетание объемов срезаемых деревьев для удержания в пучке и, следовательно, сократить число переместительных операций и движений лесозаготовительной машины.

Цель исследования: определение оптимально возможных, т.е. минимальных, вариантов комбинации пучков (пачек) деревьев, вывозимых/выносимых машиной из модельной лесосеки с максимальной заполненностью площади зева захвата .

Задачи, решаемые в ходе выполнения работы включают:

- составление алгоритма формирования максимальной компоновки захвата с учетом минимального количества пачек модельной лесосеки;
- разработка математической модели определения числа пачек с максимальной заполненностью деревьями площади захвата и, следовательно, числа транспортных операций;
- анализ результатов моделирования оптимальной компоновки пачек деревьев в захвате валочной головки модельной лесосеки ;
- формирование комплекта рекомендаций.

В качестве главных допущений, применяемых в процесс формирования обобщённой математической модели, используем следующие:

- 1) захват образует зев круглого сечения;
- 2) все деревья однородные с круглым сечением;
- 3) все деревья являются абсолютно жесткими телами, не поддающимися смятию;
- 4) в расчете не учитываются разброс и расстояние между деревьями.

Алгоритм формирования различных комбинаций пачек деревьев.

- Формирование исходных данных, определение граничных условий;
- Расчет количества поездок на га;
- Расчет доли пачки на дерево;
- Формирование комбинаций пачек деревьев с учетом ограничений;
- Использование функции «Поиск решения»;
- Анализ и выводы.

Математическое моделирование

Для оптимизации заполняемости валочного устройства с накопителем пачкой деревьев при лесозаготовке была составлена математическая модель, описывающая процесс формирования пачек деревьев различных объемов и вывоз/вынос их из лесосеки до места укладки. В качестве входных величин были использованы параметры деревьев модельной лесосеки и значение площади зева захвата (Таблица 1).

Таблица 1 – Входные данные для математического моделирования

№	Параметр	Значение	Ед. измерения
1.	Максимальный радиус круга зева захвата	0,5	м
2.	Диаметр деревьев ступени толщины 0.1	0.1	м
3.	Запас насаждения	1000	шт./га
4.	Диаметр деревьев ступени толщины 0.4	0.4	м
5.	Запас насаждения	375	шт./га
6.	Диаметр деревьев ступени толщины 0.7	0.7	м
7.	Запас насаждения	140	шт./га
8.	Диаметр деревьев ступени толщины 1.0	1.0	м
9.	Запас насаждения	25	шт./га

На основании параметров деревьев, предназначенных для вырубki, определялись возможные варианты сборных пачек (Рисунок 4), формируемых из различных деревьев, и параметры заполненности захвата, характеризующие насколько полно используется накопитель деревьев при вывозе конкретной сборной пачки. В результате было выделено 8 вариантов сборных пачек. Указанная математическая модель была

реализована в Microsoft Office Excel, для оптимизации была использована функция «Поиск решения».

Сборная пачка	Вывозено	Заполненность	Поездка
Сборная пачка 1	0	0	25
Сборная пачка 2	0	0,285714286	63
Сборная пачка 3	504	0,035714286	77
Сборная пачка 4	77	0,75	21
Сборная пачка 5	0	0,25	12
Сборная пачка 6	77	0	0
Сборная пачка 7	0	0,7	0
Сборная пачка 8	0	0	0
Суммарно с учетом	581	0,985714286	75,9

Начало таблицы

Всего вывезено	Должна быть	Истина
232	1000	ИСТИНА
12	375	ИСТИНА
0	140	ИСТИНА
0	25	ИСТИНА
Суммарная заполненность пачки	0,9901	ИСТИНА
Суммарное число поездок	255	ИСТИНА

Конец таблицы

Рисунок 4 - Вид части окна моделирования состава сборных пачек и параметров заполненности

В рамках оптимизации исследовался наиболее эффективный состав сборных пачек при вывозе всех деревьев, подлежащих вырубке. В качестве критериев оптимизации использовались по отдельности условия минимума числа поездок и максимума суммарной заполненности пачек.

Результаты моделирования

На рисунках 5, 6 представлены результаты оптимизации по критерию минимума числа поездок с нулевых и максимальных начальных значений. В первом случае состав сборных пачек с 1 по 8 – 45, 93, 1, 21, 25, 41, 2, 3, при суммарном числе поездок 256. Во втором случае состав сборных пачек с 1 по 8 – 21, 47, 10, 22, 20, 54, 72, 5, при суммарном числе поездок 276. Видно, что для выбранных условий оптимизации разброс значений достаточно велик.

Результат: Целочисленное решение найдено в пределах допустимого отклонения. Все ограничения выполнены.

Модуль поиска решения

Модуль: Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ
 Время решения: 1,562 секунд.
 Число итераций: 2 Число подзадач: 26

Параметры поиска решения

Максимальное время Без пределов, Число итераций Без пределов, Precision 0.000001, Использовать автоматическое масштабирование
 Сходимость 0.0001, Размер совокупности 100, Случайное начальное значение 0, Правые производные, Обязательные границы
 Максимальное число подзадач Без пределов, Максимальное число целочисленных решений Без пределов, Целочисленное отклонение 1%, Считать неотрицательными

Ячейка целевой функции (Минимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$AXS27	Суммарное число поездов	25	256

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение	Целочисленное
\$SS16	Поездок	0	45	Целочисленное
\$WS16	Поездок	0	93	Целочисленное
\$AAS16	Поездок	0	1	Целочисленное
\$AES16	Поездок	0	21	Целочисленное
\$AIS16	Поездок	0	25	Целочисленное
\$AMS16	Поездок	0	41	Продолжить
\$AQS16	Поездок	0	2	Продолжить
\$AUS16	Поездок	0	2,035714286	Продолжить

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$AXS18	Всего вывезено	375	\$AXS18=\$AZS18	Привязка	0
\$AXS22	Всего вывезено	25	\$AXS22=\$AZS22	Привязка	0
\$AXS20	Всего вывезено	140	\$AXS20=\$AZS20	Привязка	0
\$AXS16	Всего вывезено	1000	\$AXS16=\$AZS16	Привязка	0
\$WS16	Поездок	93	\$WS16>=0	Без привязки	39
\$AAS16	Поездок	1	\$AAS16>=0	Привязка	0
\$AES16	Поездок	45	\$AES16>=0	Без привязки	45
\$AQS16	Поездок	2	\$AQS16>=0	Без привязки	2
\$AUS16	Поездок	2,035714286	\$AUS16>=0	Без привязки	2,035714286
\$AES16	Поездок	21	\$AES16>=0	Без привязки	21
\$AIS16	Поездок	25	\$AIS16>=0	Без привязки	25
\$AMS16	Поездок	41	\$AMS16>=0	Без привязки	41
\$WS16=Целочисленное					
\$SS16=Целочисленное					
\$AAS16=Целочисленное					
\$AES16=Целочисленное					
\$AIS16=Целочисленное					

Рисунок 5 – Результаты оптимизации по числу поездов с нулевых начальных значений

Результат: Целочисленное решение найдено в пределах допустимого отклонения. Все ограничения выполнены.

Модуль поиска решения

Модуль: Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ
 Время решения: 2,469 секунд.
 Число итераций: 8 Число подзадач: 20

Параметры поиска решения

Максимальное время Без пределов, Число итераций Без пределов, Precision 0.000001, Использовать автоматическое масштабирование
 Сходимость 0.0001, Размер совокупности 100, Случайное начальное значение 0, Правые производные, Обязательные границы
 Максимальное число подзадач Без пределов, Максимальное число целочисленных решений Без пределов, Целочисленное отклонение 1%, Считать неотрицательными

Ячейка целевой функции (Минимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$AXS27	Суммарное число поездов	825	276

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение	Целочисленное
\$SS16	Поездок	100	21	Целочисленное
\$WS16	Поездок	100	47	Целочисленное
\$AAS16	Поездок	100	10	Целочисленное
\$AES16	Поездок	100	22	Целочисленное
\$AIS16	Поездок	100	20	Целочисленное
\$AMS16	Поездок	100	53,5	Продолжить
\$AQS16	Поездок	100	71,99999999	Продолжить
\$AUS16	Поездок	100	4,535714286	Продолжить

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$AXS16	Всего вывезено	1000	\$AXS16=\$AZS16	Привязка	0
\$AXS20	Всего вывезено	140	\$AXS20=\$AZS20	Привязка	0
\$AXS22	Всего вывезено	25	\$AXS22=\$AZS22	Привязка	0
\$AXS18	Всего вывезено	375	\$AXS18=\$AZS18	Привязка	0
\$AES16	Поездок	22	\$AES16>=0	Без привязки	1
\$AMS16	Поездок	53,5	\$AMS16>=0	Без привязки	53,5
\$AIS16	Поездок	20	\$AIS16>=0	Без привязки	20
\$AUS16	Поездок	4,535714286	\$AUS16>=0	Без привязки	4,535714286
\$AQS16	Поездок	71,99999999	\$AQS16>=0	Без привязки	71,99999999
\$WS16	Поездок	47	\$WS16>=0	Привязка	0
\$AAS16	Поездок	10	\$AAS16>=0	Без привязки	10
\$SS16	Поездок	21	\$SS16>=0	Привязка	0
\$AES16=Целочисленное					
\$AIS16=Целочисленное					
\$AAS16=Целочисленное					
\$SS16=Целочисленное					
\$WS16=Целочисленное					

Рисунок 6 - Результаты оптимизации по числу поездов с максимальных начальных значений

На рисунках 7, 8 представлены результаты оптимизации по критерию максимума суммарной заполненности пачек с нулевых и максимальных начальных значений. В первом случае состав сборных пачек с 1 по 8 – 45, 95, 1, 14, 9, 56, 0, 10, при суммарной заполненности пачек 0,99 и числе поездок 255. Во втором случае состав сборных пачек с 1 по 8 – 63, 77, 12, 4, 0, 70, 0, 4, при суммарной заполненности пачек 0,99 и числе поездок 255. Видно, что для выбранных условий оптимизации разброс значений критериев минимален. Таким образом, использование критерия суммарной заполненности пачки дает более точные значения при оптимизации. При этом при близких значениях критериев были получены совершенно различные варианты количества конкретных сборных пачек, что говорит о множественности вариантов комбинаций.

Результат: Целочисленное решение найдено в пределах допустимого отклонения. Все ограничения выполнены.

Модуль поиска решения

Модуль: Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ

Время решения: 2,235 секунд.

Число итераций: 16 Число подзадач: 38

Параметры поиска решения

Максимальное время Без пределов, Число итераций Без пределов, Precision 0,000001, Использовать автоматическое масштабирование

Сходимость 0,0001, Размер совокупности 100, Случайное начальное значение 0, Правые производные, Обязательные границы

Максимальное число подзадач Без пределов, Максимальное число целочисленных решений Без пределов, Целочисленное отклонение 1%, Считать неотрицательными

Ячейка целевой функции (Максимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$AX\$25	с учетом числа поездок Суммарная заполненность пачки	1	0,990056162

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение	Целочисленное
\$SS\$16	Поездок	0	45	Целочисленное
\$WS\$16	Поездок	0	95	Целочисленное
\$AA\$16	Поездок	0	1	Целочисленное
\$AE\$16	Поездок	0	14	Целочисленное
\$AI\$16	Поездок	0	9	Целочисленное
\$AM\$16	Поездок	0	56	Продолжить
\$AQ\$16	Поездок	0	0	Продолжить
\$AU\$16	Поездок	0	9,464321429	Продолжить

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$AX\$16	Всего вывезено	1000,001	\$AX\$16=\$AZ\$16	Привязка	0
\$AX\$20	Всего вывезено	140	\$AX\$20=\$AZ\$20	Привязка	0
\$AX\$22	Всего вывезено	25	\$AX\$22=\$AZ\$22	Привязка	0
\$AX\$18	Всего вывезено	375	\$AX\$18=\$AZ\$18	Привязка	0
\$AE\$16	Поездок	14	\$AE\$16>=0	Без привязки	14
\$AM\$16	Поездок	56	\$AM\$16>=0	Без привязки	56
\$AI\$16	Поездок	9	\$AI\$16>=0	Без привязки	9
\$AU\$16	Поездок	9,464321429	\$AU\$16>=0	Без привязки	9,464321429
\$AQ\$16	Поездок	0	\$AQ\$16>=0	Привязка	0
\$SS\$16	Поездок	45	\$SS\$16>=0	Без привязки	45
\$AA\$16	Поездок	1	\$AA\$16>=0	Привязка	0
\$WS\$16	Поездок	95	\$WS\$16>=0	Без привязки	41
\$AE\$16=Целочисленное					
\$AI\$16=Целочисленное					
\$AA\$16=Целочисленное					
\$SS\$16=Целочисленное					
\$WS\$16=Целочисленное					

Рисунок 7 - Результаты оптимизации по суммарной заполненности пачек с нулевых начальных значений

Результат: Целочисленное решение найдено в пределах допустимого отклонения. Все ограничения выполнены.

Модуль поиска решения

Модуль: Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ
 Время решения: 1,157 секунд.
 Число итераций: 4 Число подзадач: 14

Параметры поиска решения

Максимальное время Без пределов, Число итераций Без пределов, Precision 0,000001, Использовать автоматическое масштабирование
 Сходимость 0,0001, Размер совокупности 100, Случайное начальное значение 0, Правые производные, Обязательные границы
 Максимальное число подзадач Без пределов, Максимальное число целочисленных решений Без пределов, Целочисленное отклонение 1%, Считать неотрицательными

Ячейка целевой функции (Максимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$AX\$25	с учетом числа поездов Суммарная заполненность пачки	0,96017316	0,990056022

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение	Целочисленное
\$SS\$16	Поездок	100	63	Целочисленное
\$WS\$16	Поездок	100	77	Целочисленное
\$AA\$16	Поездок	100	12	Целочисленное
\$AE\$16	Поездок	100	4	Целочисленное
\$AI\$16	Поездок	100	0	Целочисленное
\$AM\$16	Поездок	100	69,5	Продолжить
\$AQ\$16	Поездок	100	0	Продолжить
\$AU\$16	Поездок	100	3,964285713	Продолжить

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$AX\$16	Всего вывезено	1000	\$AX\$16=\$AZ\$16	Привязка	0
\$AX\$20	Всего вывезено	140	\$AX\$20=\$AZ\$20	Привязка	0
\$AX\$22	Всего вывезено	25	\$AX\$22=\$AZ\$22	Привязка	0
\$AX\$18	Всего вывезено	375	\$AX\$18=\$AZ\$18	Привязка	0
\$AM\$16	Поездок	69,5	\$AM\$16>=0	Без привязки	69,5
\$AI\$16	Поездок	0	\$AI\$16<=0	Привязка	0
\$AE\$16	Поездок	4	\$AE\$16<=0	Привязка	0
\$AU\$16	Поездок	3,964285713	\$AU\$16>=0	Без привязки	3,964285713
\$AQ\$16	Поездок	0	\$AQ\$16>=0	Привязка	0
\$WS\$16	Поездок	77	\$WS\$16<=0	Без привязки	29
\$AA\$16	Поездок	12	\$AA\$16<=0	Привязка	0
\$SS\$16	Поездок	63	\$SS\$16<=0	Без привязки	41
\$AI\$16=Целочисленное					
\$AE\$16=Целочисленное					
\$AA\$16=Целочисленное					
\$SS\$16=Целочисленное					
\$WS\$16=Целочисленное					

Рисунок 5 - Результаты оптимизации по суммарной заполненности пачек с максимальных начальных значений

Выводы

Таким образом, в рамках оптимизации установлено, что возможны различные варианты комбинации количества различных сборных пачек в общем объеме вырубке, при которых могут быть получены оптимальные параметры минимального количества поездов и максимальной заполненности пачек.

Для условий моделирования оптимальными оказались следующие составы сборных пачек с 1 по 8 – 45, 95, 1, 14, 9, 56, 0, 10 и 63, 77, 12, 4, 0, 70, 0, 4, при которых суммарная заполненность пачек достигла 0,99 и минимальное число поездов составило 255.

Представленные подходы оптимизации могут быть использованы для подбора состава оптимальных сборных пачек для любых условий работы.

Библиографический список

1. Александров В.А. Механизация лесосечных работ в России. СПбЛТА, 2000. 208 с.
2. Сидыганов, Ю.Н. Модульные машины для рубок ухода и лесовосстановления: монография/Ю.Н.Сидыганов, Е.М.Онучин, Д.М.Ласточкин. -Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. -336 с.
3. ООО фирма «ЛЕСТЕХКОМ» [Офиц. сайт]. URL: <http://lestechcom.ru/> (дата обращения: 10.09.2015).
4. Онучин, Е.М. Формирование территориальных агролесоводственных биоэнергетических комплексов на основе технологий интенсивного лесопользования / Е. М. Онучин, Д.И. Мухортов, А.А. Медяков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2012. - № 82. с. 510-520.

References

1. Aleksandrov V.A. Mehanizacija lesosechnyh rabot v Rossii. SPbLTA, 2000. 208 s.
2. Sidyganov, Ju.N. Modul'nye mashiny dlja rubok uhoda i lesovosstanovlenija: monografija/Ju.N.Sidyganov, E.M.Onuchin, D.M.Lastochkin. -Joshkar-Ola: Marijskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet, 2008. -336 s.
3. ООО firma «LESTENKOM» [Ofic. sajt]. URL: <http://lestechcom.ru/> (data obrashhenija: 10.09.2015).
4. Onuchin, E.M. Formirovanie territorial'nyh agrolesovodstvennyh bioenergeticheskikh kompleksov na osnove tehnologij intensivnogo lesopol'zovanija / E. M. Onuchin, D.I. Muhortov, A.A. Medjakov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2012. - № 82. s. 510-520.