

УДК: 630

UDC: 630

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ВЫРУБКАХ**

**OPTIMIZATION OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A DEVICE FOR SOIL TREATMENT ON TREE FELLING**

Махмутов Рамиль Мухаметович  
аспирант

Makhmutov Ramil Muhametovich  
postgraduate student

Онучин Евгений Михайлович  
к.т.н., доцент

Onychin Evgeny Mihailovich  
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Медяков Андрей Андреевич  
к.т.н.

Medyakov Andrei Andreevich  
Cand.Tech.Sci.

Каменских Александр Дмитриевич  
Аспирант  
*Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия*

Kamenskih Alexander Dmytrievich  
postgraduate student  
*Volga state university of technology, Ioshkar-Ola, Russia*

В статье приведены результаты оптимизации конструктивно-технологических параметров устройства для клумбовой обработки почвы на вырубках. Приводится описание подходов к моделированию процесса клумбовой обработки почвы, оптимизационной математической модели обработки почвы и полученных в процессе моделирования результатов

The results of the optimization of the design and technological parameters of a device for circular soil tillage in forest cutovers have been obtained. The description of the approaches to modeling of circular soil tillage, optimization mathematical model of soil tillage and obtained results are given in the article

Ключевые слова: ИСКУССТВЕННОЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ, КЛУМБОВАЯ ОБРАБОТКА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ

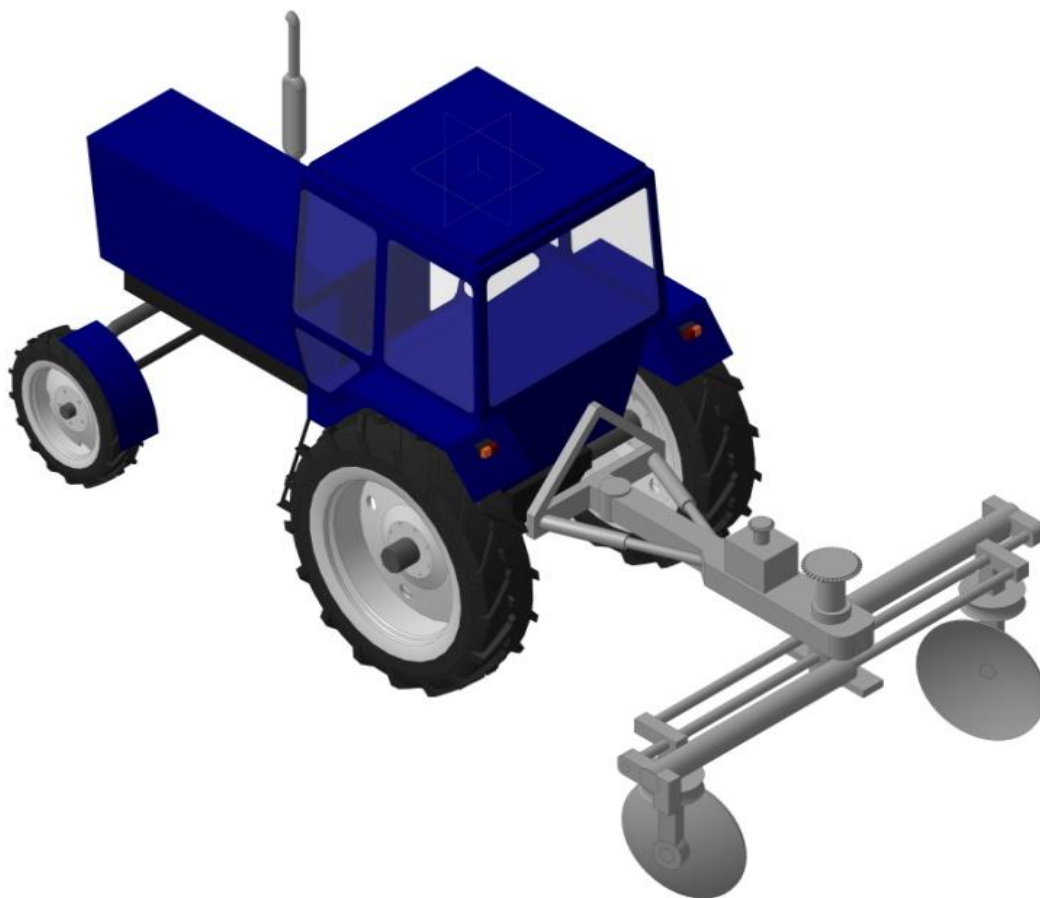
Keywords: ARTIFICIAL REGENERATION, CIRCULAR SOIL PROCESSING, MATHEMATICAL MODELING, OPTIMIZATION

Площади вырубаемых лесов в нашей стране ежегодно восстанавливаются естественным и искусственным путем. При искусственном лесовосстановлении решаются задачи создания продуктивных и устойчивых насаждений, а также максимальное использование потенциала лесорастительных условий и сохранения экологической обстановки лесокультурных площадей. Обработка почвы является необходимой операцией при искусственном лесовосстановлении.

Общая цель обработки почвы сводится к улучшению их физических свойств, водного и теплового режима, водного и минерального питания культур, активизации деятельности микроорганизмов в почве, а также к устранению вредного влияния на культуры травянистой растительности.

Большинство машин для обработки почвы применяемых в настоящее время, требуют очистку вырубki от пней и порубочных остатков, так же существуют ряд машин способных работать на не раскорчёванных вырубках с количеством пней до 600 на га.

Разработанное устройство может работать на вырубках с количеством пней более 600 на га. Это достигается использованием рабочих органов с изменяемыми параметрами. [1-6]

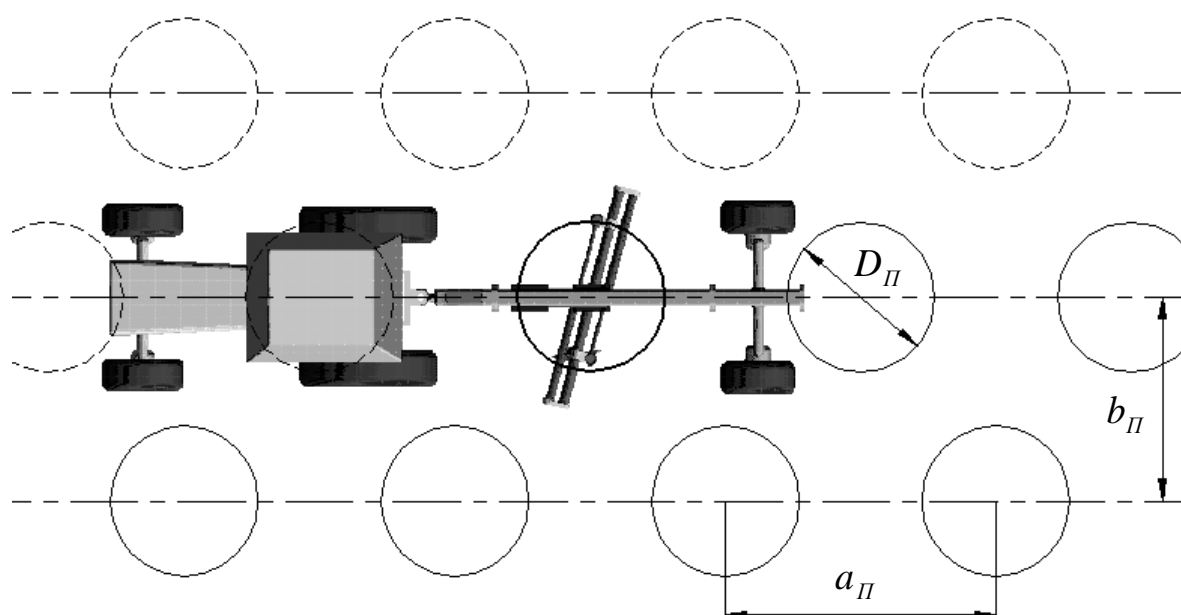


**Рисунок 1 - Внешний вид машинно-тракторного агрегата для обработки почвы круговыми площадками**

Машинно-тракторный агрегат (рисунок 1) состоит из базовой машины и устройства, состоящего из рамы, имеющей возможность отклонения от продольной оси при помощи гидроцилиндров, на которой установлена балка имеющая возможность неограниченного вращения вокруг оси. На балке установлены рабочие органы, состоящие из дискового ножа, стойки

и узла поворота дискового ножа. Рабочие органы перемещаются вдоль балки посредством гидроцилиндров. Вращение балки осуществляется посредством цепной передачи от редуктора с приводом от вала от отбора мощности.

Технологическая схема работы машинно-тракторного агрегата для обработки почвы круговыми площадками представлена на рисунке 2.

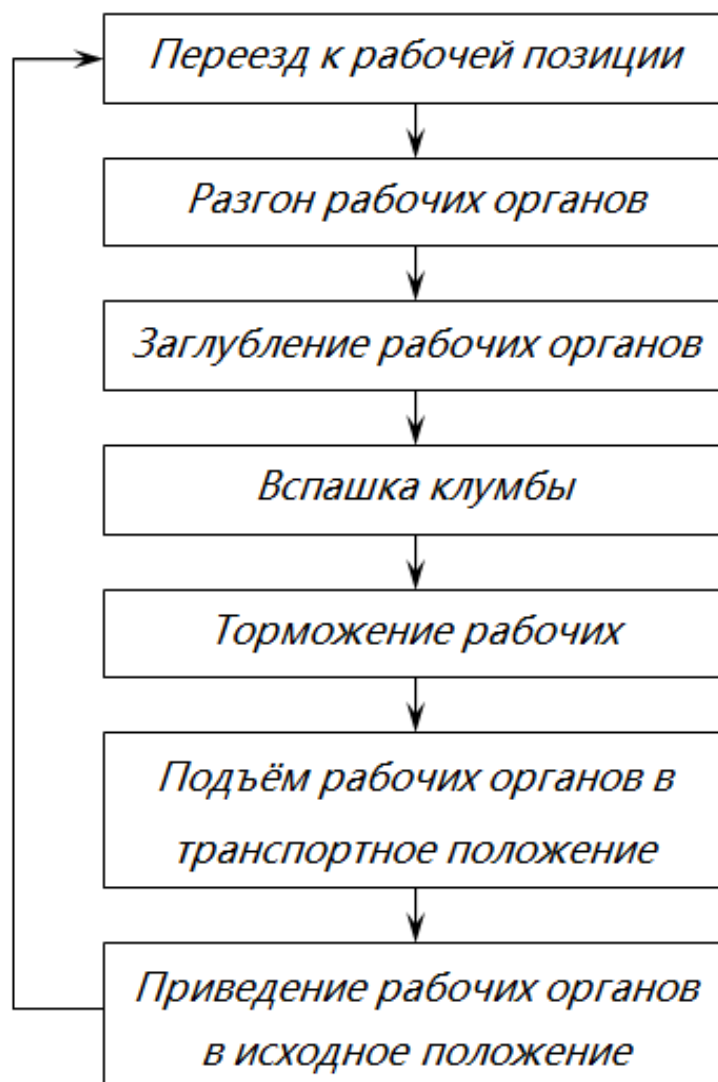


**Рисунок 2 - Схема работы машинно-тракторного агрегата для обработки почвы круговыми площадками**

Машинно-тракторный агрегат на лесокультурной площади занимает рабочую позицию, и при этом и корпус плуга и дисковый нож находятся в положении наиболее близком к вертикальному шарниру. После этого включается привод вращения горизонтальной балки вокруг вертикального шарнира, и с помощью подъёмно-навесной системы происходит опускание вращающегося плуга до заглубления корпуса плуга и дискового ножа в почву на заданную глубину. Далее включаются гидроцилиндры привода корпуса плуга и дискового ножа, перемещающие их синхронно с вращением горизонтальной балки к крайним положениям, в процессе чего

происходит вспашка почвы в круговой области под вращающимся плугом. После окончания пахоты вращающийся плуг поднимается с помощью подъёмно-навесной системы в транспортное положение. Произведя обработку почвы на одной рабочей позиции, машинно-тракторный агрегат переезжает на следующую, на которой цикл повторяется.

Блок-схема модели технологического процесса обработки почвы круговыми площадками представлена на рисунке 3.



**Рисунок 3 - Блок-схема технологического процесса вспашки вырубки**

Основные технологические операции связаны с подготовкой рабочих органов к вспашке и обратно к переезду: переход рабочих органов из транспортного положения в рабочее, разгон органов и их заглубление,

затем непосредственно осуществляется вспашка, торможение органов и перевод их в транспортное положение. На основе приведённых схем функционирования машинно-тракторного агрегата для обработки почвы круговыми площадками была реализована в Microsoft Office Excel математическая модель, описывающая затраты ресурсов на выполнение операций обработки, внешний вид модели приведен на рисунке 4.

Рабочий орган, м	1	2	3	
Площадка, м2	0,785	3,14	7,065	
Сила сопротивления земли, кН	2,1	2,1	2,1	
Количество оборотов в с.	2	2	2	
Мощность на обработку, кВт	6,597344573	13,19468915	19,79203372	
В л.с.	9,037458319	18,07491664	27,11237496	
Количество оборотов на 1 площадку, шт.	8	15	22	
Время обработки, с	16	30	44	
Время заглубления, подъема, с	5	5	5	
Время возврата, с	10	20	30	
Масса, кг	500	500	500	
сила сопротивления, Н	2500	2500	2500	
скорость перемещения, м/с	2,638937829	5,277875658	7,916813487	
км/ч	9,500176184	19,00035237	28,50052855	
скорость переезда, с	3,789403407	17,05231533	30,31522726	
коэффициент обработки	0,5	0,5	0,5	
Число переездов на га	25478	6370	2831	
Число тракторов, шт.	11,92835172	0	49,65094557	Сумма
Материалоемкость, кг	5964,175858	0	24825,47278	30789,65
Количество дней работы, дн	10	10	10	
Время работы (сутки, 8 ч), с	28800	28800	28800	
Время на 1 площадку, с	34,78940341	72,05231533	109,3152273	
Кол-во площадок за смену, шт.	827	399	263	
Обработанная площадь, м2	77438,26292	0	922561,7371	1000000
Потраченная мощность, МДж	22664,28858	0	283015,6384	305679,9
				1117443

**Рисунок 4 – Общий вид разработанной математической модели**

Для оптимизации конструктивно-технологических параметров устройства для обработки почвы на вырубках в рамках математической

модели рассматривались 3 типа установок, рассчитанных для обработки почвы площадками диаметром 1, 2 и 3 м. Для каждого типа установок были определены требуемые мощности установок, временные параметры обработки, материалоемкость. Затем в рамках оптимизации рассматривалась наиболее эффективная комбинация машин, необходимая для обработки вырубке различной площади в течение 10 дней.

В качестве критерия оптимизации были выбраны минимальные значения материалоемкости и энергоемкости, описанные в рамках одного комплексного критерия.

Результаты оптимизации для площади вырубке 10 га с использованием встроенной функции «Поиск решения» приведены на рисунке 5, для площади 50 га на рисунке 6, для площади 100 га на рисунке 7. В рамках оптимизации установлено, что наиболее эффективной комбинацией обрабатывающих машин для площади обработки 10 га и продолжительность 10дн. будет 2 машины с рабочим органом размерами 1 м и 5 машин с рабочим органом размером 3 м.

Для площади обработки 50 га и продолжительность 10дн. оптимальным сочетанием будет 6 машины с рабочим органом размерами 1 м и 25 машин с рабочим органом размером 3 м.

Результат: Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

Модуль поиска решения

Модуль: Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ

Время решения: 0 секунд.

Число итераций: 3 Число подзадач: 0

Параметры поиска решения

Максимальное время Без пределов, Число итераций Без пределов, Precision 0,000001

Сходимость 0,0001, Размер совокупности 100, Случайное начальное значение 0, Центральные производные

Максимальное число подзадач Без пределов, Максимальное число целочисленных решений Без пределов, Целочисленное отклонени

Ячейка целевой функции (Минимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$E\$35	Сумма	0	111744,2968

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение	Целочисленное
\$B\$25	Число тракторов, шт.	0	1,193708787	Продолжить
\$C\$25	Число тракторов, шт.	0	0	Продолжить
\$D\$25	Число тракторов, шт.	0	4,964789327	Продолжить

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$B\$28	Количество дней работы, дн	10	\$B\$28>=0	Без привязки	10
\$E\$33	Обработанная площадь, м2 Сумма	100000	\$E\$33=\$F\$33	Привязка	0
\$B\$25	Число тракторов, шт.	1,193708787	\$B\$25>=0	Без привязки	1,193708787
\$C\$25	Число тракторов, шт.	0	\$C\$25>=0	Привязка	0
\$D\$25	Число тракторов, шт.	4,964789327	\$D\$25>=0	Без привязки	4,964789327

а)

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Окончательное значение	Приведенн. Градиент
\$B\$25	Число тракторов, шт.	1,193708787	0
\$C\$25	Число тракторов, шт.	0	8,771168857
\$D\$25	Число тракторов, шт.	4,964789327	0

Ограничения

Ячейка	Имя	Окончательное значение	Лагранжа Множитель
\$B\$28	Количество дней работы, дн	10	0
\$E\$33	Обработанная площадь, м2 Сумма	100000	1,117443038

б)

Рисунок 5 - Результаты оптимизации по комплексному критерию с нулевых (а) и отчет об устойчивости (б) для площади вырубki 10 га

Результат: Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

Модуль поиска решения

Модуль: Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ

Время решения: 0,016 секунд.

Число итераций: 3 Число подзадач: 0

Параметры поиска решения

Максимальное время без пределов, Число итераций без пределов, Precision 0,000001

Сходимость 0,0001, Размер совокупности 100, Случайное начальное значение 0, Центральные производные

Максимальное число подзадач без пределов, Максимальное число целочисленных решений без пределов, Целочисленное отклонени

Ячейка целевой функции (Минимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$E\$35	Сумма	0	558721,4838

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение	Целочисленное
\$B\$25	Число тракторов, шт.	0	5,965811458	Продолжить
\$C\$25	Число тракторов, шт.	0	0	Продолжить
\$D\$25	Число тракторов, шт.	0	24,82490133	Продолжить

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$B\$28	Количество дней работы, дн	10	\$B\$28>=0	Без привязки	10
\$E\$33	Обработанная площадь, м2 Сумма	500000	\$E\$33=\$F\$33	Привязка	0
\$B\$25	Число тракторов, шт.	5,965811458	\$B\$25>=0	Без привязки	5,965811458
\$C\$25	Число тракторов, шт.	0	\$C\$25>=0	Привязка	0
\$D\$25	Число тракторов, шт.	24,82490133	\$D\$25>=0	Без привязки	24,82490133

а)

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Окончательное значение	Приведенн. Градиент
\$B\$25	Число тракторов, шт.	5,965811458	0
\$C\$25	Число тракторов, шт.	0	8,771168857
\$D\$25	Число тракторов, шт.	24,82490133	0

Ограничения

Ячейка	Имя	Окончательное значение	Лагранжа Множитель
\$B\$28	Количество дней работы, дн	10	0
\$E\$33	Обработанная площадь, м2 Сумма	500000	1,117443038

б)

**Рисунок 6 - Результаты оптимизации (а) и отчет об устойчивости (б) для площади вырубki 50 га**



Результат: Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

**Модуль поиска решения**

Модуль: Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ

Время решения: 0,047 секунд.

Число итераций: 3 Число подзадач: 0

**Параметры поиска решения**

Максимальное время Без пределов, Число итераций Без пределов, Precision 0,000001

Сходимость 0,0001, Размер совокупности 100, Случайное начальное значение 0, Центральные производные

Максимальное число подзадач Без пределов, Максимальное число целочисленных решений Без пределов, Целочисленное отклонени

Ячейка целевой функции (Минимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$E\$35	Сумма	0	1117442,968

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение	Целочисленное
\$B\$25	Число тракторов, шт.	0	11,92835172	Продолжить
\$C\$25	Число тракторов, шт.	0	0	Продолжить
\$D\$25	Число тракторов, шт.	0	49,65094557	Продолжить

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$B\$28	Количество дней работы, дн	10	\$B\$28>=0	Без привязки	10
\$E\$33	Обработанная площадь, м2 Сумма	1000000	\$E\$33=\$F\$33	Привязка	0
\$B\$25	Число тракторов, шт.	11,92835172	\$B\$25>=0	Без привязки	11,92835172
\$C\$25	Число тракторов, шт.	0	\$C\$25>=0	Привязка	0
\$D\$25	Число тракторов, шт.	49,65094557	\$D\$25>=0	Без привязки	49,65094557

а)

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Окончательное значение	Приведенн. Градиент
\$B\$25	Число тракторов, шт.	11,92835172	0
\$C\$25	Число тракторов, шт.	0	8,771168857
\$D\$25	Число тракторов, шт.	49,65094557	0

Ограничения

Ячейка	Имя	Окончательное значение	Лагранжа Множитель
\$B\$28	Количество дней работы, дн	10	0
\$E\$33	Обработанная площадь, м2 Сумма	1000000	1,117443038

б)

**Рисунок 7 - Результаты оптимизации (а) и отчет об устойчивости (б) для площади вырубki 100 га**

Для площади обработки 100 га и продолжительность 10дн. Оптимальное количество машин составит 12 машин с рабочим органом размерами 1 м и 50 машин с рабочим органом размером 3 м.

Таким образом, представленные подходы оптимизации могут быть использованы для подбора оптимальных комбинаций обрабатывающих машин для любых условий работы. Результаты, получаемые при оптимизации, определяются конкретными условиями моделирования, являются повторяемыми и имеют явную зависимость, в рамках которой

количество машин увеличивается с увеличением обрабатываемой площади.

### **Библиографический список**

1. Жуков, А.В. Теория лесных машин / А.В.Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. –640 с.
2. Ширнин, Ю.А. Процессы комплексного освоения участков лесного фонда при малообъемных лесозаготовках: Научное издание / Ю.А.Ширнин, К.П.Рукомойников, Е.М.Онучин; Под ред. Ю.А.Ширнина. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 196 с.
3. 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.
4. Александров, В.А. Механизация лесосечных работ в России / В.А.Александров. – СПб.: СПбЛТА, 2000. – 208 с.
5. Александров, В.А. Модифицированные сельскохозяйственные тракторы для лесозаготовок / В.А.Александров, Н.А.Гуцелюк, С.Ф.Козьмин. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986. – 24 с.
6. Заикин, А. Н. Теория, методы и модели интенсификации лесосечных работ, монография / А.Н. Заикин. – Брянск: БГИТА, 2009. – 212 с.

### **References**

1. Zhukov, A.V. Teorija lesnyh mashin / A.V.Zhukov. – Minsk: BGTU, 2001. –640 s.
2. Shirnin, Ju.A. Processy kompleksnogo osvoenija uchastkov lesnogo fonda pri maloob#emnyh lesozagotovkah: Nauchnoe izdanie / Ju.A.Shirnin, K.P.Rukomojnikov, E.M.Onuchin; Pod red. Ju.A.Shirnina. – Joshkar-Ola: MarGTU, 2005. – 196 s.
3. Sidyganov, Ju.N. Modul'nye mashiny dlja rubok uhoda i lesvosstanovlenija: monografija / Ju.N.Sidyganov, E.M.Onuchin, D.M.Lastochkin. – Joshkar-Ola: Marijskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2008. – 336 s.
4. Aleksandrov, V.A. Mehanizacija lesosechnyh rabot v Rossii / V.A.Aleksandrov. – SPb.: SPbLTA, 2000. – 208 s.
5. Aleksandrov, V.A. Modificirovannye sel'skohozjajstvennyye traktory dlja lesozagotovok / V.A.Aleksandrov, N.A.Guceljuk, S.F.Koz'min. – M.: VNIPIEIllesprom, 1986. – 24 s.
6. Zaikin, A. N. Teorija, metody i modeli intensifikacii lesosechnyh rabot, monografija / A.N. Zaikin. – Brjansk: BGITA, 2009. – 212 s.