

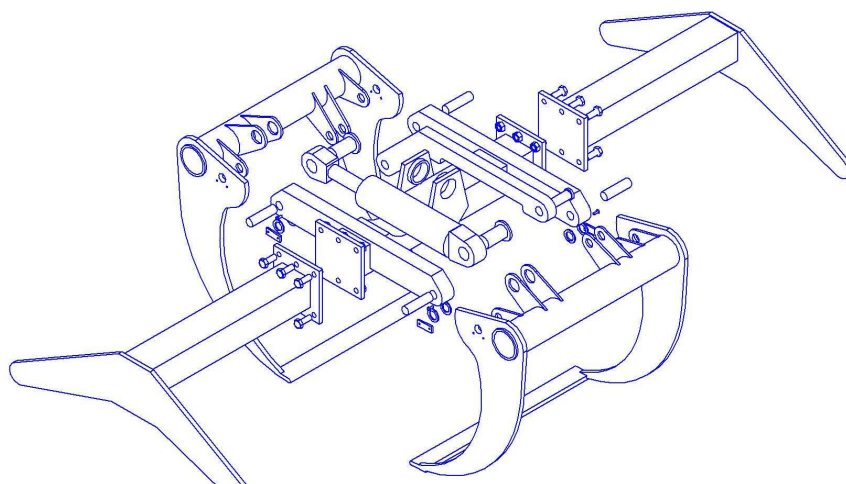
Министерство образования Российской Федерации

СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 631.3.001

КОРШУН Виктор Николаевич

РОТОРНЫЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН: КОНЦЕПЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ



Красноярск 2002

УДК 631.3.001

Коршун В.Н. Роторные рабочие органы лесохозяйственных: Концепция конструирования. – Красноярск: СибГТУ, 2002. – 228 с

В монографии приводится анализ конструкций и параметров роторных рабочих органов лесохозяйственных и полевых машин, на основании которого, с использованием системного подхода, разработана концепция конструирования. Приводятся результаты функционального анализа, дается классификация рабочих органов по технологическому способу взаимодействия с предметом труда. Получен алгоритм поиска конструктивных решений. Предложены основные принципы конструирования.

Рекомендуется конструкторам лесных и сельскохозяйственных машин.

Табл. 43. Ил. 66. Прил. 9. Библиограф. 140 назв.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Н.М. Антонов (Красноярский аграрный университет);

Korshun V.N. Rotary powers of forestry and machines: The concept of designing. - Krasnoyarsk: SibSTU, 2002. - 228 p.

In the monograph the analysis of designs and parameters rotary power of forestry and logging machines is resulted, on the basis of which with use of system methods the concept of designing is developed. The results of the functional analysis are resulted, on the basis of which the classification of by a technological way of interaction with a subject of work is offered. The algorithm of search of the constructive decisions is received. The basic principles of designing rotary power of forestry machines are given.

It is recommended to the designers and constructors of forestry, logging, farm and agricultural machines

Tables. 43. Illustrations 66. Applications 9. Bibliography 140.

Referees: Prof. A.M. Antonov (Krasnoyarsk Agricultural University);

© В.Н. Коршун, 2002

© Сибирский государственный
технологический университет, 2002

Содержание

Введение	5
1 Анализ конструктивных особенностей и свойств роторных рабочих органов	10
1.1 Анализ конструкций рабочих органов машин для обработки почвы	10
1.1.1 Рабочие органы машин для сплошной обработки почвы	10
1.1.2 Рабочие органы машин для междурядной обработки почвы	27
1.2 Анализ конструкций рабочих органов машин	34
для ухода за лесом.....	34
1.3 Анализ конструкций рабочих органов для измельчения стебельчато - волокнистых материалов и древесины	43
1.3.1 Анализ конструкций рабочих органов барабанного типа.....	44
1.3.2 Анализ конструкций рабочих органов роторного типа.....	46
1.3.3 Анализ конструкций рабочих органов для измельчения	51
1.3.4 Анализ конструкций рабочих органов для	53
1.4 Анализ конструкций роторных рабочих органов ударно-измельчающего действия	56
1.4.1 Анализ конструкций рабочих органов измельчающих приставок.....	57
1.4.2 Анализ конструкций рабочих органов молотковых дробилок	59
1.4.3 Анализ конструктивных особенностей рабочих органов газонокосилок.....	69
1.5 Обзор конструктивных особенностей роторных рабочих органов, разработанных кафедрой ПЛО СибГТУ	74
2 Параметрический анализ роторных рабочих органов лесохозяйственных машин.....	85
2.1 Параметры проектирования	86
2.2 Анализ параметров рабочих органов режущего типа	88
2.2.1 Обоснование силы резания почвы ножами	89
2.2.2 Обоснование мощности	90
2.3 Расчет вертикальной фрезы.....	93
2.3.1 Обоснование ширины захвата рабочего органа	94
2.3.2 Обоснование конструктивных параметров.....	94
2.3.3 Конструирование и расчет	95
2.4 Анализ параметров режущих рабочих органов барабанного типа	99
2.5 Обоснование параметров дисковых измельчающих рабочих органов.....	101
2.6 Обоснование параметров рабочих органов измельчителей ударного действия.....	102
3 Разработка концепции конструирования роторных рабочих органов	109
3.1 Общие основы разработки концепции конструирования роторных рабочих органов лесохозяйственных машин	109
3.1.1 Учет требований лесного хозяйства при конструировании машин	110
3.2 Основные принципы разработки концепции	111
конструирования роторных рабочих органов	111
3.3 Постановка задачи.....	121
3.4 Функциональный анализ	125

3.4.1 Общая классификация лесохозяйственных машин по функциям, выполняемым рабочими органами	125
3.4.2 Морфологический анализ функций, выполняемых роторными рабочими органами	128
3.4.3 Результаты функционального анализа	135
4 Разработка топологии конструирования роторных рабочих органов лесохозяйственных машин	142
4.1 Классификация роторных рабочих органов по технологическому способу	142
4.2 Составление графа конструктивных решений	152
4.3 Разработка алгоритма поиска конструктивных решений	168
5 Основные принципы конструирования лесохозяйственных машин на современном этапе	172
5.1 Конструирование с позиций системности машин	173
5.2 Принцип стандартизации	175
5.3 Конструирование с позиций технологии изготовления	177
5.4 Облегчение конструкций и снижение расхода материалов	179
5.4.1 Выбор рационального физико-технического принципа работы	180
5.4.2 Обеспечение минимальных габаритов	181
5.4.3 Выбор статических несущих конструкций	181
5.4.4 Совмещение функций элементов конструкции	184
5.5 Выбор оптимальных форм поперечных сечений на основе найденных напряжений	188
5.6 Выбор материалов	192
5.6.1 Несущие конструкции	194
5.6.2 Кожухи	197
5.6.3 Валы	199
5.6.4 Измельчающие элементы	200
5.6.5 Подшипники	202
5.6.6 Виброизоляторы	205
5.7 Повышение износостойкости	206
5.8 Защита от коррозии	209
Библиографический указатель	212
ПРИЛОЖЕНИЕ А	219
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	221
ПРИЛОЖЕНИЕ В	222
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	222
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	223
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	223
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	223
ПРИЛОЖЕНИЕ З	224
ПРИЛОЖЕНИЕ И	224
ПРИЛОЖЕНИЕ К	226

Введение

Роторные рабочие органы лесохозяйственных и полевых машин изменяют физико-механические и технологические свойства предмета труда и по общей классификации относятся к рабочим органам технологических машин. Основы теории, расчета, проектирования, классификации роторных рабочих органов, их преимущества перед пассивными рабочими органами были заложены В.П. Горячкиным. В настоящее время данные устройства широко применяются в сельскохозяйственных машинах для растениеводства, кормопроизводства, чаеводства, животноводства, в машинах и оборудовании для озеленения населенных мест, в строительстве, в лесных, мелиоративных и коммунальных машинах, в машинах для пищевых производств и т.п.

Требования, предъявляемые к проектным параметрам роторов, обуславливаются агротехническими, лесоводственными, зоотехническими и другими требованиями, предъявляемыми к самому предмету труда, которые довольно жестко регламентируются стандартами. Процесс взаимодействия рабочих органов с предметом труда характеризуется большими затратами энергии. Так, в технологическом процессе возделывания большинства сельскохозяйственных культур, по энергетическим затратам, вспашка является наиболее энергоемкой операцией [1, с. 71]. По некоторым данным, на измельчение одной тонны стеблесоломистых кормов расходуется 1 – 7 кВт·ч, а зернофуража – 2 – 17 кВт·ч электроэнергии, что составляет около 30% от общих затрат энергии на заготовку и приготовление кормов.

Главным отличительным признаком всех роторных рабочих органов является их активное вращение при взаимодействии с предметом труда. Роторные рабочие органы изменяют свойства предмета труда и разделяют его на части методами резания, дробления, рубки, истирания, крошения и т.п. Способ технологического воздействия на предмет труда зависит от сочетания в нем упругих, вязких и пластических свойств. Под воздействием рабочего органа материал деформируется и разделяется на части, т.е. измельчается. Для измельчения материалов с повышенной жесткостью применяют дробление, а для легкодеформируемых материалов, как правило, используют резание [2].

Выбранный способ технологического воздействия на предмет труда обуславливает конструктивные особенности рабочих органов, его параметры и режимы функционирования. Основными задачами проектирования роторных рабочих органов является не столько оптимизация их конструктивных параметров, сколько обеспечение минимальной энергоемкости измельчения при ограничениях на качество измельченного материала.

Анализ литературных источников показывает, что рабочие органы с измельчающими элементами режущего типа имеют относительно низкую энергоемкость при удовлетворительном качестве измельчения [3,4,5,6]. Однако надежность таких рабочих органов при их использовании в лесохозяй-

ственных машинах для измельчения материалов, изобилующих древесными включениями, существенно снижается, а затраты на техническое обслуживание и ремонт – увеличиваются. Аналогичные рабочие органы нашли широкое распространение в мобильных машинах для обработки почвы, пней и кустарников. Скорости взаимодействия таких рабочих органов с предметом труда не велики и не превышают 10 м/с. Анализ их конструкций приведен в разделе 1.1. Рабочие органы, анализ которых приводится в данном разделе, взаимодействуют с предметом труда, который, обычно неподвижен, а подача осуществляется перемещением самого рабочего органа.

Рабочие органы машин для ухода за лесом, анализ конструкций которых приведен в разделе 1.2, взаимодействуют с почвой, изобилующей древесными включениями, порубочными остатками и покрытые подстилкой и дерниной.

В разделе 1.3 дается анализ конструкций рабочих органов режуще-раскалывающего-рубящего типа, применяемых в машинах для измельчения стебельчато-волоконистых материалов и древесины. Такие рабочие органы имеют барабан или диск с режущими ножами и противорежущими элементами. Измельчение подаваемого в измельчитель предмета труда осуществляется резанием пуансоном. Рабочие органы такого типа широко используются в машинах для измельчения кормов. В лесном хозяйстве они применяются для измельчения древесной зелени, лесосечных отходов, кустарника и древесины. Данные рабочие органы измельчают предмет труда со скоростью от 10 до 40 м/с и с высоким коэффициентом однородности, однако, предъявляют повышенные технические требования к остроте лезвий ножей.

В разделе 1.4 содержится анализ конструктивных особенностей роторных рабочих органов с шарнирно закрепленными измельчающими элементами. Скорости взаимодействия рабочих органов с предметом труда у таких измельчителей – максимальны, а процесс измельчения приобретает ударный характер. Подобные рабочие органы просты по конструкции и имеют высокую надежность. Широко применяются в машинах для кошения кормов, в которых не исключено взаимодействие рабочих органов с почвой, в лесохозяйственных мульчирователях, газонокосилках, в машинах для стрижки кустарников, в молотковых дробилках и т.д. Качество процесса измельчения характеризуется высокой энергоемкостью и низким коэффициентом однородности. Взаимодействие рабочих органов с предметом труда осуществляется за счет инерционного или пневматического подпора. Часто такие рабочие органы выполняют транспортирующие функции.

В разделе 1.5 приводится анализ конструктивных особенностей роторных рабочих органов, разработанных на кафедре ПЛО СибГТУ и применяемых для кошения древесно-кустарниковой растительности, измельчения опавших листьев и почв с древесными включениями.

Во второй главе приведен параметрический анализ роторных рабочих органов. Дается обзор научных работ по обоснованию главного и основ-

ных проектных параметров.

В третьей главе разрабатывается концепция конструирования роторных рабочих органов на основе системного конструирования с учетом особенностей их функционирования, дается классификация рабочих органов на основе функционального анализа. Приведены примеры.

В четвертой главе разрабатывается топология конструирования роторных рабочих органов лесохозяйственных машин, дается классификация технологических способов взаимодействия с предметом труда, составлен граф конструктивных решений, приводятся результаты конструктивного анализа, дается алгоритм поиска конструктивных решений.

В пятой главе приводятся основные принципы конструирования роторных рабочих органов, несущих конструкций, опор, валов, измельчающих элементов на основе уменьшения стоимости изготовления, снижения материалоемкости, использования современных материалов. В приложениях приводится справочная информация.

Рисунки в книге выполнены в графических редакторах КОМПАС-ГРАФИК – 5.11 (АСКОН, лицензия № К-01-00725, СибГТУ) и AutoCAD (Autodesk, Inc., s/n 112- 656770091), на заимствованные рисунки сделана ссылка в подписной надписи.

Краткий терминологический словарь, принятый в книге

Рабочий орган – элемент (часть) технической системы (машины), непосредственно взаимодействующий с предметом труда и изменяющий его физико-механические, технологические и потребительские свойства.

Роторный рабочий орган (РО) – элемент (часть) машины, который установлен в *опорах* и при взаимодействии с предметом труда активно вращается. Энергия от источника в виде крутящего (вращающего) момента и угловой скорости к рабочему органу поступает через привод. *Ротационные рабочие органы* вращаются в результате взаимодействия (реакции) с предметом труда.

Ротор (rotor) - (в механике машин) тело, которое при вращении удерживается своими несущими поверхностями в опорах. Несущие поверхности – поверхности цапф, а в качестве опор используются подшипники.

Опора (support) – устройство, соединяющее ротор с несущим основанием (рама или кожух, корпус) и налагающее ограничение на его перемещение.

Привод (drive) – система взаимосвязанных устройств, предназначенная для приведения ротора во вращательное движение. Привод подключен к источнику энергии. Часто под приводом понимается только система передачи движения.

Рама (frame) – несущая основа машины, состоящая из геометрически неизменяемой стержневой системы, стержни которой во всех или некоторых

узлах неподвижно соединены между собой. Воспринимает основные нагрузки от рабочего органа, обрабатываемой поверхности, предмета труда, обеспечивает необходимую прочность, жесткость и устойчивость.

Кожух (shell) – наружная оболочка рабочего органа, предназначенная для защиты человека от измельчаемых частиц, для изоляции рабочей камеры, часто выполняет несущие функции. Создает пространство, в котором движется рабочий орган. Внутренняя часть образует рабочую поверхность, которая участвует в рабочем процессе.

Свойство (property) – черта, исключительно характеризующая данный объект проектирования и позволяющая точно определять объект при заданной степени детализации. При утрате свойства объект превращается в нечто иное;

Особенность (peculiarity) – черта, характеризующая объект проектирования с точки зрения его связи с другими объектами, способность воздействия на другой объект.

Элемент – часть технической системы, который может выступать самостоятельно, сохраняя свои свойства. Антипод *часть* технической системы, которая при рассмотрении ее самостоятельно, теряет свои свойства.

Концепция (conception) – проект, представляющий собой схему решения задачи создания (разработки) технического средства.

Концептуальное исследование (creation of conception) – разработка группы возможных концепций, которые могут служить основой для решения технической задачи в процессе проектирования. В результате данной процедуры создается упорядоченное множество концепций, что ведет к снижению риска случайного выбора концепции конкретного изделия.

Критерий (criterion) – основа оценки, позволяющая избежать субъективных суждений при выборе альтернативных вариантов. Служит основой оптимизации.

Конструкция (construction, design) – конкретная техническая реализация ТС, определяющая ее состав, форму, материалы, взаимное расположение и связь составных частей и элементов (структура), состояние изделия и информационную выразительность. Синоним – *устройство*.

Техническая система (ТС) – абстрактное отражение комплекса взаимосвязанных технических средств, действующих как одно целое, обеспечивающих преобразование вещества (массы), энергии и информации. Объект проектирования. Количество связей в системе определяет ее сложность. Элементы системы обладают одной связью.

Техническое средство – элемент технической системы, предназначенный для преобразование вещества (массы), энергии и информации. Разновидности: орудия, машины, инструменты, а также помещения;

Системный подход (systems approach) – метод анализа и синтеза технических систем с системных позиций.

Оптимизация – методологическая процедура в процессе проектирования и конструирования, направленная на решение технической задачи с наилучшими результатами, в соответствии с принятыми критериями.

Машина (machine) – техническое средство, выполняющее, как правило, механические движения, и служащее для преобразования материалов, энергии и информации с целью повышения их потребительских качеств, замены или облегчения физического или умственного труда.

Проектирование (projecting, designing) – процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях несуществующего объекта, на основе первичного описания и (или) алгоритма его функционирования или алгоритма процесса, преобразованием (часто неоднократным) первичного описания путем оптимизации заданных характеристик и алгоритма функционирования или алгоритма процесса, устранением некорректности первичного описания и последующем представлением описаний в виде описания на языке проектирования. Результат проектирования – проект. Синоним – *конструирование*.

Проект (design, project) – совокупность проектных документов согласно установленной номенклатуры, в которых представлены результаты проектирования.

Автоматизированное проектирование (computer aided design, CAD) – проектирование, при котором преобразование описаний объекта и (или) алгоритма его функционирования или алгоритма процесса, а также представление описаний на различных языках, осуществляется при взаимодействии человека и ЭВМ, либо без участия человека (*automatic design*). Для реализации используется *система автоматизированного проектирования (САПР)* – комплекс технических (аппаратных) и программных средств, математического, методологического, организационного и трудового обеспечения процесса автоматизированного проектирования.

Системное проектирование (integral design) – проектирование на основе системного подхода, части с точки зрения целого.

Конструкторская документация (design documentation) – графические и текстовые документы (на бумажном, магнитном или другом носителе), которые в отдельности или в совокупности определяют состав (структуру) или устройство (конструкцию) изделия и содержат необходимую и достаточную информацию для его разработки (проектная), изготовления (конструкторская), контроля, приемки, эксплуатации, ремонта и утилизации, выполняется на специальном языке описания.

Технология (technological, processing) – совокупность методов преобразования предмета труда, как правило, материалов, с целью получения определенных потребительских свойств.

Условные обозначения

П – проектирование, проект; *К* – конструирование, конструкция; *КР* – конструктивное решение; *ТР* – техническое решение; *ТС* – техническая сис-

тема, техническое средство, технологический способ; PO – рабочий орган; POo – одинаковый (идентичный) рабочий орган; POp – различные рабочие органы; $ИЭ$ – измельчающий элемент; Φ – функция; T – топология; $ПР$ – принцип работы; $ПД$ – принцип действия; $ЕСКД$ – единая система конструкторской документации; $И$ – информация; $ИБ$ – информационный банк данных; $БД$ – база данных; $ПТ$ – предмет труда; $ЛМ$ – лесохозяйственная машина, лесная машина; Vx – вход, входная величина; Vyx – выход, выходная величина; R – радиус ротора; D – диаметр ротора; L – длина ротора; V – объем ротора; ω – угловая скорость, рад/с; n – частота вращения, мин⁻¹; V_m – поступательная скорость машины; $V_{окр}$ – окружная скорость; $P, P_{рез}$ – сила резания; p – удельное сопротивление; N – мощность; A – работа; Z, z – количество элементов (измельчающих); $M_{кр}$ – момент крутящий; M_u – момент изгибающий; R – реакция; Π, Q – производительность.

1 Анализ конструктивных особенностей и свойств роторных рабочих органов

1.1 Анализ конструкций рабочих органов машин для обработки почвы

Роторные рабочие органы получили широкое распространение в полевых сельскохозяйственных и лесохозяйственных машинах, применяемых для обработки почвы. Такие машины часто называют *фрезами* [7,8,9,10]. В сельскохозяйственной науке подобные рабочие органы относят к классу *ротационных*. Анализ литературных источников показывает, что все фрезы можно условно разделить на три основные группы: для сплошной обработки почвы; междурядной обработки лесных культур; рытья канав, траншей, фрезерования пней и кустарников.

1.1.1 Рабочие органы машин для сплошной обработки почвы

Фрезы первой группы с успехом используются для обработки осваиваемых болотных, садовых и лесных почв, в дорожном строительстве, а также для основной и предпосевной обработки почвы. Технические характеристики фрез приведены в таблице 1.1.

Типичным представителем фрез данной группы является фреза болотная ФБН-2 (рисунок 1.1).

Фреза предназначена для обработки заболоченных лесных почв с целью их мелиорации. Агрегатируется в основном с тракторами Т-130, Т-150. В результате экспериментов (Ф.М.Канарев, 1983) было установлено, что наилучшее качество обработки почв фрезой ФБН-2,0 обеспечивается при подаче на нож не более 0,06 м/с при скорости движения агрегата 3,78 км/ч и частоте вращения ротора 290 мин⁻¹. Глубина обработки почвы – до 0,2 м.