Д.А. Соловьев, Р.Е. Кузнецов,
Д.Г. Горюнов

Механизация эксплуатационных работ на оросительных каналах

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Д.А. Соловьев, Р.Е. Кузнецов,
Д.Г. Горюнов

МЕХАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

Саратов 2010

УДК 631.3
ББК 40.723
С 60

Рецензенты:
доктор технических наук, профессор
Саратовского государственного
социально-экономического университета
В. А. Щербаков
доктор технических наук, профессор
Саратовского государственного аграрного университета
им. Н.И. Вавилова
В. В. Слюсаренко

Соловьев Д. А., Кузнецов Р. Е., Горюнов Д. Г.
С 60 Механизация эксплуатационных работ на оросительных каналах / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010. – 444 с.
ISBN 978-5-7011-0703-6

В монографии обобщены результаты научных исследований по совершенствованию технологий и технических средств, применяемых для проведения эксплуатационных работ на оросительных системах. Представлена новая ресурсосберегающая технология очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности, а также альтернативные технологические схемы по переработке древесины. Предложены новые теоретически обоснованные конструктивно-технологические схемы машин и оборудования для проведения эксплуатационных работ на оросительных системах. Математически описана взаимосвязь конструктивных и режимных параметров предлагаемого рабочего оборудования.

Книга предназначена для научных сотрудников, аспирантов, конструкторов, преподавателей, студентов и специалистов сельскохозяйственного и мелиоративного производства.

УДК 631.3
ББК 40.723

ISBN 978-5-7011-0703-6

© Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов,
Д. Г. Горюнов, 2010

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в развитых странах производство сельскохозяйственной продукции неразрывно связано с проведением оросительных мелиоративных работ. Тот факт, что Российская Федерация в современных условиях имеет 13 % посевных площадей от мирового уровня и при этом получает лишь 2 % урожая [281], говорит сам за себя. Именно эффективное использование комплекса мелиоративных мероприятий позволит России занять передовые позиции в сельскохозяйственном производстве и ежегодно получать гарантированные высокие урожаи.

В мировой практике более трети всей сельскохозяйственной продукции получают с орошаемых земель, занимающих 17 % всей используемой площади. В России орошаемые земли составляют лишь 3,5 % от общей площади пашни [281].

Кризисное состояние, в котором находилась мелиоративная отрасль России в период экономических преобразований конца XX в., и как следствие – значительное сокращение финансирования отрасли заставили организации, занимающиеся эксплуатацией оросительных систем, существенно снизить объемы эксплуатационно-ремонтных работ на инженерно-мелиоративных сооружениях. Финансирования организациям мелиоративного комплекса хватало лишь на то, чтобы хоть как-то существовать и поддерживать подачу воды на жизненно важные объекты и орошаемые площади. Эксплуатационно-ремонтные работы выполнялись не в полном объеме, а иногда и вовсе не проводились. Вследствие этого оросительные каналы стали интенсивно зарастать травяной и древесно-кустарниковой растительностью, разрушалась их облицовка и происходило заиление русел.

Необходимо отметить, что за период с 1990 по 2000 г. площадь мелиорируемых земель в Российской Федерации сократилась с 11,27 до 9,1 млн га, в том числе орошаемых с 6,16 до 4,47 млн га (на 27 %) [281]. Причем в Саратовской области площадь орошаемых земель сократилась за этот период практически вдвое [2]. В настоящее время в области имеется 257,3 тыс. га регулярно орошаемых земель, из них фактически поливается 165 тыс. га [15]. Степень износа оросительных систем Саратовской области на 2007 г., по данным ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», составляла 51,8 %.

В связи со значительным сокращением финансирования эксплуатационных мероприятий особенно остро на данный момент стоит проблема очистки мелиоративных каналов от древесно-кустарниковой растительности и донных отложений [6, 10].

Анализ существующих технологий и технических средств механизации работ по эксплуатации оросительных каналов показывает, что эффективность и производительность этих работ существенно отстают от современных требований производства. При выполнении некоторых операций (очистка каналов в стесненных условиях, уборка срезанной растительности, ремонт облицовки и т. п.) до сих пор используется малопроизводительный ручной труд. В настоящее время необходимы новые комплексные ресурсосберегающие технологии и высокоэффективные машины, способные значительно повысить производительность и качество выполняемых эксплуатационных работ, обеспечить надежное транспортирование воды к орошаемым площадям, улучшить качество самой оросительной воды и в итоге увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. Учитывая тот факт, что повышение урожайности оказывает непосредственное влияние на укрепление продовольственной безопасности страны, данное научно-исследовательское направление является актуальным и перспективным.

Таким образом, целью нашего научного исследования является повышение эффективности работы мелиоративных систем за счет разработки новых и совершенствования существующих технологий и технических средств, применяемых для проведения эксплуатационных работ на оросительных каналах.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ И САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

1.1. Состояние оросительных систем и перспективы развития мелиоративного производства

1.1.1. Становление и развитие мелиоративного комплекса

В условиях современного аграрного производства в России и других странах мелиорация земель была и остается одной из стратегических отраслей сельского хозяйства. С давних времен борьба с засухой считалась задачей государственной важности, развитию мелиорации уделялось большое внимание как в царской России, так и в годы советской власти [64]. Передовой отечественный и зарубежный опыт показывает, что только мелиорируемые земли способны обеспечить эффективное развитие сельскохозяйственного производства.

В России более 70 % всех сельскохозяйственных угодий и около 80 % пашни расположены в зонах недостаточного или неустойчивого увлажнения атмосферными осадками, с часто повторяющимися засухами и суховеями, резко снижающими урожайность и валовые сборы сельскохозяйственных культур [137]. В этих условиях стабильное получение высоких урожаев и повышение продуктивности земель возможно только за счет использования орошения в комплексе с другими видами мелиорации.

Для повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий в засушливой зоне в период с 1966 по 1990 г. было введено в эксплуатацию 4,65 млн га орошаемых земель, вследствие чего общая площадь их возросла до 6,16 млн га. Более половины орошаемых земель (61 %) сосредоточено в двух европейских регио-

нах России – Северо-Кавказском (2,12 млн га) и Поволжском (1,7 млн га). Значительно расширены площади орошаемой пашни в Центрально-Черноземном, Уральском и Западно-Сибирском регионах (табл. 1.1) [137].

Общая площадь орошаемых и осушенных земель к 1990 г. достигла 11,27 млн га, что составило 5,2 % сельскохозяйственных угодий страны. В настоящее время в Российской Федерации в орошении нуждается 71,5 млн га земель [136].

Таблица 1.1

Показатели развития орошения по природно-экономическим регионам засушливой части России, тыс. га

Природно-экономические регионы	Годы							
	1965	1970	1975	1980	1985	1990	2000	2004
Российская Федерация	1510	1948	3682	4989	5799	6156	4466	4546
В том числе:								
Северо-Кавказский	918	1168	1462	1766	1920	2117	1687	1867
Поволжский	171	295	868	1192	1512	1702	1154	1142
Центрально-Черноземный	5	15	204	300	381	483	253	247
Уральский	36	48	259	434	469	516	333	305
Западно-Сибирский	32	35	143	235	294	606	266	257
Восточно-Сибирский	296	301	348	348	358	420	290	294
Дальневосточный	14	33	70	137	–	147	114	122
Всего в засушливой зоне, %	96	96	89	86	85	87	89	89

В период расцвета мелиорации на орошаемых землях страны производилось до 20–22 % продукции растениеводства, до 45 % зеленых кормов [116].

Продуктивность 1 га орошаемой земли в целом по Российской Федерации к началу 90-х гг. XX в. была увеличена до 4,2–4,6 тыс. к. ед. Во влажные годы продуктивность орошаемых земель в 2–3 раза превышала показатели богарных земель, а в засушливые – в 4–5 и более раз. Орошение способствовало не только существенному увеличению урожайности, но и повышению устойчивости ее по годам. Например, многолетние данные по выращиванию люцерны на зеленую массу показали, что без орошения средняя урожайность составляет 6,4 ц/га, тогда как в случае использования орошения данный показатель составил 82,5 ц/га [137].

Одним из регионов с наиболее развитой системой орошения является Саратовская область, где в 1960–1990 гг. была создана одна из лучших оросительных систем страны. Это было обосновано тем, что область располагается в засушливой климатической зоне (из 38 сельских районов 18 расположены в засушливой зоне, 11 – в зоне полупустынь с 405 населенными пунктами, не имеющими постоянного обеспечения питьевой водой) и является зоной рискованного земледелия, в которой без развития орошения невозможно получать стабильные урожаи сельскохозяйственных культур [144].

По данным многолетних исследований Г.В. Дегтяревой, повторяемость засушливых лет в Поволжье составляет 33 %, а повторяемость интенсивных засух – 6 % [101]. Из последних 60 лет в Поволжье 35 оказались предельно засушливыми. Особенно сильными засухи были в 1957, 1963, 1965, 1972, 1975, 1977, 1981, 1991 и 1995 гг., когда подавляющее число хозяйств осталось без зерна и кормов, вследствие чего в Заволжье была забита третья часть поголовья скота. Даже населению в засушливые годы выдавалось всего по ведру воды на семью в сутки [144].

С 1975 г. в Саратовской области стала создаваться крепкая производственно-научная база мелиорации, которая позволила ежегодно сдавать в эксплуатацию до 30 тыс. га поливной земли и вести орошаемое земледелие по самым современным и научно обоснованным технологиям. В период с 1965 по 1985 г. площадь орошаемого земледелия в Саратовской области увеличилась с 32 до 532 тыс. га [144].

С 1972 г. в Саратовской области начинается широкое применение дождевания как наиболее технически прогрессивного и отвечающего агротехническим требованиям спо-

соба полива. В области стали изготовлять и использовать на полях широкозахватные дождевальные машины типа «Фрегат» и «Волжанка». В 1972 г. было смонтировано 17 ед. дождевальных машин «Фрегат» и 149 «Волжанок», в 1973 г. – уже 93 «Фрегата» и 470 «Волжанок». С 1976 г. в области стали создавать и мощнейшие дождевальные машины «Днепр». Всего с 1972 по 1997 г. было внедрено 4683 «Волжанки», 3987 «Фрегатов» и 417 «Днепров», что позволило все эти годы, вплоть до 1992 г., решать проблемы орошения полей Заволжья [144].

В период 1972–1990 гг. мелиораторами области было введено в эксплуатацию 552,9 тыс. га орошаемых земель, перестроены все линии электропередач, модернизированы и увеличены мощности крупных электрических подстанций районного значения. Для обеспечения бесперебойной работы оросительных систем построено 336 стационарных насосных станций, 4 тыс. км линий электропередач, введено подстанций общей мощностью 3 млн кВт [144].

В 90-е гг., в связи с развалом Советского Союза и кризисными явлениями, мелиоративная отрасль переживала очень тяжелое время. Создание новых мелиоративных систем было прекращено, долгое время не велись работы по реконструкции и восстановлению ранее построенных систем, на их эксплуатацию и обновление техники выделялось не более трети от объема необходимых средств [133]. За 1990–2000 гг. площадь мелиорированных земель сократилась с 11,27 до 9,10 млн га, в том числе орошаемых – с 6,16 до 4,47 млн га [137].

Кризисный период 90-х гг. сильно ослабил производственную базу мелиорации Саратовской области. Недостаточное финансирование отрасли, а также износ работающего оборудования и практически полное отсутствие обновления парка машин в течение 10 лет привели к тому, что были списаны и переведены в богарные значительные площади орошаемых земель [97].

По диаграмме, представленной на рис. 1.1, можно наглядно проследить резкое сокращение орошаемых земель. Однако

в последнее десятилетие ситуация несколько стабилизировалась. В настоящее время общая площадь мелиорируемых земель в Саратовской области составляет 257,3 тыс. га, из которых поливается около 64 %.

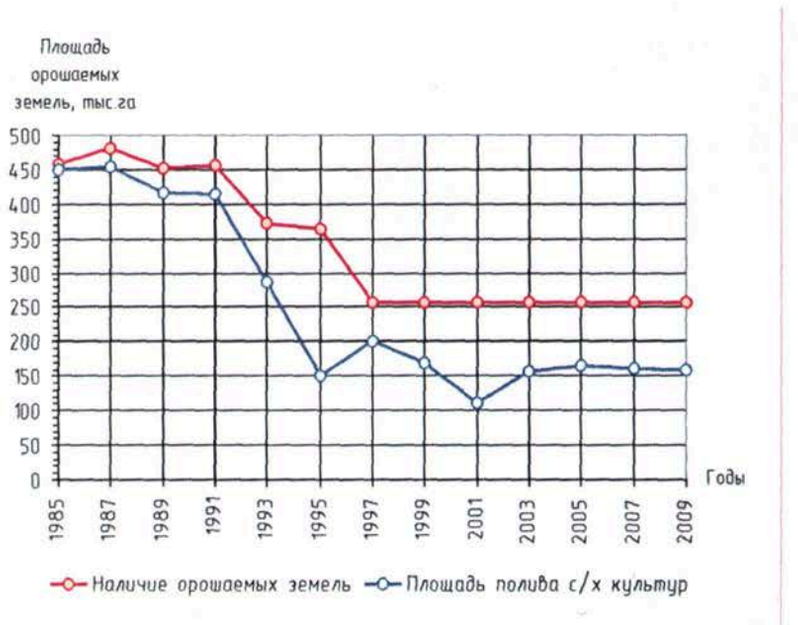


Рис. 1.1. Характеристика орошаемых земель Саратовской области

На рис. 1.2 представлены основные показатели водопользования в Саратовской области [5, 34]. Необходимо отметить, что в последние годы также наметились некоторая стабилизация и увеличение данных показателей, свидетельствующие о повышении эффективности работы ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз».

Однако разница с доперестроечным периодом остается колоссальной. Сокращение водоподачи, в свою очередь, привело к снижению валового сбора продукции растениеводства с орошаемых земель (рис. 1.3).

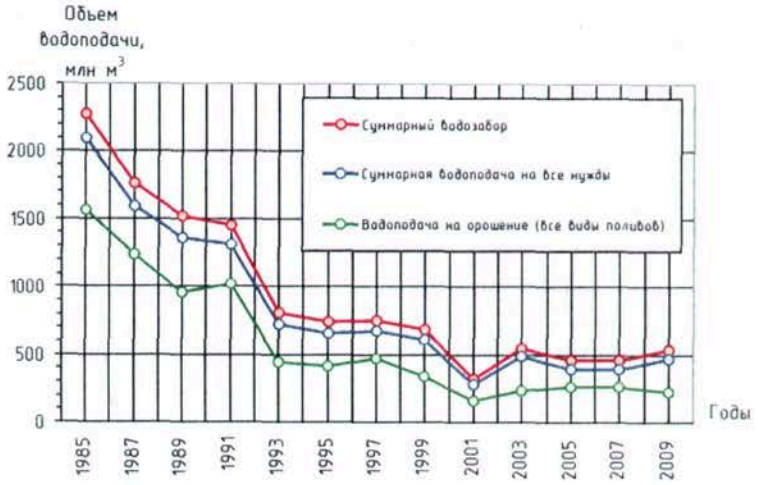


Рис. 1.2. Объемы водоподачи в Саратовской области



Рис. 1.3. Валовый сбор продукции растениеводства с орошаемых земель Саратовской области

Также с начала 90-х гг. в Российской Федерации в целом и Саратовской области в частности практически прекратилось обновление парка машин организаций, занимающихся эксплуатацией и ремонтом оросительных систем. При этом произошло резкое сокращение разработки, производства и внедрения новой мелиоративной техники [9, 134].

Для получения более полного представления о современном состоянии мелиоративного комплекса России и Саратовского Заволжья, перспективах его дальнейшего развития, необходимо провести анализ показателей мелиорируемых земель и оросительных систем.

1.1.2. Состояние мелиорируемых земель Российской Федерации и оросительных систем Саратовского Заволжья

В настоящее время общая территория России составляет 1707,54 млн га. Лесные угодья занимают 45 %, оленьи пастбища – 19 %, водная поверхность – 4 %, прочие земли – 19 %. На 13 % площади, занятых сельскохозяйственными угодьями, производится вся продукция сельского хозяйства, используемая в продовольственных целях, а также в качестве сырья для промышленности [137].

По наличию пашни, являющейся главным средством производства сельскохозяйственной продукции, Россия занимает третье место в мире (США – 186 млн га, Индия – 166 млн га, Россия – 130 млн га). В расчете на каждого россиянина приходится 0,83 га пашни при среднемировом показателе 0,23 га. Однако по уровню интенсивности использования пашни, который характеризуется удельным и валовым объемами получаемой продукции, Россия не входит в группу лидирующих стран. Среднегодовой объем производства зерна в расчете на душу населения составляет 340–550 кг, что меньше нормативного показателя состояния продовольственной безопасности, установленного в размере 600 кг. Сократить долю импорта сельскохозяйственной продукции, которая составляет 30–50 %, возможно только за счет увеличения объемов производства путем интенсификации использования пашни, в том числе на основе мелиорации сельскохозяйственных земель [137].

Анализ мирового опыта свидетельствует о том, что именно использование мелиорируемых земель является основой стабилизации сельскохозяйственного производства [281]. По оценке *World Resources Institute*, орошаемые земли составляют от общей площади пашни: в Японии – 63 %, Нидерландах – 60 %, Китае – 52 %, Румынии – 31 %, Индии – 28 %, Италии – 24 %, США – 23 % [281]. В нашей же стране даже в самый пик развития мелиорации (1990 г.) общая площадь орошаемых и осушенных земель составляла всего 5,2 % от имеющихся сельскохозяйственных угодий.

С начала 90-х гг. почвенно-мелиоративное состояние орошаемых и осушаемых земель в Росии из года в год ухудшается: площадь земель в хорошем состоянии сократилась на орошаемых землях на 34 %, на осушаемых – на 63 %. Оросительные системы, располагающиеся на площади более 2,2 млн га, и осушительные на площади 0,9 млн га требуют реконструкции [137].

Ввод в эксплуатацию новых орошаемых и осушаемых земель практически прекратился, реконструкция гидромелиоративных систем выполняется не более чем на 5–10 % от требуемого объема [137].

Вследствие того, что большая часть сельхозугодий России находится в зоне рискованного земледелия с часто повторяющимися засухами, урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность животноводства остаются низкими, а объем производства продовольствия варьирует по годам. Увеличить объемы получаемого продовольствия и нейтрализовать негативное влияние засух и суховеев на продуктивность сельскохозяйственных культур, особенно на юге России, можно только на основе применения различных видов мелиораций, направленных на оптимизацию сочетания богарного и орошаемого земледелия, расширение работ по агролесомелиорации, мелиорации солонцов и др. [137].

Немаловажное значение в последние годы приобретает снабжение населения, особенно в сельской местности, качественной и чистой водой. Однако положение в этой сфере также оставляет желать лучшего.

В России существует порядка 93 тыс. систем нецентрализованного водоснабжения, которые обслуживают 47,5 % сельских населенных пунктов, или 25,2 млн жителей. Около 32 % сельского населения пользуются водой из колодцев, родников без какой-либо очистки и устройства водопроводных систем. По данным санэпидемслужбы, 21 % объема подаваемой по сельскохозяйственным водопроводам воды не соответствует требованиям ГОСТа. Причиной этого является отсутствие водоподготовки на многих системах водоснабжения, вследствие чего технико-санитарный уровень их остается низким. Более 30 % систем водоснабжения нуждается в реконструкции, 11 % – в полном восстановлении, 13 % – в расширении [137].

Основная доля сельскохозяйственной продукции, до 70 % в стоимостном выражении, производится в засушливой зоне, куда входят Центрально-Черноземный, Поволжский, Северо-Кавказский, Уральский, Западно- и Восточно-Сибирский регионы. Здесь выращивается свыше 80 % всего российского зерна, значительное количество другой продукции сельского хозяйства. Однако из-за незначительного удельного веса орошаемых земель (4,2 %) решающего влияния на стабильность производства сельскохозяйственной продукции эти регионы не оказывают. Наибольшая неустойчивость производства растениеводческой продукции отмечается в Поволжском регионе и характеризуется коэффициентами вариации от 0,22 в Республике Татарстан до 0,39 и 0,45 соответственно в Саратовской и Волгоградской областях. По Северо-Кавказкому региону оценка вариабельности многолетнего ряда годовых объемов производства зерна характеризуется показателем средней устойчивости $C_v = 0{,}17$ ($0{,}1 < C_v < 0{,}2$). Таким образом, только Северо-Кавказский регион, отличающийся более благоприятными агроклиматическими условиями и имеющий в структуре пашни более 10 % орошаемых земель, можно отнести к району с достаточно устойчивым развитием земледелия [137].

Рассмотрим современное состояние оросительных мелиораций в Саратовском Заволжье.

Саратовская область располагается в засушливой зоне и является зоной рискованного земледелия, поэтому без развития орошения здесь невозможно получать стабильные урожаи сельско-

хозяйственных культур. Область обладает большим потенциалом теплоэнергетических и почвенных ресурсов, более чем на 55 % территории распространены темно-каштановые черноземные почвы, 30 % занято черноземами и лишь 15 % составляют светло-каштановые почвы (рис. 1.4) [27]. При этом климат Саратовской области континентальный, характеризующийся продолжительным и жарким летом, относительно короткой, но суровой зимой, иногда бесснежной. Температура наиболее теплого месяца 23,1...26,2 °С, наиболее холодного –16…–20 °С [151]. В лесостепной зоне сумма температур свыше 10 °С достигает 2400:..2600 °С, в степной – 2500...2800 °С, а в сухостепной – 2800...3000 °С.

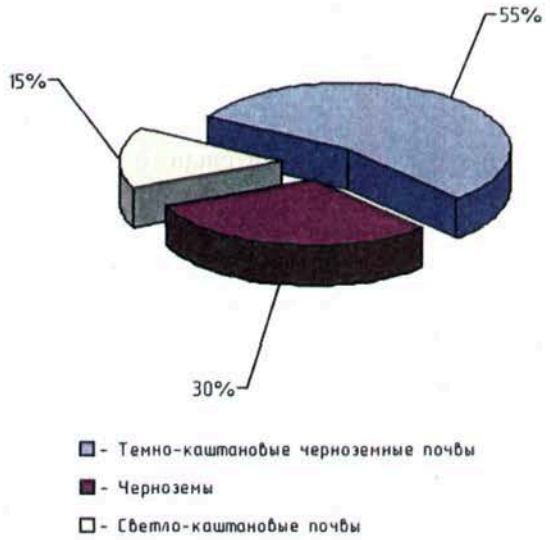


Рис. 1.4. Почвенные ресурсы Саратовской области

Главной проблемой Саратовского Заволжья является недостаточная влагообеспеченность земель. Среднегодовое количество атмосферных осадков в лесостепной зоне составляет 400–500 мм, за вегетационный период – 260–300 мм. В степной зоне годовое количество осадков уменьшается до 350–400 мм (250–270 мм за вегетационный период), а в зоне сухих степей – до 250–300 мм (70–230 мм за вегетационный период). Очевидно,

что такого количества атмосферных осадков недостаточно для эффективного ведения земледелия. В сухие годы, когда количество осадков в вегетационный период резко уменьшается, урожайность сельскохозяйственных культур существенно снижается. При атмосферных засухах посевы зачастую полностью погибают [27, 28]. В таких условиях эффективное ведение сельского хозяйства возможно только при орошении земель.

Согласно данным ФГУ «Управление Саратовмелиоводхоз», в 2009 г. в области имелось 257,3 тыс. га орошаемых земель, площадь которых в последние годы практически не менялась. В хорошем состоянии находится около 75,7 % орошаемых земель (рис. 1.5), причем данные показатели остаются без изменений уже на протяжении 10 лет [2, 10, 14, 26, 219].



Рис. 1.5. Состояние орошаемых земель Саратовской области

Необходимо также отметить, что продолжаются следующие негативные процессы: сокращение общей площади сельскохозяйственных угодий; уменьшение площади орошаемых земель;

ухудшение их мелиоративного состояния и хозяйственного использования; нарастание отрицательного баланса гумуса на пашне (до 1–3 т/га в год); усиление процессов эрозии и опустынивания; загрязнение почв тяжелыми металлами и радионуклидами; увеличение площадей с сильнокислыми почвами, на которых ограничивается сельскохозяйственное производство; интенсивное заболачивание и подтопление земель; зарастание древесно-кустарниковой растительностью; ухудшение состояния естественных лугов и пастбищ. Все это приводит к резкому сокращению площадей сельскохозяйственных угодий, ухудшению водно-физических, физико-химических свойств почв и снижению их плодородия. По оценкам специалистов, в ближайшие 10–15 лет плодородие почв может снизиться до естественного уровня, а урожайность зерновых – до 8–10 ц/га. Экологическая устойчивость природных систем в результате развития указанных процессов значительно снижается [18, 216].

В силу возникновения реальной угрозы потери устойчивости сельского хозяйства и продовольственной независимости страны в «Основных направлениях агропродовольственной политики Правительства Российской Федерации на 2001–2010 годы» в числе важнейших была названа задача государственной поддержки мелиорации. В составе первоочередных мер определено «содействовать проведению комплекса мероприятий по строительству и реконструкции оросительных и осушительных систем, выполнению агротехнических, противоэрозионных, культуртехнических и других работ» [220].

В Саратовском Заволжье эксплуатацию и ремонт оросительных систем и гидротехнических сооружений осуществляет ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз». На сегодняшний день эта организация является одной из самых мощных в мелиоративном комплексе России и занимает третье место после организаций Ставрополя и Краснодара [18]. Управление имеет высокий уровень специализации и занимается подачей воды на орошение и хозбытовое водоснабжение. Достаточно отметить, что только основные фонды ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» составляют 10,6 млрд руб., а количество работающих специалистов – около 2 тыс. чел. [25].

По данным управления, в 2009 г. основные фонды мелиоративного комплекса Саратовской области имели высокую степень износа (табл. 1.2). Оросительные системы также достаточно изношены (табл. 1.3) и требуют проведения ремонтных и восстановительных работ [2, 26, 27, 219]. При этом особенно остро стоит вопрос об эффективном использовании существующих технологий и технических средств и разработке новых, ресурсосберегающих технологий и машин для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на каналах оросительных систем. Наиболее ощутима потребность в новом рабочем оборудовании с комбинированными агрегатами и легкозаменяемыми универсальными рабочими органами. Это связано с тем, что большинство эксплуатационно-ремонтных работ на каналах должно выполняться на базе распространенных мобильных машин, для которых важны такие качества, как маневренность, скорость работы, возможность быстрой смены навесного оборудования.

Таблица 1.2

Основные фонды мелиоративного комплекса Саратовской области

Фонды комплекса	Местонахождение объектов	Балансовая стоимость, тыс. руб.	Остаточная стоимость, тыс. руб.
Александрово-Гайский	с. Александров-Гай	426 858,5	215 177
Аркадакский	г. Аркадак	105 049,8	2 727,6
Балаковский	г. Балаково	2 212 588,2	702 162,5
Гидрогеолого-мелиоративная партия	г. Энгельс	1 351 188,2	527 559,3
Дергачевский	р. п. Дергачи	1 087 338,6	372 744,2
Ершовский	г. Ершов	2 202 655,4	353 027,1
Калининский	г. Калининск	578 394	178 536,2
Новоузенский	г. Новоузенск	1 166 495,5	392 382,6
Перелюбский	р. п. Перелюб	37 507,2	16 328,6
Приволжский	г. Маркс	4 555 713,9	1 845 775,1
Пугачевский	г. Пугачев	133 940,2	62 721,2
Саратовский обводнительный канал	Краснопартизанский район, р. п. Горный	1 449 132,9	139 745,2
Филиал по снабжению мелиоративных организаций	г. Энгельс	136 622,6	59 441,4
Энгельсский	г. Энгельс	1 644 295,7	586 039,2
Всего		17 087 780,7	5 454 367,2

Таблица 1.3

Состояние оросительных систем Саратовской области

Наименование оросительных систем	Год ввода в эксплуатацию	Площадь, тыс. га	Степень износа, %
Духовницкая	1976	4,8	62,3
Приветская	1991	11,5	34,5
Большая Балаковская	1985	15,1	37,8
Малая Балаковская	1970	3,8	68,9
Комсомольская	1985	18,1	34,6
Орошение на базе Саратовского канала	1971–1990	47,5	73,5
Приволжская (северный массив)	1987	40,7	41,5
Приволжская (южный массив)	1986	12,5	34,2
Пугачевская	1988	2,8	26,4
Энгельсская 1–2 очередь	1965–1970	12,1	58,4
Гагаринская	1975	12,5	51,2
Государственные участки орошения	1975–1990	31,6	50,5
Итого по государственным системам		213,0	50,3
Хозяйственные системы и участки орошения		44,3	61,3
Всего		257,3	51,8

В настоящее время ввиду отсутствия специализированной мелиоративной техники на каналах применяется в основном универсальная и модернизированная строительная техника. Однако необходимо отметить, что объем основной строительной техники, находящейся в эксплуатации, также постоянно сокращается. Удельный вес машин с истекшим сроком службы в структуре парка основных видов строительных машин в Российской Федерации составляет около половины, а в некоторых организациях степень износа достигает 75 % [2, 24, 31].

Парк машин в Саратовской области, находящийся на балансе ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», состоит в основном из универсальной строительной техники: одноковшовых экскаваторов, бульдозеров, скреперов, автокранов и пр. Большинство машин имеют высокую степень износа, а парк машин в целом нуждается в обновлении и пополнении новыми моделями [9, 26–28, 133, 156, 219]. Только в Приволжском, Ершовском и Энгельсском филиалах ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» используются в единичных экземплярах кусторезы, разработанные учеными СГАУ им. Н.И. Вавилова. Остальной объем работ выполняют либо с использованием машин, не предназначенных для данного вида работ, либо с применением ручного труда и простейшего инструмента. При этом объемы работ по очистке каналов от кустарника и мелколесья в Саратовской области из года в год возрастают, и на фоне их повышения нехватка высокопроизводительной специализированной техники ощущается наиболее остро.

1.1.3. Восстановление потенциала орошаемого земледелия и перспективы его развития

Современное возрождение мелиоративной отрасли неразрывно связано с восстановлением и эффективным использованием разрушенных оросительных систем. Анализ современного состояния природной среды и сельскохозяйственного производства, оценка динамики изменения качественных показателей земель дают основание говорить о том, что тенденция снижения плодородия почв и ухудшения общей экологической обстановки в агропромышленном комплексе сохраняется и может привести к необратимым последствиям.

В настоящее время коллективом ведущих ученых агромелиоративного профиля разработана «Концепция мелиораций сельскохозяйственных земель в России». Именно в ней наиболее полно представлена стратегия развития комплексных мелиораций сельскохозяйственных земель, а также выделены приоритетные направления повышения продуктивности и эффективности использования мелиорируемых земель. Принципиальная установка концепции – безусловная ориентация на комплексное, экономически и экологически обоснованное применение всех видов мелиораций в составе культуртехнических, гидротехнических, агротехнических, химических, агролесомелиоративных приемов, направленных на улучшение условий производства растениеводческой продукции с учетом необходимости сохранения природно-территориального комплекса [137].

Исходя из этой установки «комплексная мелиорация» понимается как совокупность взаимосвязанных и взаимо-

обусловленных улучшений, определяемых специфическими природными условиями каждого конкретного угодья, направленных на повышение его продуктивности и устойчивого функционирования агроландшафта в целом.

Для ознакомления со структурой разработанной программы и намечаемыми в ближайшие годы мероприятиями по восстановлению и дальнейшему развитию мелиоративной отрасли приведем основные аспекты, отмеченные в концепции [137].

1. *Развитие оросительных и других видов мелиорации для придания устойчивости земледелию.*

Чтобы придать российскому земледелию засушливой зоны среднюю устойчивость (C_v = 0,1…0,2), которая характеризовалась бы получением не менее 600 кг зерна на душу населения, необходимо расширить площадь орошаемых и лесомелиорируемых земель. Выполненные ВНИИОЗ расчеты и анализ состояния АПК показывают, что в целом по Российской Федерации необходимая для устойчивого развития сельского хозяйства площадь орошаемых земель при их продуктивности 7 тыс. к. ед. с 1 га составляет 12 млн га, а с учетом обеспеченности различных регионов оросительной водой ограничивается 10,1 млн га.

Самыми крупными орошаемыми регионами при осуществлении программы расширения площади орошаемых земель до 10–12 млн га должны стать Поволжский с перспективой развития орошения до 3,2 млн га, Западно-Сибирский – 2,2 млн га и Северо-Кавказский – 1,8 млн га. Доля орошаемых угодий в общей площади пашни Российской Федерации при этом составит около 8 %. Площадь защитных лесных насаждений, по данным ВНИАЛМИ, должна быть увеличена с 2,7 до 6 млн га. Объем получаемой с орошаемых земель продукции планируется увеличить до 70–80 млн т к. ед. при 30 %-м удельном весе в структуре посевов зерновых, или до 28–32 млн т зерна в перерасчете на пшеницу. Тем самым, с учетом получения не менее 60 млн т продукции в острозасушливые годы с неорошаемых и осушаемых земель, будут решены проблемы продовольственной безопасности страны, достаточного и стабильного по годам обеспечения населения продуктами питания, а животных – кормами.

Развитие оросительных и других видов мелиорации должно сопровождаться совершенствованием техники полива, строительством гидромелиоративных систем нового поколения, обеспечивающих оптимизацию мелиоративных режимов при минимизации коллекторно-дренажного стока и объема сбросных вод. Наряду с дождеванием при осуществлении стратегий развития мелиорации, представленных в концепции, следует ориентироваться на применение наименее энергоемких способов орошения, в том числе механизированного поверхностного способа, а также водосберегающих способов: капельного, внутрипочвенного и аэрозольного.

2. *Социально-экономические аспекты развития мелиорации.*

При сложившейся в АПК ситуации развитие мелиорации способствует решению целого ряда социально-экономических проблем села:

- гарантированного получения объема сельхозпродукции, обеспечивающего устойчивое развитие экономики сельских товаропроизводителей в различные по степени засушливости или переувлажненности годы;
- повышения эффективности использования потенциала плодородия мелиорируемых земель за счет управления водным режимом почвы, использования органических и минеральных удобрений, биоресурсного потенциала территорий и растений;
- создания новых рабочих мест и профессий для сельского населения в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции, расширения налогооблагаемой базы в сельхозпроизводстве;
- обустройства населенных пунктов и агроландшафтов, обеспечивающих улучшение внешней среды обитания населения сельских районов;
- снижения экономических рисков, связанных с недополучением урожая в засушливые или избыточно увлажненные годы.

В результате реализации программы комплексной мелиорации сельскохозяйственных земель будет решена проблема продовольственной безопасности страны и созданы условия для устойчивого развития АПК России.

В Саратовском Заволжье также запланирован и проводится целый комплекс мероприятий по восстановлению потенциала и возрождению орошаемого земледелия. В рамках областной целевой программы «Обеспечение воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения в Саратовской области на 2002–2005 годы» проведена частичная реконструкция Саратовского оросительно-обводнительного канала им. Е.Е. Алексеевского, имеющего важное федеральное значение. При этом работы не ограничились только реконструкцией данного канала. В период 2005–2010 гг. в области проводились работы по реконструкции и восстановлению орошаемых земель, ремонту групповых трубопроводов, строительству противоэрозионных прудов, ремонту мелиоративных систем и т. д. Динамика и структура финансирования мероприятий по сохранению и восстановлению мелиоративного комплекса Саратовской области в 2005–2010 гг. представлены на рис. 1.6 и 1.7 [85].

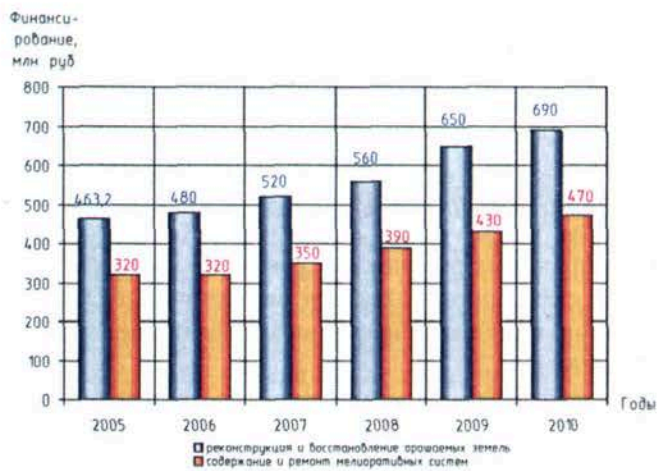


Рис. 1.6. Динамика финансирования работ по реконструкции и восстановлению орошаемых земель, содержанию и ремонту мелиоративных систем

В целом можно отметить, что в последние годы начался некоторый подъем в использовании мелиоративного комплекса Саратовской области. Происходит постепенное улучшение основных показателей работы комплекса.

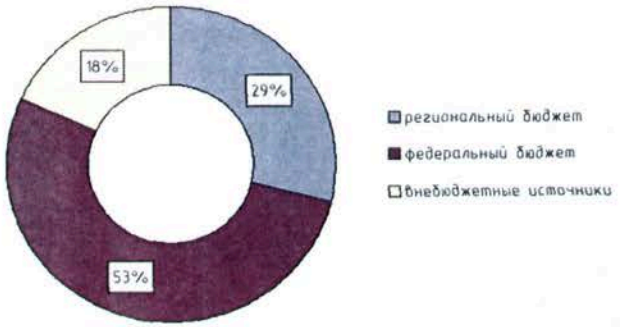


Рис. 1.7. Структура финансирования мероприятий по сохранению и восстановлению мелиоративного комплекса Саратовской области

Однако для повышения продуктивности земель и обеспечения продовольственной безопасности страны необходим существенный рывок в развитии мелиоративной отрасли, согласующийся с реализацией приоритетного национального проекта «Развитие АПК». Без выполнения данного условия в сельском хозяйстве будет трудно осуществить программу президента по удвоению ВВП в ближайшие годы. Интенсивное развитие мелиорации, в свою очередь, не может обойтись без совершенствования существующих и внедрения новых технологий и технических средств.

Учитывая ежегодное увеличение объемов эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах и необходимость обеспечения их проектной пропускной способности, необходимо в первую очередь обеспечить создание специализированных технических средств для очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности, а также разработать новые комплексные ресурсосберегающие технологии для удаления кустарника с его последующей утилизацией и предотвращением вторичного закустаривания очищенных участков.

1.2. Технологии проведения эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах

1.2.1. Характеристика и классификация оросительных каналов

Оросительная система – гидромелиоративная система, предназначенная для орошения земель, включающая комплекс взаимодействующих сооружений и технических средств для гидромелиорации земель (рис. 1.8) [167].

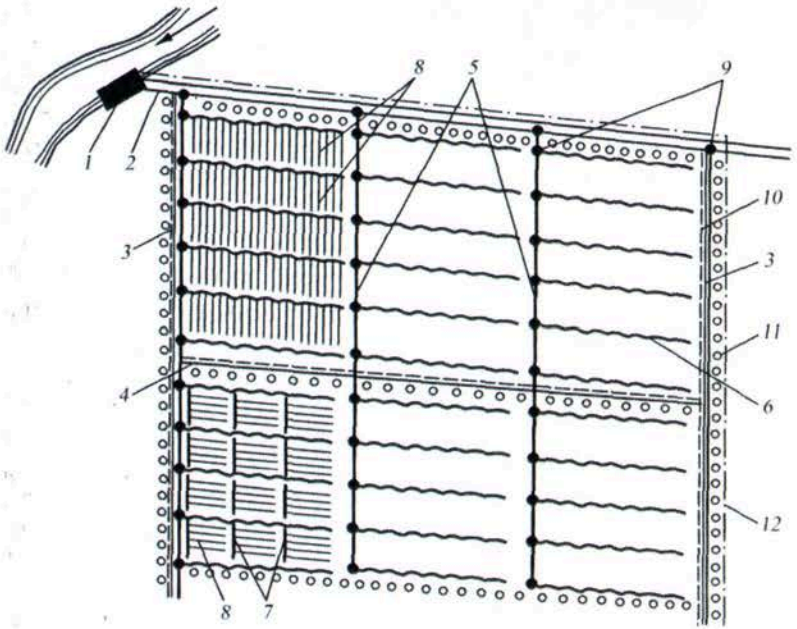


Рис. 1.8. Элементы оросительной системы:
1 – водозаборное сооружение; *2* – магистральный канал;
3 – распределительный и межхозяйственный каналы;
4 – хозяйственные каналы; *5* – участковые каналы-распределители;
6 – временные оросители; *7* – выводные борозды;
8 – поливные борозды; *9* – сооружения на сети;
10 – хозяйственные дороги; *11* – защитные лесополосы;
12 – линии электроснабжения и связи

Одними из основных сооружений по протяженности и важности на оросительных системах являются каналы. Именно по ним осуществляется подвод воды на орошаемые площади. Они являются основными водными артериями, от состояния которых зависит полноценная подача качественной воды потребителям. Оросительные каналы представляют собой гидротехнические сооружения в виде искусственных русел правильной формы, служащие для транспортирования воды к местам полива сельскохозяйственных культур, а также для водоснабжения населения и объектов сельскохозяйственного назначения [2, 215].

Оросительные каналы бывают открытыми, закрытыми и лотковыми.

Открытые каналы прокладывают в грунте, они могут иметь облицованное или необлицованное русло (рис. 1.9) [10, 252, 261].

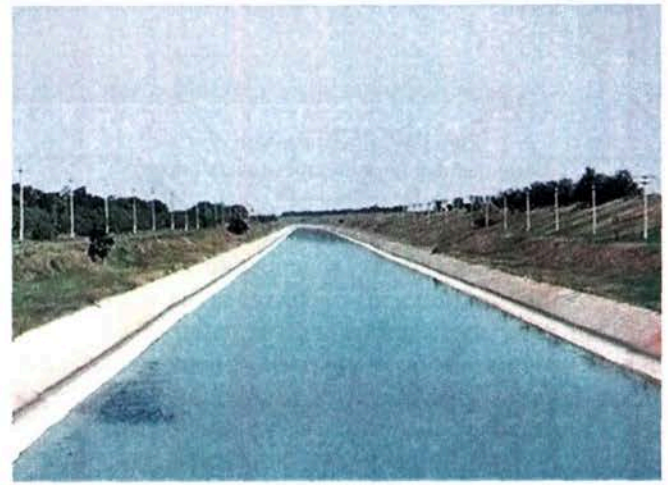


Рис. 1.9. Оросительный канал,
облицованный монолитным железобетоном

Закрытые каналы состоят из трубопроводов, проложенных открыто на поверхности земли или в выемке с последующей засыпкой ее грунтом [2, 252].

Лотковые каналы представляют собой железобетонные русла, в основном параболического сечения, укладываемые на сплошное основание либо на ряд свайных опор или стоек с фундаментами стаканного типа (рис. 1.10) [10, 252, 261].

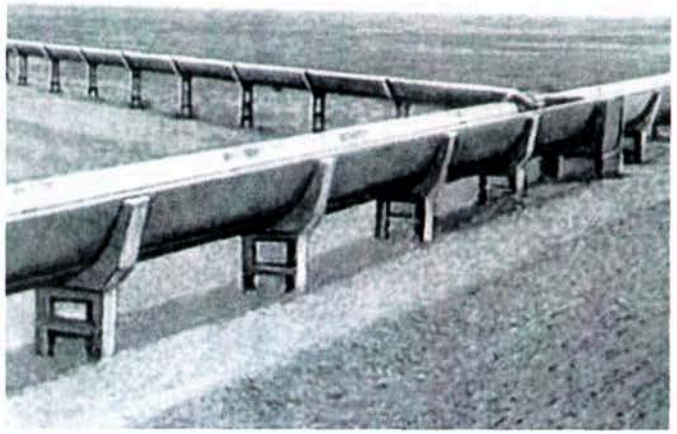


Рис. 1.10. Лотковый канал,
размещенный на железобетонных опорах

Наибольшее распространение в мелиорации получили открытые оросительные каналы вследствие их высокой надежности, несложной технологии строительства и относительной дешевизны по стоимости производства работ.

Большая часть каналов открытых оросительных сетей выполнена в земляном русле или облицована сборными железобетонными плитами.

Чтобы получить более наглядное представление об открытых каналах, проложенных в грунте, необходимо рассмотреть основные элементы оросительного канала, облицованного железобетонными плитами (рис. 1.11). Откосы *2* и дно канала *1* формируют русло, облицованное железобетонными плитами *4*, между которыми имеются стыки *5*. Зачастую стыки становятся местом прорастания травяной растительности, а при ненадлежащем уходе в них со временем

появляется древесно-кустарниковая растительность, интенсивное развитие которой приводит к повреждению плит облицовки *4*. Бермой *3* называется участок горизонтальной поверхности шириной 3–5 м, примыкающий по всей протяженности канала к верхнему краю откоса *2*. Берма служит для перемещения по ней каналоочистительных машин, поэтому нельзя допускать произрастания на ней кустарника и нахождения каких-либо посторонних предметов, которые могут стать препятствием для машин при очистке канала. Также на берме не должно быть повреждений в виде ям и выемок. Кроме того, бермы подвержены активному зарастанию травянистой растительностью, вследствие чего необходимо периодически окашивать их поверхность [58].

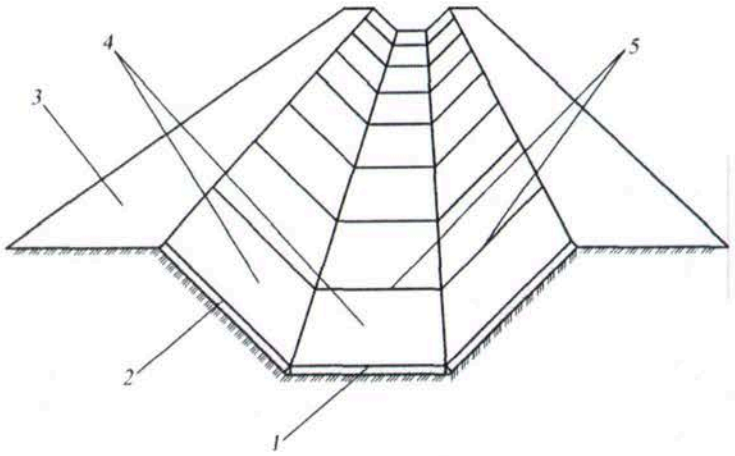


Рис. 1.11. Основные элементы открытого оросительного канала,
облицованного железобетонными плитами:
1 – дно канала; *2* – откос; *3* – берма;
4 – плиты облицовки; *5* – стыки между плитами

Оптимальный выбор конструкционных параметров машин для выполнения эксплуатационных работ возможен только на основе систематизированной классификации открытых оросительных каналов, различных по своему назначению, устройству и размерам.

Анализ научно-справочной литературы [4, 38, 57, 158, 179, 261, 262] показывает, что имеется огромное количество классификаций оросительных каналов, в том числе по назначению, роду материала, использованного для сооружения канала, виду поперечного сечения канала и т. п. Однако существующие классификации требуют внесения ряда исправлений, дополнений и уточнений, которые позволят сформировать более ясное и обобщенное представление о тех характеристиках каналов, которые необходимо учитывать при проведении на них эксплуатационно-ремонтных работ.

В представленной нами классификации (рис. 1.12) открытые оросительные каналы предлагается дополнительно разделить по двум признакам, а именно по конструкции, или способу устройства канала, и типу противофильтрационного покрытия. Причем основным признаком в предлагаемой классификации следует признать способ устройства канала, так как именно конструкцией канала обусловливается тип машин, применяемых для его очистки.

По назначению каналы подразделяются на магистральные, межхозяйственные, хозяйственные, внутрихозяйственные и временные. Магистральный канал подает воду из источника орошения в межхозяйственные распределители, которые подводят ее к хозяйствам или севооборотным участкам.

Внутрихозяйственные распределители подают воду к полям севооборотов или к поливным участкам. Регулирующая сеть в оросительных системах состоит из временных оросителей и выводных борозд, из которых вода поступает в поливную сеть (борозды, полосы) или забирается дождевальными машинами [179].

В зависимости от рельефа местности применяют следующие четыре конструкции каналов: канал в глубокой выемке, канал в выемке, канал в полувыемке-полунасыпи и канал в насыпи [261]. Как правило, большая часть межхозяйственных и магистральных оросительных каналов проходит в выемке, а внутрихозяйственных – в полувыемке-полунасыпи [2, 4].

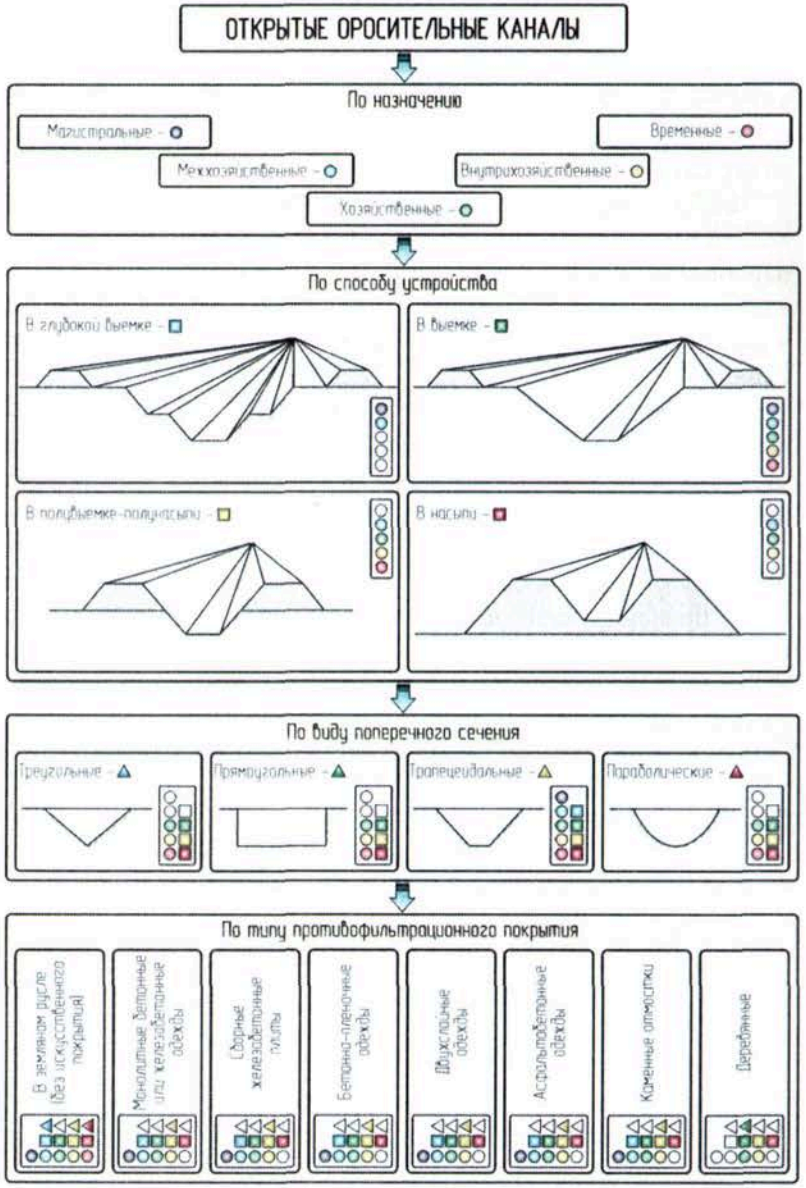


Рис. 1.12. Классификация открытых оросительных каналов

Обычно каналы проектируют в полувыемке-полунасыпи, что обеспечивает минимальный объем земляных работ. При этом трассу канала пробивают по горизонталям или близко к ним с учетом необходимого командирования каналов старшего порядка над каналами младшего порядка [4].

Форма поперечного сечения оросительных каналов может быть треугольной, прямоугольной, трапецеидальной и параболической [2, 4, 252, 260]. Форму поперечного сечения каналов и крутизну откосов выбирают на основании устойчивости их русел и возможности механизации прокладки каналов.

В мелиорации наибольшее распространение получили каналы с трапецеидальным поперечным сечением, так как их строительство достаточно легко осуществляется механизированным способом.

Оптимальной для оросительных каналов является параболическая форма поперечного сечения. Каналы с параболическим профилем обеспечивают более высокую пропускную способность, а их откосы имеют большую устойчивость по сравнению с откосами каналов трапецеидального сечения. Однако механизировать строительство каналов с параболическим сечением гораздо труднее [4].

Оросительная сеть из земляных каналов имеет существенные недостатки – большие потери воды на фильтрацию, зарастание, размыв и заиливание каналов, для устранения которых применяют искусственные (противофильтрационные) покрытия [260].

Монолитные бетонные и железобетонные одежды рекомендуют для каналов всех размеров при условии механизированного проведения работ. Усадочные поперечные швы устраивают через 3–4 м, температурные поперечные – через 12–16 м, продольные – по линии сопряжения дна и откосов [261]. Для герметизации швы заполняют мастикой (тиоколовой, армогерметиком и др.) [238].

Сборные железобетонные плиты применяют с целью повышения долговечности каналов и индустриализации строи-

тельства. При проектировании одежд с применением железобетонных плит возможно использование комбинированного покрытия: дно канала облицовывают монолитным бетоном, а откосы – плитами [261].

Бетонно-пленочные одежды представляют собой противофильтрационную защиту, состоящую из пленочного экрана и монолитного или сборного бетонного или железобетонного покрытия. Для экрана применяют полиэтиленовую пленку толщиной 0,2 мм [261].

Двухслойные одежды используют на каналах в случае повышенных противофильтрационных и прочностных требований. В таких одеждах по нижнему слою бетона или железобетона прокладывают гидроизоляцию из полимерной пленки и битумных мастик.

Асфальтобетонные одежды применяют при отсутствии в районе строительства щебня и песка необходимого качества. Для одежды используют только плотный гидротехнический асфальтобетон, однослойный, состоящий из основания, асфальтового покрытия и слоя поверхностной обработки. Основание обрабатывают гербицидами. Деформационные и температурные швы не предусматривают. Армирование рекомендуют только в местах сопряжений с жесткими и массивными сооружениями. Поверхностную обработку проводят покрытием горячего битума с последующей посыпкой крупнозернистым песком [260, 261].

Каменные отмостки применяют там, где вблизи каналов имеется камень или крупный гравий. На каналах с каменной отмосткой скорость воды может быть увеличена до 2,5–4 м/с, что позволяет уменьшить поперечное сечение канала [260].

Деревянное покрытие является менее распространенным. Его используют при устройстве каналов прямоугольного поперечного сечения [252].

Для борьбы с потерями воды на фильтрацию применяют экранирование каналов полимерными материалами, уплотнение дна и откосов канала с помощью тяжелых катков, солонцевание, кальматацию, нефтевание [260, 262].

С целью упорядочения каналов по назначению и типоразмерам была проведена их систематизация с учетом классификации САНИИРИ. Четкого разграничения каналов по типоразмерам на малые и крупные не существует [58]. Однако по признакам, различаемым в технологии производства земляных работ при очистке каналов, проведено условное разграничение, в соответствии с которым каналы глубиной и шириной по дну мене 3 м отнесены к малым типоразмерам (I–III-й типоразмеры по классификации, представленной в табл. 1.4), а более 3 м – к крупным (IV и V-й типоразмеры).

Таблица 1.4

Классификация оросительных каналов по типоразмерам

Каналы	Типоразмер каналов	Параметры канала:		
		глубина, м	ширина по дну, м	коэффициент заложения откосов
Временные оросители, оросители «неинженерного» профиля, каналы для ДМ «Кубань»	I	до 0,6	0,5–1,0	1,0
Участковые распределители, внутрихозяйственные (подводящие) оросительные каналы	II	0,6–1,2	0,8–1,5	1,0–1,5
Хозяйственные и внутрихозяйственные (подводящие) оросительные каналы	III	1,2–3,0	1,0–2,5	1,5–2,0
Распределительные и межхозяйственные оросительные каналы	IV	3,0–5,0	2,0–4,0	1,5–2,5
Магистральные каналы, крупные распределительные и межхозяйственные оросительные каналы	V	более 5,0	более 4,0	2–4

В Саратовской области эксплуатируются открытая и закрытая оросительные сети. Открытые каналы проложены в земляном и облицованном русле. На балансе ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» находится 1002 км каналов II–V-го типоразмеров [219] (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Характеристика оросительных сетей Саратовской области

Наименования филиалов	Орошаемая площадь, га	Протяженность оросительной сети, км	
		открытой	закрытой
Алгайский	8339	94,6	–
Аркадакский	2544	–	1,1
Балаковский	47 907	168,5	12,4
Дергачевский	4930	6,2	90,9
Ершовский	25 578	162,4	30,2
Калининский	17 931	1,1	–
Новоузенский	21 556	83,0	1,9
Приволжский	58 253	258,1	4,4
Пугачевский	7958	21,2	–
Саратовский канал	10 947	53,8	4,6
Энгельсский	51 357	153,1	248
Итого	257 300	1002,0	393,5

Недостаток открытых оросительных каналов заключается в том, что в процессе эксплуатации их дно заиляется, а откосы и бермы зарастают растительностью, в результате чего увеличивается шероховатость русла и изменяется поперечный профиль каналов, что в свою очередь приводит к снижению их пропускной способности.

Поэтому с целью восстановления первоначальных параметров и характеристик каналов и обеспечения нормального их функционирования необходимо проводить комплекс эксплуатационных мероприятий, направленных на очистку каналов от растительности и наносов. Все эти работы относятся к работам по техническому уходу, к группе плановых ремонтов (рис. 1.13), выполняемых сезонно, ежегодно, а также периодически по мере износа и ухудшения эксплуатационных характеристик каналов [292].

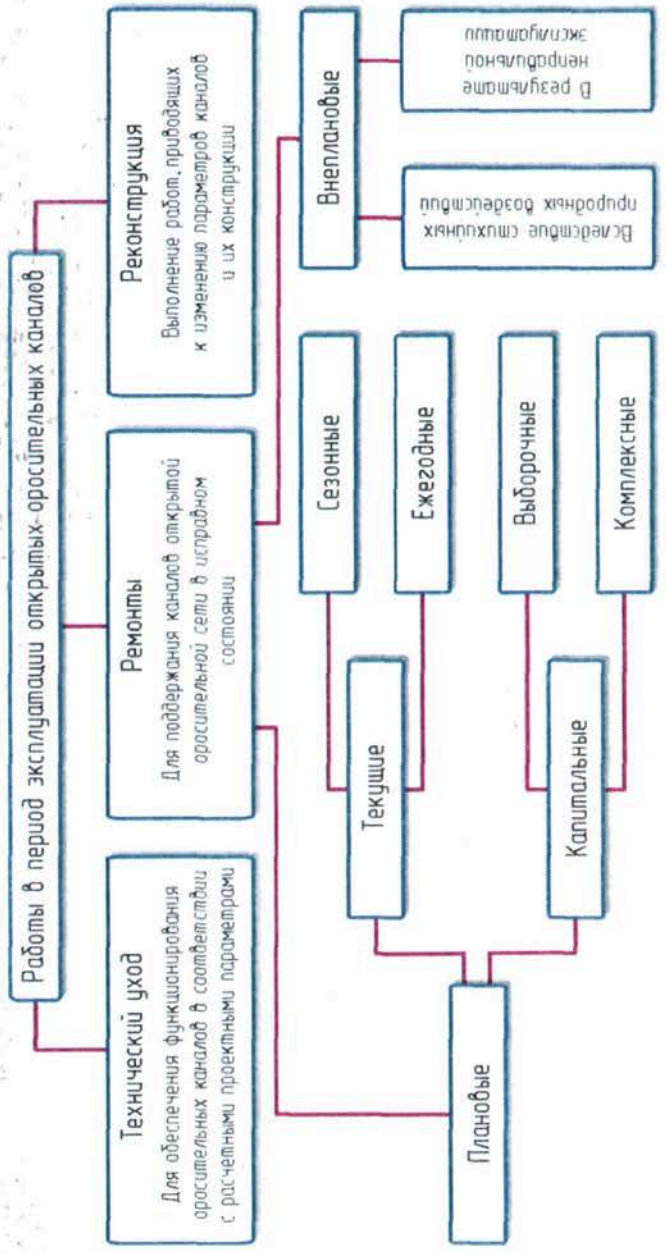


Рис. 1.13. Классификация эксплуатационно-ремонтных работ на открытых оросительных каналах

1.2.2. Виды и объемы эксплуатационных работ на каналах открытой оросительной сети

Для обеспечения работоспособного состояния оросительной сети необходимо добиться стабильной пропускной и транспортирующей способности каналов. Невыполнение необходимых требований и условий при проектировании, строительстве и эксплуатации оросительной сети и сооружений приводит к конструкционным, технологическим и эксплуатационным отказам, то есть к снижению пропускной и транспортирующей способности каналов [112].

Необходимо отметить, что работы, связанные с технической эксплуатацией оросительных систем, непосредственно соприкасаются с водоисточниками, водопропускными сооружениями и земельными площадями, вследствие чего при их осуществлении необходимо выполнять все предусмотренные природоохранные мероприятия, так как вода, земля и ландшафты являются основными объектами охраны природы [12].

В зависимости от характера и объема [9, 38, 57, 58, 112, 128, 179, 184, 185] различают следующие виды работ, проводимых на оросительных каналах:

- технический надзор;
- технический уход;
- ремонт;
- реконструкция.

Цель *технического надзора* – мониторинг технического состояния каналов, определение объемов работ, выявление повреждений.

При осуществлении технического надзора персонал, обслуживающий каналы, выполняет следующие мероприятия:

- периодически осматривает все элементы оросительной системы и наблюдает за их работой;
- своевременно выявляет поврежденные и изношенные элементы;
- определяет места возможных повреждений и возникновения аварий;

• устанавливает состав, объемы, сроки производства эксплуатационно-ремонтных работ и категорию ремонта (текущий, капитальный, аварийный);

• оформляет результаты технического надзора в виде соответствующей документации (ведомости, акта и т. п.), порядок ведения которой определяется сложившейся на местах практикой.

Осмотры могут быть текущими, очередными, внеочередными и экстренными. Причем внеочередные осмотры осуществляют при обнаружении неисправностей в работе сооружений, экстренные – после стихийных бедствий (ливней, ураганов, бурь, пожаров, землетрясений) или аварий.

Технический уход – это такое обслуживание гидромелиоративных систем, при котором работы по поддержанию их элементов в исправном состоянии могут выполняться повседневно силами персонала службы эксплуатации (водные объездчики, ремонтники, механики, электрики, инженеры).

Технический уход необходим для поддержания функционирования оросительных каналов в соответствии с расчетными проектными параметрами.

Технический уход на каналах включает в себя:

• окашивание растительности на отдельных участках каналов и дамб;

• очистку отдельных участков каналов от водной растительности, засорений, небольших обрушений откосов и удаление посторонних предметов;

• ликвидацию промоин грунта, мелких повреждений откосов, дамб, креплений и облицовок;

• подготовку сооружений к зимнему периоду;

• уход за береговой территорией (восстанавление и окрашивание предупредительных и указательных знаков и ограждений);

• заблаговременную (предупредительную) подготовку к аварийным ситуациям.

Ремонт каналов гидромелиоративных систем необходим для поддержания их в работоспособном состоянии. В зависимости от сложности выполняемых работ он подразделяется на три вида – текущий, капитальный и аварийный. Характеристика ремонта гидромелиоративных систем в целом представлена в табл. 1.6, а состав работ при текущем и капитальном ремонте оросительных каналов – в табл. 1.7.

Таблица 1.6

Характеристика видов ремонта гидромелиоративных систем

Вид ремонта	Цель	Периодичность
Текущий	Устранение незначительных дефектов и повреждений, увеличивающее срок бесперебойной работы системы, ее элементов и оборудования, замена быстроизнашивающихся деталей	Ежегодно и систематически
Капитальный	Исправление крупных повреждений и разрушений, при которых невозможно обеспечить дальнейшую бесперебойную работу системы, ее сооружений и оборудования. Полная или частичная замена изношенных конструкций сооружений и деталей оборудования или его отдельных узлов новыми, более экономичными и повышающими эксплуатационные возможности ремонтируемых объектов. Частичное изменение трасс (канала, водовода и др.)	Примерная периодичность зависит от вида сооружения (например, для каналов, как правило, раз в 5–10 лет)
Аварийный	Восстановление системы, ее сооружений и оборудования, частично поврежденных или разрушенных вследствие стихийных явлений (сель, паводок, заторы, ливень, буря, землетрясение, пожар и др.)	В экстремальном порядке и, как правило, круглосуточно с применением всех необходимых мер по быстрейшей ликвидации аварии. Повреждения, создающие опасность для жизни людей или приводящие к большим материальным ущербам, устраняют немедленно с привлечением требуемого количества рабочей силы и материально-технических ресурсов

Поддержание в исправном состоянии всех каналов, сооружений и других устройств гидромелиоративных систем требует постоянного ухода за ними, своевременного проведения ремонта и предупредительных мер на аварийно опасных участках, быстрого устранения обнаруженных повреждений, а также регулярного выполнения работ по улучшению технического состояния систем [58].

Таблица 1.7

Состав работ при текущем и капитальном ремонте оросительных каналов

Вид русла	Текущий ремонт	Капитальный ремонт
В земляном русле	Окашивание откосов и берм косилками: очистка от наносов землесосными установками и землеройными механизмами. Удаление водной растительности. Проведение работ по сокращению потерь воды на фильтрацию: уплотнение грунта, кольматация, глинистая облицовка ложа, битумизация грунта, инъекция растворов и др. Восстановление проектного профиля и уклона. Перемещение и разравнивание кавальеров	Изменение расположения каналов в плане. Устройство противофильтрационного покрытия – облицовка канала бетонными плитами, монолитным бетоном или другими материалами
В облицованном русле	Расчистка и заделка цементными растворами, полимерными компонентами, клеями стыков, трещин, каверн и выбоин в железобетонных и бетонных облицовках. Заливка поврежденных швов мастикой. Перекладка в нормальное положение сдвинутых плит облицовок сборной конструкции. Торкретирование облицовок и покрытие заделанных мастикой швов. Восстановление каменных, глинистых и других облицовок	Смена облицовки на поврежденных участках. Торкретирование поврежденных облицовок. Восстановление разрушенных призм в основании откосов и дна

Реконструкция оросительных систем – это комплекс организационных, технических и технологических мероприятий по

коренному переустройству как отдельных объектов, так и оросительной системы в целом, направленных на значительное повышение технического уровня действующих систем и их водообеспеченности; широкое внедрение оптимальных технологических процессов по управлению орошением сельскохозяйственных культур, улучшению мелиоративного состояния земель и исключению возможных антропогенных воздействий на агроландшафт в результате орошения; а также сохранение окружающей природной среды и создание комфортных условий для жизни и производственной деятельности человека.

Целью реконструкции является повышение продуктивности мелиорируемых земель; увеличение производства сельскохозяйственной продукции и снижение ее себестоимости; улучшение условий и повышение производительности труда на основе внедрения ресурсосберегающих технологий и новых методов организации труда; повышение надежности и долговечности как отдельных объектов, так и систем в целом; создание оптимальных условий водного, теплового, воздушного и питательного режимов почв; комплексное и рациональное использование трудовых и энергетических земельных ресурсов; создание благоприятной мелиоративной обстановки на орошаемых землях; сохранение и улучшение плодородия почв; значительное повышение коэффициента полезного действия (КПД), коэффициента земельного использования (КЗИ) и других показателей работы систем с обеспечением соответствия их значений тем нормативным показателям, которые отвечают требованиям экологически ориентированных оросительных систем [185].

В связи с тем, что свыше десяти лет на эксплуатационно-ремонтные работы и обновление техники выделялось не более 1/3 необходимых средств, пришлось значительно сократить орошаемые площади и уменьшить объемы эксплуатационно-ремонтных работ на каналах. Это привело к тому, что многие участки оросительных каналов заросли различного рода древесно-кустарниковой растительностью (рис. 1.14) [4, 38, 58, 158, 262].



Рис. 1.14. Оросительный канал,
заросший древесно-кустарниковой растительностью

Между тем, растущий вдоль каналов кустарник делает невозможным доступ техники и людей для проведения работ по удалению наносов и ремонту облицовки канала. Кроме того, опадающая листва и ветки загрязняют канал, снижают качество оросительной воды, способствуют ее цветению, увеличивают объем донных отложений. Неконтролируемо разрастаясь, древесно-кустарниковая растительность (ДКР) разрушает облицовку каналов, а произрастая на откосах каналов в земляном русле – снижает их пропускную способность. Все это в конечном итоге влечет за собой значительные потери транспортируемой по каналам воды и снижение ее качества.

Не менее остро стоит проблема очистки каналов и аванкамер от наносов (рис. 1.15), так как заиление русла зачастую приближается к критическим значениям [223, 247].



Рис. 1.15. Заиленный участок оросительного канала

Значительное снижение объемов ремонтных работ привело к тому, что более 40 % эксплуатируемых каналов требуют восстановления, так как общие потери оросительной воды достигают 30–50 % от подаваемого расхода. В настоящее время выполняемые работы по эксплуатации и ремонту каналов не превышают 25–40 % от необходимых объемов [169, 219]. Это объясняется, прежде всего, отсутствием эффективных и экономически обоснованных технологий, а также современной высокопроизводительной и универсальной техники.

1.2.3. Существующие технологии проведения эксплуатационных работ на оросительных каналах

Весь комплекс работ по технической эксплуатации гидромелиоративных систем (без сооружений и оборудования общехозяйственного применения: средства электропитания, связи, автоматики, телемеханики и транспорта, а также насосные станции, дороги, мосты, здания и коммунальная сеть) с учетом специфики основных технологических процессов производства эксплуатационно-ремонтных работ и известных для этого средств механизации представлен в виде классификационной схемы на рис. 1.16.

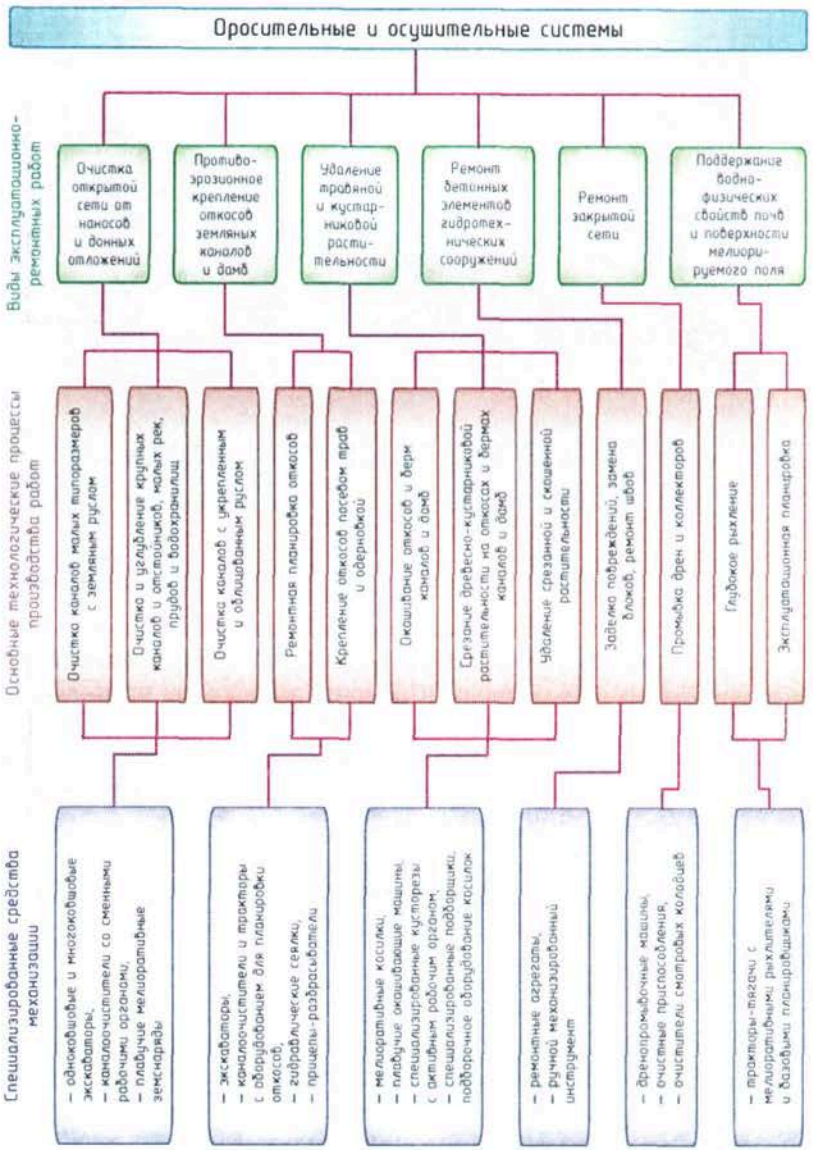


Рис. 1.16. Классификационная схема технической эксплуатации гидромелиоративных систем

Схема составлена на основе анализа теоретических данных и опыта эксплуатации каналов открытых оросительных систем. В данную схему нами добавлено удаление кустарниковой растительности вдоль каналов и других гидротехнических сооружений.

Как правило, на оросительных системах наиболее часто выполняется именно удаление различного рода растительности, произрастающей на каналах. Так, например, если ремонт повреждений облицовки и удаление наносов проводятся по мере нарушения герметичности или отложения больших слоев наносного грунта, что значительно растянуто по времени, то удаление растительности должно проводиться в основном 2 раза за сезон [56, 58, 128].

Проблема широкомасштабного зарастания каналов кустарником приобрела свою остроту сравнительно недавно. При этом применение традиционных технологических схем для ее решения оказалось малоэффективным, так как выполнение работ по ним предусматривало использование неспециализированной техники и ручного труда.

Среди известных на сегодняшний день способов удаления древесной растительности – термического, механического, химического, взрывного и кинетического – наиболее эффективен и распространен механический способ [73]. При этом сущность работ сводится к тому, чтобы удалять только надземную часть растительности и предотвращать появление новой поросли. Это предопределило появление комбинированного способа удаления кустарника и мелколесья – срезание надземной части с последующим угнетением пней.

За последние годы был внедрен целый ряд технических решений, позволяющих механизировать операцию по срезке кустарника на бермах и откосах каналов, что позволило поднять эффективность существующих технологий на качественно новый уровень. Однако многие трудоемкие операции попрежнему не механизированы и выполняются вручную, что требует больших затрат времени и материальных средств.

В связи с отсутствием технологического комплекса машин для очистки каналов от древесной растительности невозможно установить параметры качества и временные рамки выполне-

ния отдельных операций. До сих пор не определены способы и средства механизации для утилизации удаляемой древесины, поэтому на практике удаляемую растительность в лучшем случае сжигают. При этом полная ликвидация удаляемой древесины методом сжигания требует выполнения множества операций: сжигания собранной в кучи древесно-кустарниковой массы; перетряхивания несгоревших древесных остатков и сгребания их в отдельные кучи; повторного сжигания древесных остатков; разравнивания золы и несгоревших остатков по поверхности бермы. Такой комплекс операций на практике не осуществляется, так как для этого требуются значительные материальные затраты. Вследствие чего после сжигания в кучах остается много несгоревшей древесины (рис. 1.17), которая не только захламляет территорию, увеличивая площадь отчуждаемых земель, но и способствует распространению сорной растительности, развитию вредоносных насекомых. Совокупность данных факторов приводит к возникновению неблагоприятной экологической обстановки на каналах [12].



Рис. 1.17. Сжигание кустарника – наихудший и экологически небезопасный способ его утилизации

Такое нерациональное отношение к утилизации срезанной растительности объясняется отсутствием экономически обоснованных технологических схем хозяйственного использования и переработки низкокачественной древесины. Именно экономические факторы сдерживают научные исследования в этом направлении, а также тормозят внедрение существующих способов утилизации удаляемой древесно-кустарниковой растительности в производственных организациях. Однако, как показывает зарубежный опыт, переработка и использование низкокачественной древесины может стать достаточно прибыльным делом.

Таким образом, на современном этапе назрела необходимость разработки принципиально новых, ресурсосберегающих технологий удаления кустарника и мелколесья на каналах, для чего потребуется создание новых технических средств, обладающих универсальностью, мобильностью, высокой производительностью и доступной для эксплуатирующих организаций ценой.

Рассмотрим наиболее распространенные технологические процессы очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности, проведем их анализ и выявим основные недостатки.

В связи с отсутствием проблемы масштабного зарастания оросительных каналов специализированные технологии их комплексной очистки ранее не разрабатывались. Об этом свидетельствует анализ литературы по эксплуатации оросительных систем в 60–90-е гг. [11, 36, 38, 56, 57, 90, 112, 128–132, 158, 166, 167, 179, 184, 185, 208, 215, 263, 279, 286]. На осушительных системах данная проблема решалась в основном химическим способом, так как не было необходимости использовать отводимую избыточную воду [119].

Традиционно для удаления древесно-кустарниковой растительности на каналах применяется технологическая схема, представленная на рис. 1.18, *а* [2].

По данной технологии срезание древесно-кустарниковой растительности осуществляется с применением ручного труда и средств малой механизации (ручных кусторезов, бензопил).

Затем срезанную растительность сгребают бульдозерами в кучи и сжигают. Достаточно редко ее грузят вручную в транспортные средства и вывозят для дальнейшей утилизации.

После удаления надземной части древесной растительности проводится корчевание пней для предотвращения развития поросли. При этом в процессе корчевки происходит неизбежное нарушение поверхности берм и откосов каналов, а также возможны повреждения облицовки, что требует проведения последующих работ по подсыпке и планировке берм, откосов и ремонту облицовочного покрытия. Для выполнения данных работ в основном применяется ручной труд и строительная техника (бульдозеры, автогрейдеры, экскаваторы).

В процессе совершенствования рассмотренной выше технологической схемы в 2000 г. учеными СГАУ им. Н.И. Вавилова с участием автора была разработана и внедрена интенсивная технология удаления древесно-кустарниковой растительности (см. рис. 1.18, *б*) [2, 10, 17, 32, 35, 117, 250, 252].

Данная технология предусматривает выполнение трех операций.

Первая – срезка надземной части древесной растительности. Для выполнения данных работ используют кусторезы с активными или пассивными рабочими органами. При этом срезка кустарника осуществляется как можно ближе к земле для обеспечения последующего беспрепятственного прохода каналоочистительных и каналоокашивающих машин.

Вторая операция – удаление срезанной растительности путем сгребания ее в кучи и сжигания или погрузка срезанного кустарника в транспортные средства и вывоз его к месту дальнейшей утилизации. При этом для сбора срезанной растительности используются бульдозеры и автогрейдеры.

На заключительной стадии вместо корчевания проводится обработка пней арборицидами либо машинами, воздействующими на них огнем или током. С учетом требований экологической безопасности проведения эксплуатационных работ на оросительных каналах обработка арборицидами должна проводиться только в непосредственной близости от пней. При соблюдении данного условия применение арборицидов является достаточно эффективным и экологически безопасным.

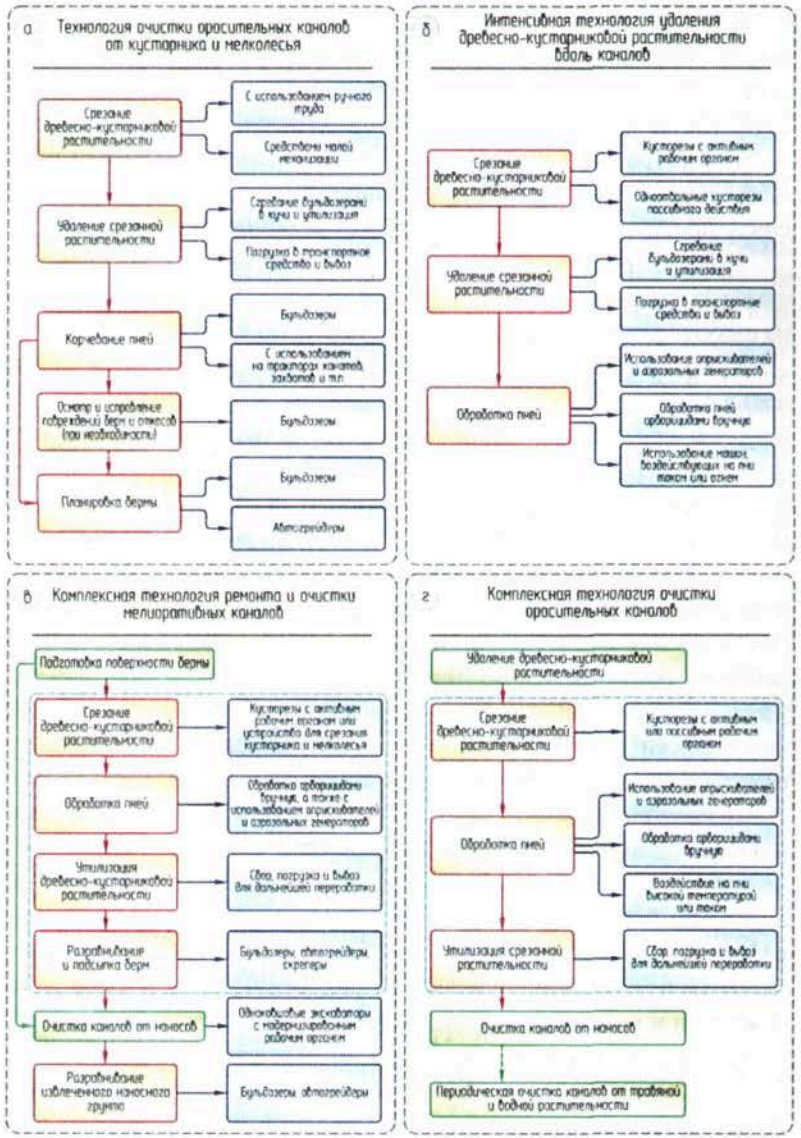


Рис. 1.18. Существующие технологические схемы очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности

Блок работ, связанных с удалением кустарника и мелколесья, также входит в состав двух комплексных технологий очистки каналов (см. рис. 1.18, *в*, *г*) [21, 22, 117, 224, 251, 257, 258]. Содержание данных работ принципиально не отличается от рассмотренной технологии. Однако целесообразнее проводить обработку пней либо одновременно со срезанием, либо сразу после очистки территории от срезанной растительности.

Анализ рассмотренных технологических схем позволил выявить ряд положений, которые необходимо учитывать при разработке новой ресурсосберегающей технологии:

1. Работы по срезке надземной части кустарника и мелколесья следует разбить на две операции – срезку кустарника на берме и срезку древесной растительности на откосах канала, так как для выполнения данных работ применяются кусторезы различных типов. К тому же срезать кустарник на откосах можно только после очистки бермы от срезанного древостоя.

2. Для срезания древесно-кустарниковой растительности наиболее эффективно использовать высокопроизводительную специализированную технику с активным дисковым пильным рабочим органом.

3. Использование бульдозеров для сгребания срезанной растительности в кучи приводит к частичной корчевке пней, что нежелательно, так как влечет за собой нарушение целостности поверхностей берм и откосов, а также может вызвать повреждение облицовки канала. Для исправления данных повреждений потребуется выполнение дополнительных ремонтных работ по подсыпке берм и откосов, а также их планировке. Между тем, корневая система кустарника хорошо армирует откосы каналов.

4. При сгребании удаляемой растительности в кучи бульдозерами в собранную древесно-кустарниковую массу попадает чрезмерное количество грунта, вследствие чего дальнейшее хозяйственное использование удаляемой древесины становится практически невозможным, а при утилизации ее путем сжигания не обеспечивается необходимая полнота сгорания. В результате территория, прилегающая к каналу, захламляется большим количеством несгоревших древесных остатков.

5. Отсутствуют специализированные технические средства для выполнения наиболее трудоемких работ, связанных с очисткой каналов от срезанного кустарника и мелколесья.

6. В технологических схемах не указаны способы утилизации срезанной древесно-кустарниковой растительности, которые обеспечивали бы рациональное использование удаляемой древесины.

7. Сжигание древесной растительности при ее утилизации – это самое нерациональное использование такого весьма ценного природного сырья, как древесина, к тому же наносящее экологический ущерб окружающей среде.

8. Транспортировать срезанный кустарник и мелколесье к местам дальнейшей переработки даже на небольшие расстояния экономически нецелесообразно, так как древесно-кустарниковая масса имеет небольшую плотность и низкий коэффициент загрузки, что влечет за собой большие транспортные расходы.

9. В целях экономии материальных средств и времени операцию по угнетению пней рациональней всего производить совместно со срезанием или с уборкой срезанной растительности. Для этого кусторез или машина, собирающая срезанный кустарник, должны быть оснащены устройствами локального нанесения арборицидной смеси на поверхность пней.

Основываясь на рассмотренных выше положениях, можно создать новую, ресурсосберегающую и экологически безопасную технологию очистки оросительных каналов от древесно-кустарниковой растительности.

1.3. Механизация эксплуатационных работ на оросительных каналах

1.3.1. Технические средства, применяемые для окашивания каналов

Очистка каналов от растительности на системах регулярного орошения является одной из важнейших операций, обеспечивающих нормальную работу мелиоративной сети в целом. В связи с этим необходимо проанализировать различные ме-

тоды борьбы с травяной растительностью, а также наиболее распространенные в практике эксплуатации мелиоративных объектов технические средства для ее удаления.

Засоряя оросительные каналы, сорная растительность препятствует току воды, транспортированию наносов, а также повышает потери воды на фильтрацию. Семена сорняков вместе с оросительной водой попадают на поля, увеличивают засорение посевов и затопляемых лиманов. В воде они отмирают скорее, чем в почве, и все же у некоторых сорняков, например донника белого, повилики хмелевидной, еще сохраняется жизнеспособность после 44 месяцев пребывания в воде. Чтобы очистить каналы от сорняков и не допустить их обсеменения, необходимо не менее 2–3 раз за сезон скашивать и уничтожать сорняки [132].

Сорные растения, кроме того, являются рассадником вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. Они снижают урожайность и качество культурных растений, резко ухудшают условия работы сельскохозяйственных машин, снижают производительность труда.

Для удаления травяной растительности применяют следующие способы: механический, химический, термический и биологический.

Наибольшее распространение получил *механический способ*. Он заключается в механическом воздействии скашивающих рабочих органов на растительность.

Как правило, используются береговые и плавучие косилки с активным рабочим органом. Береговые косилки являются навесными (на трактор) или представляют собой самоходные шасси с боковым консольным рабочим органом. Используют их для скашивания растительности на откосах каналов. Если необходимо скашивать растительность на бермах и дне, то применяют косилки, оборудованные фронтальным рабочим органом.

Химический способ заключается в использовании ядохимикатов, уничтожающих растительность. Внесение ядохимикатов производится с использованием различного рода опрыскивателей, распылителей, аэрозольных генераторов. Однако

опрыскивание растительности в каналах ядохимикатами является очень опасным в связи с тем, что вода используется для орошения, питья людьми и скотом. Кроме того, ядохимикаты в настоящее время имеют достаточно высокую стоимость.

Травосжигатели применяют на тракторах малой мощности с использованием довольно простого оборудования (огнеметов). Основные недостатки данного способа – большой расход топлива, высокая пожароопасность, загрязнение окружающей среды.

Биологический способ заключается в использовании рыб (толстолобик, белый амур и т. д.), животных и птиц, питающихся растительностью. Однако данный способ очень непроизводителен и редко применяется.

Наиболее распространенным и эффективным для работы на оросительных каналах является механический способ, основанный на использовании различных каналоокашивающих машин.

Скашивание и удаление травяной и мелкой кустарниковой растительности на бермах, откосах каналов и дамб осуществляют с применением мелиоративных косилок с сегментными и ротационными рабочими органами, так как использовать обычные сельскохозяйственные косилки затруднительно по ряду причин: конструкция этих косилок не позволяет опускать рабочий орган на откос канала, рабочий орган расположен близко к колее трактора, обзорность места работы режущего аппарата ухудшена вследствие его размещения на откосе, микрорельеф откоса канала обычно значительно сложнее по сравнению с микрорельефом поля и др.

При использовании режущих аппаратов сегментного типа стебли в процессе срезания опираются на элементы машины (подпорный срез растений), и для качественного срезания необходима скорость движения сегментных ножей 1,5–3 м/с. В режущих аппаратах ротационного типа стебли не опираются в процессе срезания на элементы машины (бесподпорный срез). Для осуществления качественного срезания растений скорость таких режущих элементов должна составлять 18–40 м/с [131, 208, 213].

К косилкам с сегментным режущим аппаратом относятся ККД-1,5, РР-22, а к косилкам с ротационным рабочим органом – РР-41, РР-26, КРН-2,1, К-24А.

У сегментных косилок режущий аппарат сегментного (сегментно-пальцевого) типа имеет подвижную часть – нож, который состоит из спинки с прикрепленными к ней сегментами. Неподвижная часть режущего аппарата состоит из бруса с привернутыми к нему пальцами, снабженными противорежущими пластинами. Сегменты ножа образуют с этими пластинами режущую пару. Прижимы обеспечивают минимальный зазор между сегментами и противорежущими пластинами. При числе двойных ходов 500 в 1 мин возникают значительные динамические нагрузки, вызываемые неуравновешенными силами инерции при возвратно-поступательном движении сегментов. Этот недостаток устранен в двухножевом режущем аппарате, где сегменты двух брусьев движутся навстречу друг другу, производя резание с подпором. При этом силы инерции брусьев уравновешиваются.

Косилку ККД-1,5 (рис. 1.19) навешивают сбоку на колесный трактор с правой стороны между передними и задними колесами. Она состоит из рамы, шарнирной штанги, механизма подвески и подъема, компенсатора, гидропривода, коробки привода и сменных рабочих органов.

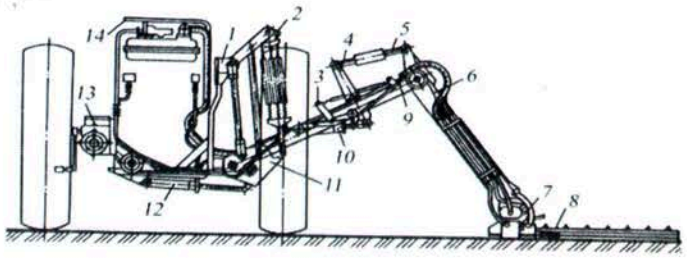


Рис. 1.19. Мелиоративная косилка ККД-1,5:
1 – главная рама; *2* – механизм подвески; *3* – компенсатор;
4 – рычаг; *5* – тяга; *6* и *9* – наружная и внутренняя рамки;
7 – гидропривод; *8* – режущий аппарат;
10 – гидроцилиндр поворота наружной рамки;
11 – рамка подъема; *12* – гидроцилиндр подъема рамки;
13 – лебедка; *14* – гидросистема

Рабочий орган косилки включает в себя редуктор привода и стандартный, с одинарным пробегом ножа, режущий аппарат. Основные части режущего аппарата: нож, пальцевый брус, башмаки (наружный и внутренний), пальцы, пластины трения и прижимы.

Регулировку положения рабочего органа в зависимости от крутизны откосов осуществляют механизмом подъема, состоящим из червячного редуктора с лебедкой. Работу режущего аппарата на откосах каналов и дамб разной крутизны обеспечивает штанга, которая состоит из шарнирно соединенных между собой наружной и внутренней рамок, гидроцилиндра и рычага с регулировочной тягой, позволяющей регулировать вылет рабочего органа косилки при неизменном ходе гидроцилиндра.

Копирование режущим аппаратом микрорельефа поверхности откосов, постоянное давление на внутренний башмак, а также подъем и опускание рабочего органа косилки обеспечивает механизм навески. Высоту среза растительности регулируют с помощью башмаков и режущего аппарата.

Ротационные косилки имеют режущий аппарат ротационного типа с осью вращения, перпендикулярной окашиваемой поверхности. Срезание растений осуществляется ножами, закрепленными на вращающемся несущем диске. Применяют также ножи, соединенные с диском шарнирно пальцами и удерживаемые в радиальном положении центробежной силой (при встрече с препятствием ножи поворачиваются).

Многороторная косилка с постоянным вылетом имеет четыре-пять роторов с прямыми, шарнирно установленными ножами.

Косилка РР-41 изготовлена как сменное рабочее оборудование к каналоочистителям МР-7А, МР-14 и предназначена для скашивания тонко- и толстостебельной растительности и мелкого кустарника с откосов и дамб обвалования (рис. 1.20). Основные сборочные единицы косилки: стрела, рукоять, механизм подвески и рабочий орган с приводом.

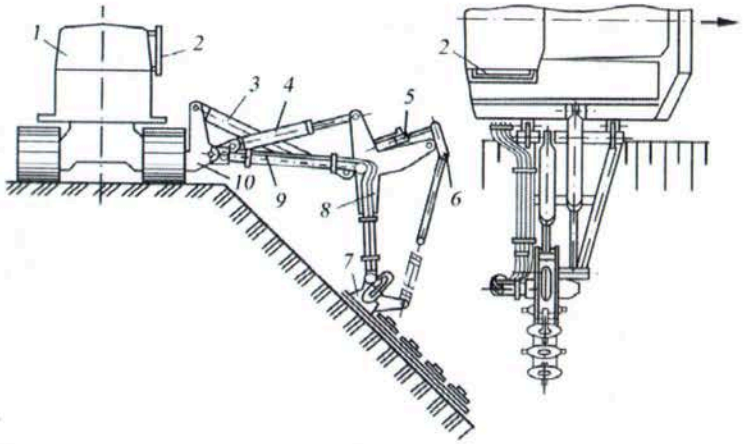


Рис. 1.20. Схема косилки РР-41:
1 – базовый трактор; *2* – защитный экран;
3, *4*, *5* – гидроцилиндры стрелы, рукояти,
подъема рабочего органа; *6* – механизм подвески;
7 – рабочий орган с приводом; *8* – рукоять;
9 – стрела; *10* – охватывающая рама каналоочистителя

Для управления косилкой и привода рабочего органа используется гидрооборудование каналоочистителя, которое включает в себя гидроцилиндры подъема навесного оборудования, поворота рукояти, подъема рабочего органа, гидромотор и маслопроводы.

С целью обеспечения безопасности работ при окашивании откосов каналов и дамб на кабине трактора установлен защитный сетчатый экран. Косилку присоединяют к охватывающей раме каналоочистителя с помощью стрелы. Рабочий орган состоит из основного бруса, башмаков, режущего аппарата. Основной брус свободно поворачивается в цапфах, что обеспечивает хорошее копирование рельефа почвы. Вдоль основного бруса установлены четыре ротора, закрепленные на валах. На противоположном конце каждого вала закреплены шестерни, соединенные с распределительной шестерней редуктора привода рабочего органа. Косилку приводят в действие с помощью гидромотора, установленного на

редукторе. Вращающий момент от гидромотора передается через шлицевую муфту на горизонтальный вал и далее через коническую передачу на распределительную шестерню.

Косилка РР-26 предназначена для окашивания откосов каналов и дамб, расположенных во всех природных зонах России. Она снабжена ротационным режущим аппаратом, который приводится во вращение от вала отбора мощности базового трактора (рис. 1.21).

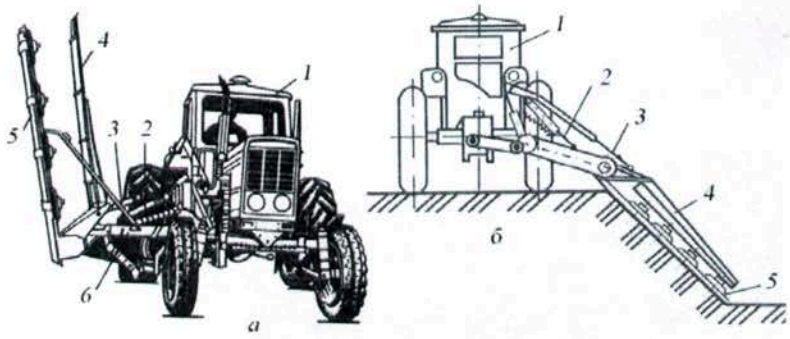


Рис. 1.21. Ротационная косилка РР-26:
а и *б* – в транспортном и рабочем положении; *1* – трактор;
2 – гидроцилиндр; *3* – пружинный механизм подвески;
4 – защитный козырек; *5* – режущий аппарат;
6 – рама для навески режущего аппарата

Косилка состоит из базового трактора, рабочего органа, противовеса, навесной рамы и рамы рабочего органа, клиноременной передачи, гидроцилиндра карданного вала, пружинной подвески и защитного козырька.

Работа косилок РР-26 и РР-41 аналогична. Машину устанавливают на рабочую полосу так, чтобы расстояние от гусеницы трактора до бровки откоса составляло 0,4–0,6 м. После отсоединения транспортной тяги опускают стрелу и поворачивают режущий аппарат параллельно окашиваемому откосу. Перед включением вала отбора мощности трактора проверяют надежность крепления ножей, чтобы избежать их самопроизвольного отрыва.

Плавучие косилки (рис. 1.22) предназначены для срезки водоболотной растительности в каналах с наличием слоя воды (обычно не менее 0,5 м). Эти косилки представляют собой агрегаты, смонтированные на лодках (одной или двух) или понтонах с лопастными колесами или водометным движителем. Сложные условия работы плавучих косилок (наличие воды, значительные усилия при резании толстых стеблей водоболотной растительности) требуют применения специального режущего аппарата.



Рис. 1.22. Плавучая косилка, смонтированная на лодке

Недостатком плавучих косилок, за небольшим исключением, является отсутствие на них специальных устройств, позволяющих удалять срезанную растительность за пределы канала.

Все рассмотренные в данном разделе косилки с успехом могут быть применены на механизированной очистке оросительных каналов от сорной травяной растительности и мелкого кустарника. Они производительны, мобильны и достаточно надежны в эксплуатации.

1.3.2. Технические средства, применяемые для срезания кустарника и мелколесья

Изучение механизации очистки каналов от нежелательной древесно-кустарниковой растительности позволило выделить 4 основные группы технических средств:

1) машины для срезания древесно-кустарниковой растительности;

2) машины для сбора и погрузки срезанной растительности;

3) оборудование для угнетения пней;

4) машины для переработки древесно-кустарниковой растительности в щепу.

В связи с тем, что от особенностей конструкции и качества работы машин первой группы во многом зависит проведение последующих технологических операций, следует рассмотреть их более подробно, с учетом необходимости дальнейшего совершенствования.

1.3.2.1. Выбор способа резания древесины

Чтобы определить тип рабочего органа машины для проведения работ по срезанию древесно-кустарниковой растительности вдоль оросительных каналов, необходимо, прежде всего, рассмотреть существующие способы резания древесины.

Резанием называется механическая обработка древесины, при которой происходит нарушение связи между частицами древесины по заданному направлению с образованием стружки или без нее [68].

Резание древесины осуществляется двумя основными способами – опилочным и безопилочным. Проанализируем их с учетом применения при срезании кустарника и мелколесья вдоль каналов.

1. *Безопилочные способы резания древесины.*

К безопилочным способам [68, 300, 302, 303] можно отнести:

1) резание древесины дисковыми ножами;

2) вибрирующими тонкими пластинами;

3) водяной струей;

4) пламенем;
5) раскаленной проволокой;
6) лучом лазера;
7) ножами (кусторезов, гильотин, ножниц и т. п.).

Исследование процесса резания древесины дисковыми ножами проводилось еще в 1962 г. в Ленинградской лесотехнической академии [65]. Как правило, при таком резании тонкие диски деформировались на неоднородностях древесины и сучках, а толстые, наоборот, деформировали саму древесину, что свидетельствовало о низкой эффективности безопилочного резания.

При резании древесины тонкими вибрирующими пластинками, аналогично дисковым ножам, режущая пластинка деформирует древесину на размер толщины. Усилия смятия древесины, действующие на пластинку, превосходят усилия резания, которые действовали бы на пилу таких же размеров. Поэтому работоспособность вибрирующих пластинок гораздо ниже, чем у пил.

Резание водяной струей рассматривается в работах Е.Л. Брайена [295]. Он проводил опыты со струями диаметром 0,09–0,254 мм под давлением 2800 атм. (скорость истечения достигала 900 м/с). При диаметре 0,127 мм и $P = 2800$ атм. глубина проникновения струи в древесину составила 13 мм, а при диаметре 0,254 мм и давлении 2600 атм. – 35 мм. Анализируя эту зависимость, Брайен приходит к выводу, что струя диаметром 1 мм под давлением 2100 атм. проникнет в древесину на 400 мм. Он считает, что наибольшая производительность достигается при скорости подачи древесины около 610 м/мин. Оценивая эти результаты, Ф. Кульман считает, что высоконапорная струя непригодна для резания древесины [302, 303]. Однако, по мнению В.М. Мак Кензи [300], такая струя может использоваться для резания сырой древесины. Преимущества этого способа он видит в экономии на эксплуатации инструмента, не требующего переточки, однако режущая способность струи по энергетическим затратам на единицу площади пропила в 50 раз меньше эффективной режущей способности пил.

Рассмотренные три способа резания не нашли практического применения ввиду низкой работоспособности и сложности изготовления используемых машин.

При резании древесины автогеном получается устойчивый и узкий пропил. В промышленности этот способ не используется, так как стенки пропила обугливаются и потери древесины велики. Для очистки каналов и удаления кустарника при выполнении культуртехнических работ применяют сжигание. Недостатки, ограничивающие его использование – большой расход горючих материалов и сильное загрязнение воздуха.

Резание древесины раскаленной проволокой применялось в ряде стран при валке деревьев. В процессе резания древесина сгорает с малым количеством кислорода, так как доступ его в зону резания затруднен. Поэтому древесину приходится не сжигать, а испарять, что требует больших энергетических затрат, чем резание водяной струей.

Резание древесины лучом лазера эффективно и производительно. Важным фактором лазерного резания, характеризующим его с кинетической точки зрения, является удельная энергия резания. Физический смысл этой величины состоит в том, что для удаления единицы массы обрабатываемого материала требуется определенное количество энергии. Удельная энергия на разрушение древесины зависит от ее влажности. Повышение влажности древесины существенно сказывается на удельной энергии ее разрушения [225]. Несмотря на то, что резание древесины лазером является эффективным и производительным, данный способ не нашел широкого применения из-за высокой стоимости и опасности эксплуатации оборудования, а также больших энергетических затрат на резание влажной древесины.

Из рассмотренных выше способов резания древесины ни один, на наш взгляд, не может найти практического применения при срезании кустарника, произрастающего на оросительных каналах. Хотя некоторые из них вполне могли бы обеспечить высокое качество работ и хорошую производительность, но для

их реализации необходимы: машины сложной конструкции, мощные источники энергии и хорошие условия эксплуатации, что невозможно обеспечить, учитывая специфику работы машин в условиях сельского хозяйства, особенно на каналах. К тому же, для разработки этих машин требуются отдельные узлы, которые вообще не предназначены для сельскохозяйственного машиностроения и использование которых в полевых условиях не предусмотрено самой конструкцией этих узлов.

В практике применения машин для срезания кустарника и мелколесья широкое распространение получили способ резания ножами отвалов кусторезов пассивного действия и способ пиления.

Если рассматривать резание древесины ножами, лезвием и ножницами, необходимо отметить, что родоначальником теории резания лезвием можно считать В.П. Горячкина [95]. Он исследовал резание сельскохозяйственных материалов клином и предпринял попытку теоретически обосновать некоторые параметры лезвийных пар секаторов. Большую роль в теоретическом обосновании резания лезвием сыграли Н.Е. Резник [222], а также Е.С. Босой [79].

Резание древесины ножом легло в основу проектирования и разработок кусторезов пассивного действия и гидроножниц. Основываясь на ряде работ по резанию, И.И. Марченко [157] рассмотрел процесс взаимодействия режущего ножа с древесным стеблем. Представив ствол растения в виде стержня одинаковой толщины, он получил зависимость:

$$\overline{R}_{\text{гор}} \le \overline{P}_{\text{г.ст}} + \overline{P}_{\text{и.ст}}, \qquad (1.1)$$

где $\overline{R}_{\text{гор}}$ – горизонтальная составляющая силы резания; $\overline{P}_{\text{г.ст}}$ – сила сопротивления ствола изгибу; $\overline{P}_{\text{и.ст}}$ – сила, необходимая для преодоления инерции растения при его изгибе.

И.И. Марченко также были получены выражения для определения $\overline{P}_{\text{г.ст}}$ и $\overline{P}_{\text{и.ст}}$.

Из всех рассмотренных способов безопилочного резания древесины именно последний учитывают при конструировании машин для срезания древесной растительности и разделки лесоматериалов [183].

2. *Опилочный способ резания древесины – пиление.*

Пиление – это процесс закрытого резания многорезцовым инструментом (пилой) с целью деления обрабатываемого объекта на объемно недеформированные части путем превращения в стружку минимального объема древесины, расположенного между этими частями [152].

Среди множества рассмотренных выше способов резания древесины пиление занимает первое место вследствие большой надежности, эффективности, качества выполняемых работ и многих других параметров.

При пилении древесины используется комбинация деформации смятия и сдвига (скалывание) – процесс разъединения твердого тела на части, состоящий из многих отдельных элементарных операций.

Отличительным признаком процесса пиления является образование в разделяемом объекте пропила, то есть щели, образуемой резцами инструмента в результате срезания и удаления узких стружек (опилок).

Процессы пиления древесины классифицируют [55, 152] по следующим основным признакам:

1. По виду главного движения различают следующие процессы пиления:

- с прямолинейным возвратно-поступательным движением;
- с прямолинейным непрерывным движением;
- с вращательным непрерывным движением.

2. По форме пильного инструмента пиление может осуществляться: полосовыми, ленточными, дисковыми, цепными или специальными пилами (цилиндрическими, сферическими и др.).

3. По ориентации поверхностей пропила относительно волокон древесины различают:

• продольное пиление (поверхности пропила плоские, расположены параллельно волокнам);

• поперечное пиление (плоскости пропила перпендикулярны направлению волокон древесины);

• смешанное пиление (промежуточное между продольным и поперечным);

• криволинейное пиление (поверхности пропила кривые).

На рис. 1.23 представлены разновидности пиления древесины. Как правило, пиление рамными пилами используется для продольной распиловки материала; пиление дисковыми (круглыми) пилами – для продольной, поперечной или смешанной распиловки; цепными – для поперечного пиления; узкими ленточными пилами – для выпиливания заготовок криволинейного контура.

Таким образом, для срезания древесно-кустарниковой растительности на оросительных каналах наиболее приемлемым вариантом будет установка на кусторез дискового или цепного рабочего органа. Исходя из этого, нами выбрана дисковая пила большого диаметра, предназначенная для поперечного или смешанного пиления древесины.

Процесс пиления древесины достаточно полно изложен в работах по деревообработке [39, 55, 67, 68, 86, 98, 103, 120, 124, 150, 152, 172, 290]. Одним из первых процесс поперечного пиления древесины исследовал профессор М.А. Дешевой [103]. Рассматривая вопрос конструирования зубьев пил, он отмечал, что при продольной распиловке резание волокон по их длине производится короткой режущей кромкой. При поперечном пилении волокна перерезаются внешней боковой режущей кромкой *1–3* (рис. 1.24). Короткая режущая кромка *1–4* производит отрыв и удаление стружек, перерезаемых боковыми кромками.

Анализируя процесс стружкообразования, М.А. Дешевой приходит к следующей схеме. Боковые кромки перерезают волокна. По мере углубления в толщу древесины короткая режущая кромка, имеющая угол наклона к боковой поверхности зуба, односторонне воздействуя частью своей длины на перерезаемый с двух сторон элемент древесины, отрывает его от основного слоя.

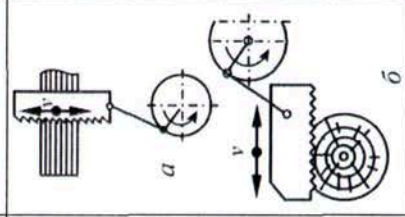
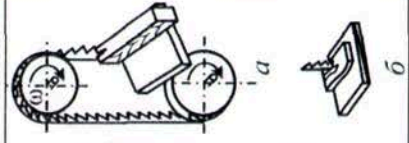
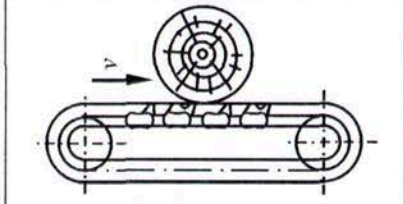
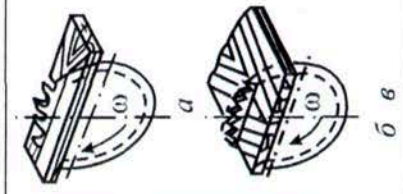
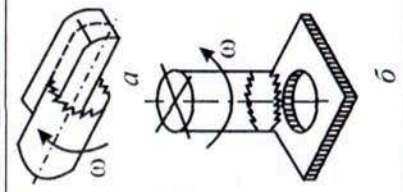
Классификационный признак	ПИЛЕНИЕ				
Вид главного движения в процессе резания	С прямолинейным возвратно-поступательным движением	С прямолинейным непрерывным главным движением		С вращательным непрерывным главным движением	
Форма режущего инструмента	Полосовой пилой	Ленточной пилой	Цепной пилой	Дисковой пилой	Цилиндрической пилой
Схема процесса пиления					
Ориентация пропила относительно волокон	*а* – продольная; *б* – поперечная	*а* – продольная; *б* – криволинейная	поперечная	*а* – продольная; *б* – поперечная; *в* – смешанная	*а* – продольная; *б* – криволинейная (смешанная)

Рис. 1.23. Классификация процессов пиления

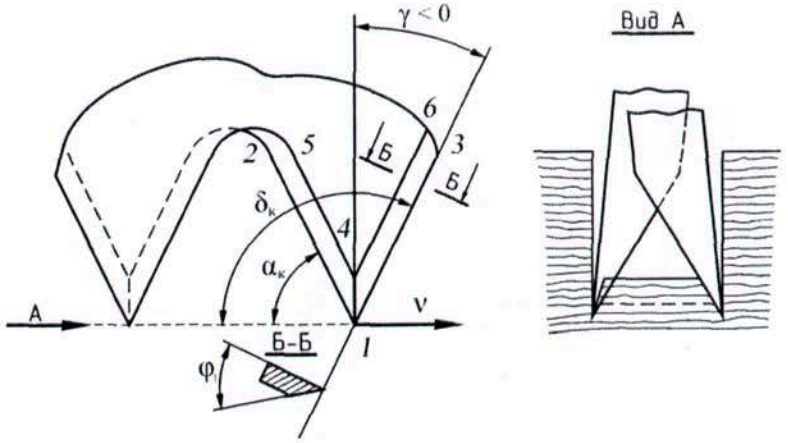


Рис. 1.24. Схема процесса стружкообразования при поперечном пилении: $\alpha_к$ – контурный задний угол; $\delta_к$ – контурный угол резания; γ – передний угол, φ_1 – угол наклона передней грани зуба

Мощность, затрачиваемая на резание, зависит от глубины подреза древесины, при которой воздействие короткой режущей кромки на подрезаемую часть древесины приводит к ее отделению. Это напрямую связано с углом наклона короткой режущей кромки. При увеличении угла, малых скоростях подачи и распиловке твердых пород древесины короткая режущая кромка при внедрении будет отрывать волокна в зоне пропила на меньшей глубине, что облегчает стружкообразование и приводит к уменьшению сил трения, и, как следствие, к уменьшению силы резания.

Важную роль в процессе пиления играет развод или плющение зубьев, а также применение пил с шириной режущей части зубьев, превышающей толщину тела пилы (с пластинами из твердого сплава). Наличие данных параметров у пил гарантирует их устойчивую работу в пропиле, так как при этом устраняется трение боковых поверхностей зубьев и рабочего органа (полотна, ленты, диска) о стенки пропила, предотвращается защемление пилы в пропиле.

От способа подготовки зубьев с целью уширения пропила зависит форма поперечного сечения стружки (рис. 1.25). Наиболее доступным и распространенным способом уширения пропила является развод (рис. 1.25, а). Развод зубьев для дисковых пил – технологическая операция, связанная с поочередным отгибом зубьев в одну и другую стороны относительно срединной плоскости диска пилы [290].

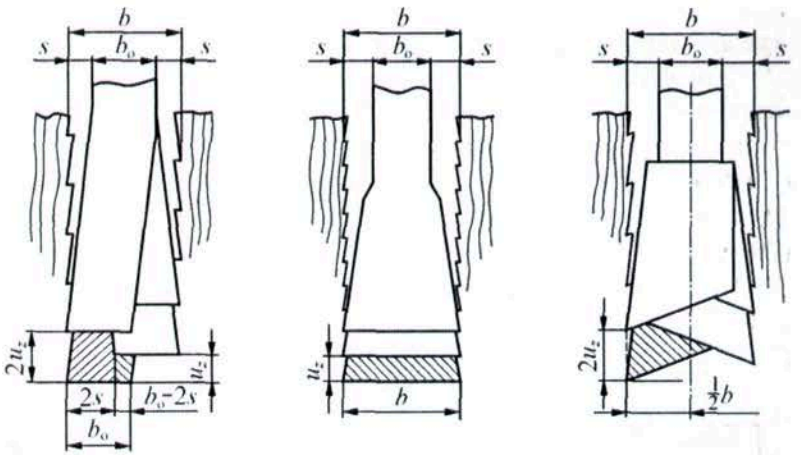


Рис. 1.25. Форма поперечного сечения срезаемого слоя при уширении пропила: *а* – разводом зубьев; *б* – плющением; *в* – напайкой пластины со свесом на сторону (при косой заточке); b – ширина пропила; b_0 – ширина режущей кромки зуба; s – величина, характеризующая отклонение зуба при разводе; u_z – подача на один зуб

Согласно ГОСТ 980–80, при разводе часть зуба должна отгибаться на расстояние s = 0,3–0,5 его высоты от вершины при высоте зуба более 15 мм и s = 0,5–0,9 его высоты при высоте зуба до 15 мм.

Основными факторами, определяющими процесс резания пилением, являются скорость резания v и скорость подачи u, м/с.

При пилении круглыми пилами используются следующие формулы [290]:

$$v = \pi D_{\text{п}} n / 60, \qquad (1.2)$$

где $D_{\text{п}}$ – диаметр пилы, м; n – частота вращения пилы, мин$^{-1}$;

$$u = u_z z n / 60, \qquad (1.3)$$

где u_z – подача на один зуб, м/зуб; z – количество зубьев.

Эти факторы оказывают решающее влияние на энергетические показатели пиления: силу резания и мощность, затрачиваемую на пиление.

Далее проанализируем существующие рабочие органы и машины для срезания кустарника и мелколесья. Затем, основываясь на данном анализе, выявим наиболее приемлемые конструкции машин для работы на оросительных каналах.

1.3.2.2. Классификация рабочих органов кусторезов

Машины для удаления древесно-кустарниковой растительности, в зависимости от назначения и конструктивных особенностей, могут иметь различное рабочее оборудование. Рассмотрим распространенные конструкции рабочих органов кусторезов и выявим наиболее приемлемые для очистки оросительных каналов от кустарника и мелколесья [139, 165]. При этом следует отметить, что необходим такой рабочий орган, который бы срезал древесную растительность большого диапазона диаметров (от 1 до 20 см), имел простую, распространенную и надежную конструкцию.

Согласно классификации [91, 267], машины для удаления надземной части кустарника и мелколесья бывают с рабочими органами, отделяющими ствол от корневой системы без измельчения, и измельчающими древесную растительность.

На рис. 1.26 представлены наиболее распространенные в нашей стране и за рубежом рабочие органы кусторезов.

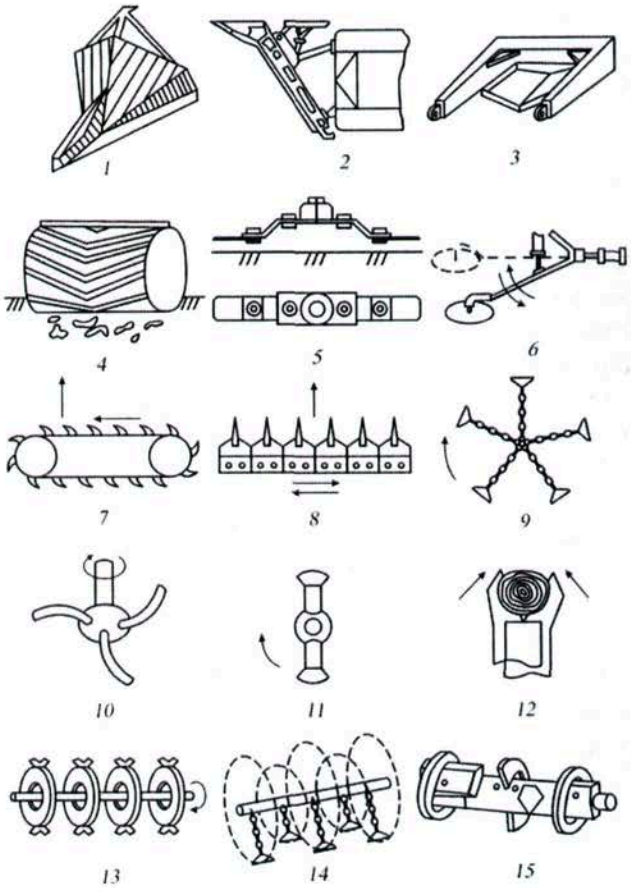


Рис. 1.26. Рабочее оборудование машин для удаления древесно-кустарниковой растительности:
1 – *V*-образный отвал; *2* – односторонний отвал;
3 – плоскорез; *4* – ножевой каток;
5 – роторный со свободно закрепленными ножами;
6 – дисковая пила; *7* – цепная пила;
8 –сегментный режущий орган;
9 – цепной рабочий орган с рубящими элементами;
10 – рабочий орган с закругленными ножами;
11 – рубящий рабочий орган; *12* – гидроножницы;
13 – ротационный с жестко закрепленными резцами;
14 – ротационный цепной; *15* – фрезерный

При удалении древесно-кустарниковой растительности вдоль оросительных каналов наиболее целесообразно срезать ее под корень, исключив трудоемкую и разрушающую облицовку каналов операцию корчевания. Исходя из этого, необходимо выбрать такой рабочий орган, который эффективно срезает любую растительность, не измельчая ее. Поэтому из перечня многочисленных рабочих органов можно выделить: дисковые пилы с жестко закрепленными режущими элементами (см. рис. 1.26, *б*) и косопоставленный одноотвальный ножевой рабочий орган (см. рис. 1.26, *2*).

Наиболее рационально использовать дисковые пилы, выпускаемые отечественной промышленностью, ввиду их высокой надежности, распространенности, простоты конструкции и относительно небольшой стоимости. При этом необходимо определить параметры рабочего органа, выбрать оптимальную конструкцию и обосновать режимы его работы. По нашему мнению, наилучшим решением является разработка кустореза, оборудованного активным дисковым пильным рабочим органом, с исследованием и выявлением наиболее рациональной конструкции пилы, имеющей малое энергопотребление и высокую производительность. Однако, прежде чем остановить выбор на рабочем органе в виде дисковой пилы, необходимо проанализировать существующие в России и за рубежом конструкции машин и оборудования для срезания древесно-кустарниковой растительности.

1.3.2.3. Обзор машин, используемых для срезания древесно-кустарниковой растительности

Разнообразие способов удаления древесной растительности обусловливает многочисленность и разнотипность применяемых машин. Существует множество вариантов классификации технических средств для сводки кустарника и мелколесья [91, 139, 165, 267]. В общем случае можно выделить две группы машин и орудий для удаления древесно-кустарниковой растительности. К первой группе относятся

машины и орудия для удаления надземной части растительности путем ее срезания или измельчения, ко второй – машины для удаления растительности с корневой системой или пней с корнями.

Машины и орудия каждой из групп по агрегатированию с базовым трактором делят на самоходные, навесные, полунавесные и прицепные.

В ходе рассмотрения машин и оборудования для удаления надземной части кустарника и мелколесья нами были обобщены конструкции данных машин и предложена следующая классификационная схема (рис. 1.27). Появление машин и орудий первой группы вызвано трудностью отделения почвы от корневой системы, загрязнением землей всей кроны древесно-кустарниковой растительности при корчевке (особенно на переувлажненных почвах), необходимостью сохранения плодородного слоя почвы. На оросительных каналах целесообразно использовать машины именно данной группы, так как корчевание является трудоемкой и нежелательной технологической операцией, в ходе которой повреждается облицовка каналов и возникает необходимость проведения дополнительных планировочных работ.

По типу рабочего органа различают кусторезы с активным (дисковые пилы, пильные цепи, механизмы косилочного типа, фрезы, молотковые дробилки и пр.) и пассивным (одно- и двухотвальные ножевые кусторезы, ножевые катки) рабочим органом. По типу привода кусторезы с активным рабочим органом подразделяются на гидравлические, электрические и механические (от ВОМ трактора).

Отметим, что наиболее эффективным является применение именно дисковых кусторезов с активными рабочими органами, что обусловлено их универсальностью, распространенностью, широким диапазоном диаметров срезаемой растительности, возможностью использования в любое время года и агрегатированием с наиболее распространенными мобильными тракторами типа МТЗ-80 (МТЗ-82) [2, 10, 117, 252].

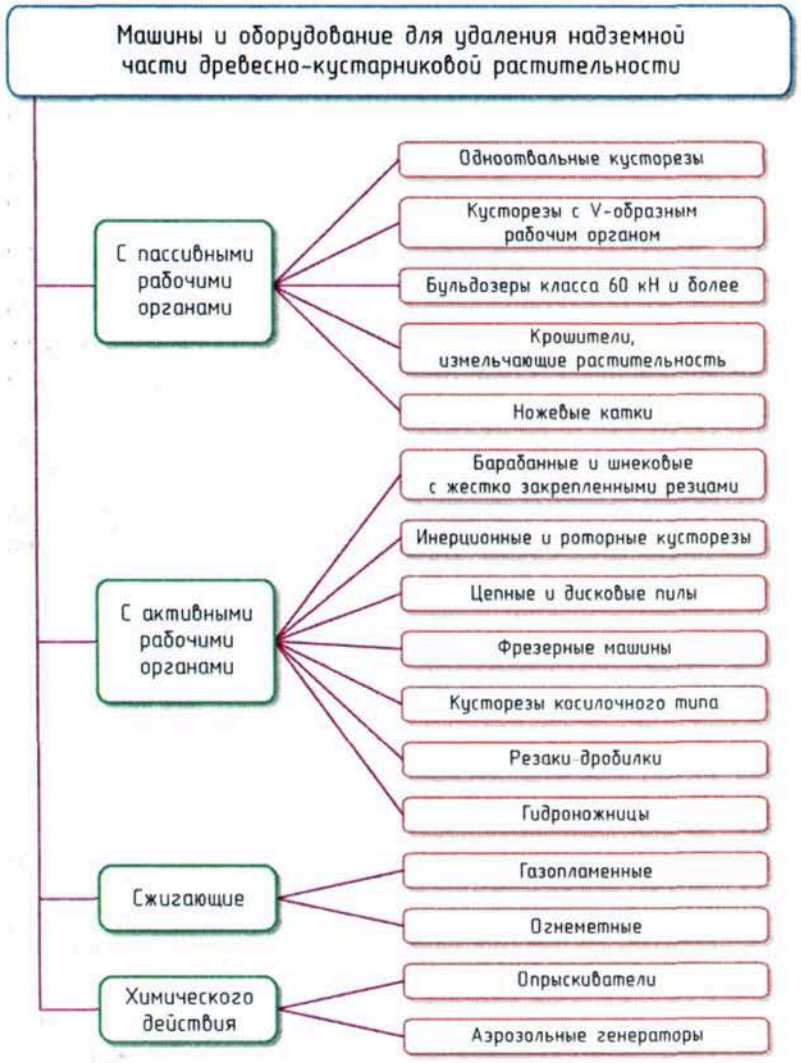


Рис. 1.27. Классификация машин и оборудования для удаления надземной части кустарника и мелколесья

Пассивные рабочие органы на каналах применяют очень редко в силу недостаточной полноты среза кустарника, необ-

ходимости использования преимущественно в зимний период, возможного разрушения бермы, необходимости создания значительного тягового усилия и, как следствие, использования энергонасыщенных тракторов (с большим расходом топлива), а также в связи с опасностью разворота трактора и падения его в канал при срезании растительности.

Далее рассмотрим основные типы машин и орудий, используемых для срезания кустарника и мелколесья в Российской Федерации и других странах.

1. *Кусторезы с пассивными рабочими органами.*

К наиболее распространенным машинам и орудиям с пассивными рабочими органами относятся отвальные кусторезы и бульдозеры.

Кусторезы пассивного действия отечественного (МК-11, ДП-24, МП-9, МП-10, МП-14 и т. д.) и зарубежного (Rome K/G, Fleco, Owens-Johnson Shearing Blade и др.) производства [178, 242] агрегатируют с гусеничными тракторами класса 30, 60 и 100 кН.

В процессе работы этих кусторезов по мере продвижения трактора лезвия ножей врезаются в ствол и срезают его. Основные узлы: универсальная толкающая рама сварной конструкции, шарнирно навешиваемая на опоры, приваренные к гусеничным тележкам трактора; рабочий орган, состоящий из двух- или одностороннего отвала с прикрепленными к нему сменными ножами.

В носовой части отвала имеется клин, предназначенный для раскалывания пней и раздвигания срезанных стволов. При срезке толкающее усилие от рабочего органа воспринимается пружинными амортизаторами трактора. Управление рабочим органом осуществляется гидравлической системой, которая позволяет регулировать высоту срезания древесно-кустарниковой растительности.

Наиболее распространенным в нашей стране является кусторез ДП-24 с *V*-образным ножом (см. рис. 1.26, *1*). Из одноотвальных кусторезов (см. рис. 1.26, *2*) можно выделить кусторез-корнеплуг МП-9, разработанный по проекту НПО «ВНИИземмаш», ПО «Мелиормаш» [242]. Диаметр срезаемых стволов – до 15 см.

Зарубежные кусторезы пассивного действия по принципу работы и устройству аналогичны отечественным и отличаются от них в основном формой отвалов, наличием решетчатых надставок, отклоняющих древесину и защищающих базовый трактор, а также большим разнообразием форм ножей и более высокой их износостойкостью [178].

Недостатком кусторезов с ножом, установленным под углом к направлению движения (одноотвальных), является разворот базовой машины в сторону от поперечной составляющей силы резания. Для выдерживания заданного направления движения машины требуется постоянное управление фрикционами трактора, что усложняет работу [178]. Недостатками двухотвальных рабочих органов является то, что срезанная растительность сваливается по обе стороны от кустореза, что существенно затрудняет следующие проходы и уборку растительности. Кроме того, двухотвальный кусторез значительно тяжелее одноотвального, его центр тяжести смещен вперед, что ухудшает управляемость машины.

Большое значение при эксплуатации кусторезов с пассивным рабочим органом имеет время года, в которое их используют. При срезке в летний период характерна большая высота остающихся пней, вырывание стволов с корнями и неполнота среза (стволы диаметром менее 3 см практически не срезаются и пригибаются). Лучшие результаты показывают кусторезы при работе в зимний период при промерзании грунта и незначительной толщине снежного покрова, так как стволы становятся хрупкими, их заделка в почве более жесткой, а ножи кустореза в промерзший грунт не заглубляются. При глубине промерзания почвы до 5–6 см число вырываемых стволов сокращается до 10–15 %, а при глубине промерзания 10–15 см сводится к нулю. При работе кусторезов в зимнее время средняя высота среза уменьшается (8–10 см зимой по сравнению с 13–20 см летом), процент срезанных стволов увеличивается [242].

Из пассивных кусторезов для работы на каналах можно выделить кусторез, разработанный в СГАУ им. Н.И. Вавилова (рис. 1.28), защищенный *патентом* РФ № 2167514 [190].

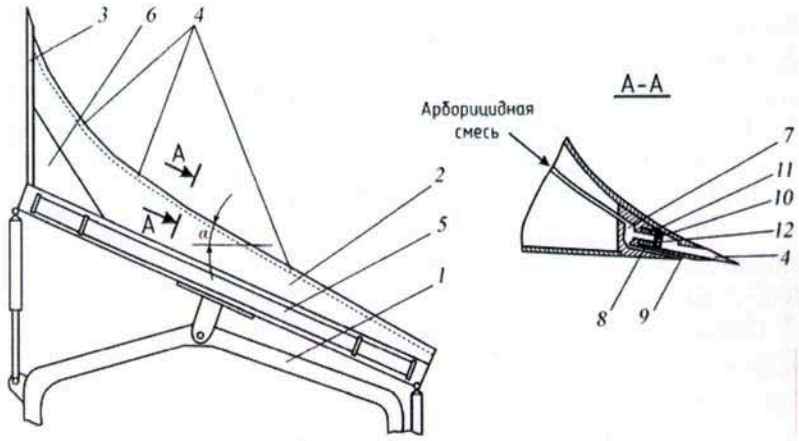


Рис. 1.28. Устройство для срезания кустарника и мелколесья на каналах: *1* – толкающая рама; *2* – отвал; *3* – расщепляющий клык; *4* – ножевые пластины; *5* – толкающий брус; *6* – лист жесткости; *7* – клапан; *8* – трубопровод; *9* – сопло; *10* – толкатель; *11* – возвратная пружина; *12* – упругий элемент

Данное устройство позволяет срезать древесно-кустарниковую растительность, произрастающую на бермах каналов, вносить на срезанные пни арборицидную смесь и отваливать срезанную растительность в сторону от канала. Применение данного устройства позволяет повысить производительность работ за счет исключения дополнительных технологических операций по корчевке и утилизации пней, а также по разравниванию местности. Кроме того, корчевка пней – довольно трудоемкая операция, требующая значительных затрат. Использование данного устройства наряду с исключением корчевания пней обеспечивает рациональное применение арборицидной смеси вследствие непосредственного внесения ее на образующиеся после срезания пни.

К машинам с пассивными рабочими органами относятся также машины, измельчающие растительность, – ножевые катки, крошители. В лесном хозяйстве нашей страны и за рубежом большое распространение получили катки осветлитель-

ные ножевые, вследствие простоты их устройства и эффективности эксплуатации. На поверхности катков крепятся режущие элементы в виде ребер, лезвий различной формы, топоров. Измельчители могут быть выполнены с приводными катками, которые служат одновременно опорами машины, и в прицепе к трактору. Модели самоходных машин – G-40, Le Teocruher фирмы «Le Tourneau» (США) и др., выполненные с опорой на ребристые катки. Прицепные катки-измельчители – КОК-2, КОК-2А [217], катки фирмы «Fleco» (США) [178].

Отличительная особенность этих машин – малая скорость резания при больших удельных давлениях на режущие элементы, большая масса машины или прицепного катка. Недостатками, делающими невозможным использование таких машин для работы на каналах, являются: малый диаметр срезаемых кустов, опасность работы рядом с каналом, измельчение растительности.

2. *Кусторезы с активными рабочими органами для удаления надземной части кустарника и мелколесья.*

Рабочими органами таких машин являются неподвижно или шарнирно закрепленные горизонтальные или вертикальные ножи, дисковые пилы, пильные цепи, механизмы косилочного типа, фрезы, молотковые дробилки и др.

Отличительная особенность всех активных рабочих органов – широкий диапазон диаметров срезаемой растительности (от 0 до 20–30 см и более).

По технологическому признаку в этой группе можно выделить машины для измельчения древесной растительности и для удаления ее без измельчения.

Разработано огромное количество машин активного действия для срезания надземной части древесно-кустарниковой растительности. Однако в нашей стране серийно выпускаются единицы. В других же странах, особенно в США, Англии, Германии, Франции, они получили большое распространение [178].

Остановимся на описании наиболее распространенных кусторезов, которые могут быть использованы для очистки оросительных каналов.

Несомненный интерес представляет кусторез КФМ-2,8 с фрезерным рабочим органом, предназначенный для срезания кустарника и мелколесья с диаметром ствола до 10 см при освоении земель и улучшении лугов и пастбищ. Рабочий орган кустореза, навешиваемый на охватывающую раму трактора ДТ-75Б, является сменным оборудованием к каналоочистителям МР-7А, МР-14. Режущий элемент рабочего органа – цилиндрическая трехножевая фреза, приводимая во вращение гидромотором через цилиндрический редуктор.

Следует отметить применяемую в лесной мелиорации машину для очистки каналов от кустарника – КЛН-1,2 [110, 149]. Данный кусторез (рис. 1.29) агрегатируется с тракторами ТДТ-55, ЛХТ-55. Сменный рабочий орган навешивают на стрелу *1*. Он включает в себя удлинитель *2* стрелы *1*, трубопроводы *3* и кусторез, состоящий из редуктора *4*. К выходному валу редуктора *4* присоединен ротор *5* с ножами *6*, закрытый кожухом *7*. Привод ротора – от гидромотора *8* через редуктор *4*. Ножи кустореза (6 шт.) свободно установлены на осях по периферии ротора. При вращении ротора (390 об./мин) под действием центробежных сил ножи расходятся в стороны, занимают рабочее положение и срезают кустарник диаметром до 10 см. Перед началом работы стрелу поворачивают в сторону канала перпендикулярно продольной оси трактора и опускают рабочий орган так, чтобы он не соприкасался с грунтом и кустарником. Затем включают гидромотор и после того, как ротор наберет обороты, начинают движение и удаление кустарника. Агрегат движется задним ходом. Рабочая скорость 0,3–2,7 км/ч. Данная машина внедрена в производство и включена в систему машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства [239].

В 1960-е гг. был разработан кусторез активный роторный КАР-1,2, предназначенный для срезания кустарника и мелколесья при освоении и расчистке полей, лугов, пастбищ [75]. Кусторез навешивается на трактор ДТ-75 и состоит из активного рабочего органа, стрелы, заднего кронштейна, ограждения трактора и гидросистемы. Рабочий орган имеет вид дисковой фрезы, которая крепится к валу редуктора и состоит из режущего диска с ножами (режущими – правыми и левыми, скалы-

вающими – средними), нижнего диска ведущего вала, корпуса редуктора и ступицы режущего диска. Привод рабочего органа осуществляется системой передач от ВОМ трактора, подача – движением трактора. Невозможность поворота аппарата в вертикальной плоскости затрудняет регулирование высоты среза кустарника и приспособление фрезы к неровностям почвы.

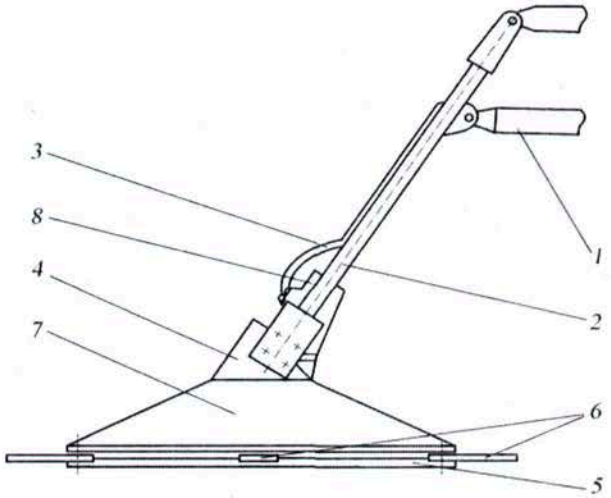


Рис. 1.29. Машина для очистки каналов
от кустарника КЛН-1,2: *1* – стрела; *2* – удлинитель стрелы;
3 – трубопроводы; *4* – редуктор; *5* – ротор; *6* – ножи;
7 – кожух; *8* – гидромотор

В сельском и лесном хозяйстве большое распространение нашли рабочие органы в виде дисковых пил, выпускаемых для деревообрабатывающего производства. Например, при обрезке плодовых деревьев используют машину ОКМ-4,5 [171] на базе трактора ДТ-75М. Для обрезки и срезания кустарников учеными ВНИИАЛМИ разработана машина МСК-1 на базе трактора МТЗ-80 с использованием в качестве рабочего органа дисковой пилы [42]. Дисковые пилы используют также для тяжелой подрезки лавра и чайных шпалер [284, 285], для срезания деревьев и кустарников на рубках ухода в лесном хозяйстве и защитном лесоразведении [125, 159, 233, 304, 305]. Все

эти машины, как правило, агрегатируются с распространенными в сельском хозяйстве тракторами тягового класса до 30 кН. Подача рабочего органа осуществляется движением трактора вперед (рис. 1.30) или назад (рис. 1.31).

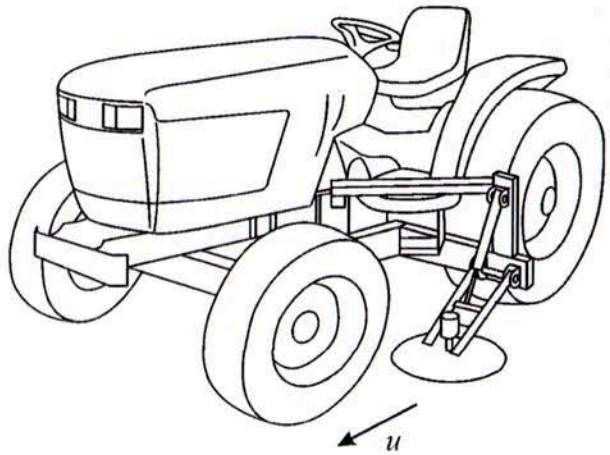


Рис. 1.30. Кусторез с дисковым пильным рабочим органом

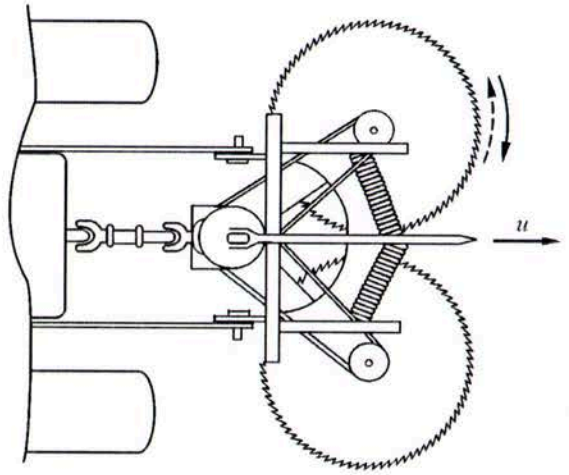


Рис. 1.31. Схема машины для проведения рубок
ухода в молодняках

Кусторезы, режущие древесину со стружкой, в качестве рабочих органов имеют, как правило, пильные диски или дисковые фрезы. Однако при колебаниях и перекосах пильные диски не могут нормально работать, так как площадь контакта режущих аппаратов такого типа со срезаемой растительностью очень велика и иногда равна площади дисков. В значительной мере этих недостатков лишены кусторезы, осуществляющие срезание подачей рабочего органа, размещенного на подвижной стреле, при остановке базовой машины. Наиболее характерной машиной этого класса является МТП-43 с электроприводом рабочего органа.

К подобным машинам можно отнести и маятниковые кусторезы, предназначенные для сплошного или выборочного срезания кустарника [62]. Агрегатируются они в основном на базе тракторов класса до 14 кН (рис. 1.32). На раме с навеской смонтирован конический редуктор, горизонтальный маятник с дисковым пильным рабочим органом и гидроцилиндр поворота маятника. Привод рабочего органа осуществляется от ВОМ трактора через карданную и ременную передачи. Рабочий орган крепится к маятнику посредством стакана, в котором на опорных подшипниках закреплен вертикальный вал, закрываемый кожухом. Его монтируют на внешнем конце маятника, сваренного из швеллера. На нижнем конце вала расположена дисковая пила. На маятнике смонтирован также механизм натяжения ремня.

Достаточно широкое распространение получила машина МТП-13, выполненная на базе торфяного гидравлического экскаватора МТП-71 (ЭО-4221). Рабочее оборудование для сводки леса состоит из стрелы, тяги и кронштейна, на котором шарнирно закреплен откладчик с клыками для удерживания срезанных деревьев, в нижней части откладчика установлена дисковая фреза с приводом. Подъем и опускание стрелы, наклон откладчика и поворот клыков производится гидроцилиндрами. Привод фрезы осуществляется от гидромотора. Фреза сверху закрывается защитным диском [73].

Основные характеристики машин с активными рабочими органами представлены в табл. 1.8.



Рис. 1.32. Маятниковый кусторез на базе трактора МТЗ-80

Таблица 1.8

Техническая характеристика кусторезов с активными рабочими органами

Показатель	Кусторез фрезерный СКБ «Торфмаш»	КФМ-2,8	МТП-43	МТП-13
Тип машины	Навесная к трактору Т-130БГ-1	Навесная к трактору ДТ-75Б	Самоходная на базе гидравлического экскаватора МТП-71А	
Мощность двигателя, кВт	103,0	59,0	95,6	95,6
Производительность при срезке стволов, га/ ч: диаметром до 10 см диаметром до 25 см	до 0,40	до 0,40	0,09–0,12 0,07–0,09	0,09–0,12 0,06–0,08
Наибольший диаметр срезаемых стволов, см	10	10	до 25	до 25
Ширина захвата рабочего органа, м	2,6	2,8	16,0	13,0
Частота вращения фрезы,$с^{-1}$	66,0	53,3	13,8	13,8
Масса рабочего оборудования, т	4,1	0,7	5,86	6,9

Аналогами машин МТП-13, МТП-43 являются используемые в нашей стране и за рубежом лесозаготовительные машины [62, 141, 153, 161, 174, 282], оборудованные навесными рабочими органами: валочно-пакетирующие (ЛП-19, ЛП-54, ЛП-60), валочно-трелевочные (ЛП-17, ЛП-49, ЛП-58А), валочно-сучкорезно-трелевочные (МЛ-55, МЛ-65, ТЛК-6-2), снабженные гидроманипулятором или захватом.

Новые машины создают как на базе гусеничных трелевочных, так и на базе мощных колесных тракторов. Из зарубежных фирм, выпускающих лесозаготовительную технику, можно выделить: «Caterpillar», «Case», «Bobcat» (США); «Husqvarna», «Logmax» (Швеция); «Valmet», «Kesla», «Logset» (Финляндия) и др.

Следует отметить, что для срезки кустарника в последние годы широко применяют средства малой механизации. Наиболее подходят для срезания кустарника вдоль каналов кусторезы фирм: «Husqvarna», «Partner» (Швеция); «Stihl» (Германия); «Craftsman», «Homelite» (США); «Efco», «Oleo–mac» (Италия) мощностью 2–3,5 кВт [63]. Масса их не превышает 12 кг. Они удобны, легки и надежны.

Проанализировав основной спектр машин для срезания кустарника и мелколесья, можно сделать вывод, что наиболее приемлемыми машинами для работы на бермах каналов являются машины с дисковыми рабочими органами КАР-1,2 и маятниковый кусторез на базе колесного трактора МТЗ-80.

Применение на каналах одноотвальных кусторезов с пассивным рабочим органом типа МП-9, МП-14, учитывая рассмотренные ранее недостатки, является малоэффективным.

Можно использовать также выпускаемые серийно машины МТП-13, ЛП-19 и т. п., но это было бы экономически неоправданно, так как они характеризуются большой шириной захвата, цикличностью процесса, значительным расходом горюче-смазочных материалов, трудностью захвата и срезания кустарника с шарообразной формой кроны. Такие машины применяют в основном на лесозаготовках для валки отдельных деревьев. Вдоль каналов же растет гнездовая

древесно-кустарниковая растительность небольшой высоты, имеющая хорошо развитую шарообразную и конусообразную крону. Кроме того, как правило, ширина закустаренной полосы на бермах составляет всего 1–2 м.

Применение средств малой механизации, по сравнению со специализированными машинами, является малопроизводительным. К тому же, достаточно часто к кустарнику, произрастающему на каналах и имеющему шарообразную или конусообразную крону, затруднен доступ.

Таким образом, для очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности необходимы эффективные машины, совмещающие достоинства рассмотренных кусторезов, имеющие активный рабочий орган, базирующиеся на распространенных тракторах, обладающие высокой производительностью и хорошим качеством работ при малой себестоимости изготовления.

В качестве пильных рабочих органов целесообразно использовать распространенные в деревообработке дисковые пилы. Для этого необходимо детально ознакомиться с конструкциями и параметрами выпускаемых промышленностью дисковых пил и обосновать их использование на кусторезах.

1.3.2.4. Конструктивные параметры дисковых пил

Круглые пилы – это многорезцовый инструмент, имеющий форму диска или цилиндра [124, 234]. Процесс пиления осуществляется вращательным движением инструмента и поступательным движением обрабатываемого материала или же вращательным и поступательным движением инструмента.

В машинах для валки деревьев используются пилы и дисковые фрезы [153, 174]. Как правило, пилы имеют значительную толщину (в несколько раз превышающую толщину дисковых пил, выпускаемых для деревообрабатывающей промышленности) и вставные зубья. Для кусторезов, срезающих древесно-кустарниковую растительность, наиболее целесообразно использовать более легкие и доступные пилы, применяемые в круглопильных станках. В связи с этим рассмотрим характеристики данных пил.

Для снижения негативных последствий от нагрева пил, сил резания и центробежных сил их изготавливают из высококачественной легированной стали.

Дисковые пилы выпускают компании ОАО «Горьковский металлургический завод – ГМЗ» (Россия), «Leuco» (Германия), «Dimar» (Израиль), «Freud» (Италия), «Pilana» (Чехия) и др. [104, 265].

Параметры пил с учетом технических условий определяет ГОСТ 980–80. Режущая часть круглых пил состоит из зубьев, расположенных по окружности. Форма, или профиль зубьев определяется углами резания и очертаниями задней и передней граней, а также межзубной впадиной. В зависимости от назначения пил профили зубьев и их угловые значения различаются. По виду пиления круглые пилы подразделяют на пилы для продольной, поперечной и смешанной распиловки древесины. Эти пилы отличаются друг от друга характером резания, профилем зубьев и способом их заточки.

По конструкции круглые пилы характеризуются размером диска (диаметры внешнего и центрового отверстия, толщина диска), его формой в поперечном сечении, а также размерами, числом и профилем зубьев. В практике встречаются пилы с плоским диском, имеющим одинаковую толщину по всему сечению, коническим диском и пилы с поднурением.

Режущая часть зубьев характеризуется угловыми значениями и их профилем. Зубья пил (рис. 1.33) имеют передний угол (γ), угол заострения (β), задний угол (α) и угол резания (δ). У пил для поперечного пиления (рис. 1.34) данные углы называют контурными и обозначают $\alpha_к$, $\beta_к$, $\gamma_к$, $\delta_к$. Истинные значения углов резания зубьев для поперечной распиловки определены В.И. Микулинским [172, 173]. Они отличаются от контурных углов и связаны с ними следующими соотношениями:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin\alpha_к}{\cos\varepsilon\operatorname{ctg}\varphi_2 + \sin\varepsilon\cos\alpha_к}, \qquad (1.4)$$

$$\operatorname{tg}\varepsilon = \frac{\sin\beta_к}{\sin\delta_к\operatorname{ctg}\varphi_2 + \sin\alpha_к\operatorname{ctg}\varphi_1}, \qquad (1.5)$$

где α – угол заострения, град.; φ_2 – линейный угол боковой заточки по задней грани зуба, град.; ε – угол наклона главной кромки от боковой стенки пропила, град;

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\sin\beta_к}{\cos\delta_к\sin\varepsilon + \cos\varepsilon\operatorname{ctg}\varphi_1}. \qquad (1.6)$$

φ_1 – линейный угол боковой заточки по передней грани зуба, град.; δ – угол резания, град.

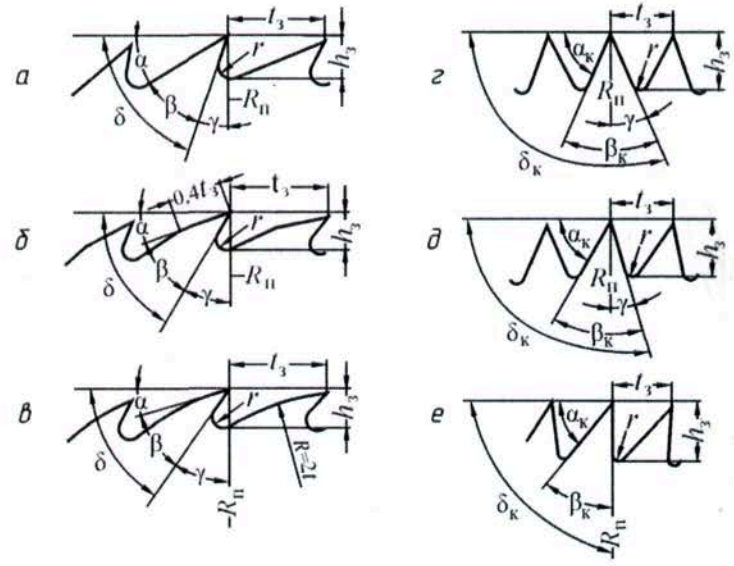


Рис. 1.33. Профили зубьев круглых пил:
а – с прямолинейной задней гранью; *б* – с ломаной задней гранью;
в – с криволинейной задней гранью; *г* – симметричный профиль;
д, *е* – несимметричный профиль; α – задний угол; β – угол заострения;
γ – передний угол; $\alpha_к$, $\beta_к$ – контурные задний угол и угол заострения;
$t_з$ – шаг зубьев; $h_з$ – высота зубьев; $R_п$ – радиус пилы

Пилы для продольной распиловки древесины [124, 282] имеют положительное значение переднего угла γ, а угол резания $\delta < 90°$ (см. рис. 1.33, *а*, *б*, *в*). У пил для поперечной распиловки контурный передний угол $\gamma_к$ может быть равен нулю и иметь отрицательное значение, а контурный угол резания $\delta_к > 90°$ (рис. 1.34, *б*).

Из большого разнообразия конструкций дисковых пил наибольший интерес для нас представляют профили и угловые параметры зубьев пил для поперечной распиловки (см. рис. 1.33, *г*, *д*, *е*), так как при срезании кустарника пиление осуществляется преимущественно поперек волокон древесно-кустарниковой растительности. Зуб такой пилы имеет переднюю *савс'* и заднюю *еаве'* грани (рис. 1.34).

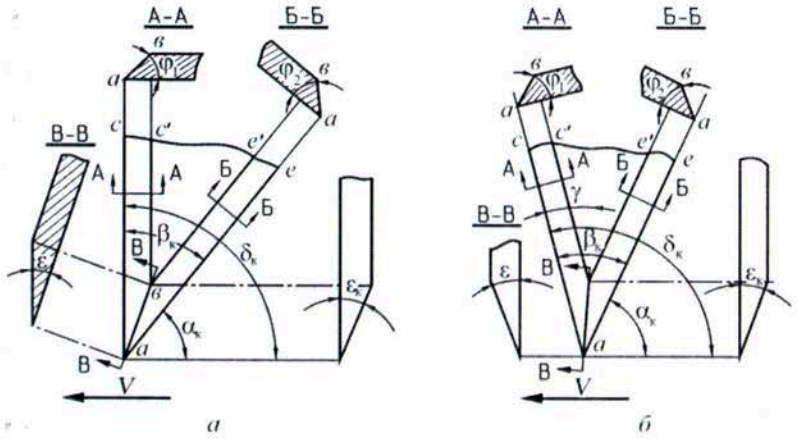


Рис. 1.34. Угловые характеристики зубьев пил для поперечной распиловки древесины:
а – исполнение 1; *б* – исполнение 2;
$\alpha_к$, $\beta_к$, $\gamma_к$, $\delta_к$ – соответственно контурные углы: задний, заострения, передний и резания;
φ_1, φ_2 – линейные углы боковой заточки по передней и задней граням зуба, град;
ε – угол наклона главной кромки от боковой стенки пропила

Эти грани, пересекаясь, дают переднюю режущую кромку *ав*. Грани зуба *с'ве'* и *сае* в пересечении с передней гранью образуют боковые режущие кромки *са* и *с'в*. Впадина между соседними зубьями является местом скопления опилок при перемещении их между стенками пропила.

Контурные угол резания $\delta_к$ и задний угол $\alpha_к$ соответственно равны:

$$\delta_к = 90 + \gamma, \tag{1.7}$$

$$\alpha_к = 90 - (\beta_к - \gamma_к). \tag{1.8}$$

Кроме перечисленных угловых параметров зубьев пил важнейшей характеристикой являются высота ($h_з$) и шаг ($t_з$) зубьев [265]:

$$h_з = (0{,}15...0{,}2)\, t_з, \tag{1.9}$$

$$t_з = D_п \sin(180^\circ / z). \tag{1.10}$$

Данные параметры необходимы для выбора конструктивных характеристик круглых пил, а также для проведения заточных работ.

Центральным научно-исследовательским институтом механической обработки древесины (ЦНИИМОД) для поперечной распиловки рекомендовано два исполнения зубьев [70, 176], угловые значения которых, в зависимости от породы древесины, представлены в табл. 1.9. На основании исследований ученых данного института разработан ГОСТ 980–80.

Исходя из особенностей процесса резания древесно-кустарниковой растительности дисковыми пилами наиболее предпочтительна поперечная распиловка древесины пилами типа 2 исполнения 1 (см. рис. 1.34, *а*) с рекомендуемыми в табл. 1.9 угловыми параметрами.

Таблица 1.9

Профиль и угловые параметры зубьев дисковых пил

Порода древесины	Профиль зубьев по ГОСТ 980–80		Угловые параметры, град.			
	Тип	Исполнение	Передний угол γ	Угол заострения $\beta_к$	Задний угол $\alpha_к$	Угол наклона передних и задних граней $\varphi_{1,2}$
Продольная распиловка						
Хвойная	1	1	35	40	15	90
		2	20	40	30	90
Твердая лиственная		1	25	50	15	90
		2	10	50	30	90
Поперечная распиловка						
Хвойная	2	1	0	40	50	45
		2	–25	50	65	45
Твердая лиственная		1	0	50	40	55
		2	–25	60	55	55
Примечание: при поперечной распиловке бревен угол наклона передней и задней граней должен быть равен 65°.						

Однако существует ряд особенностей пиления исследуемой нами древесины: различные технологические режимы работы кусторезов, угол отклонения кустарника от вертикали, влажность древесины, разнообразие срезаемых пород и диаметра растительности, смена времен года и т. п. Поэтому для обоснования параметров дисковых пил и режимов работы кусторезов необходимо провести теоретические и экспериментальные исследования, касающиеся оптимизации процесса пиления в соответствующих условиях.

1.3.3. Технические средства, применяемые для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности

Сбор срезанной вдоль открытых оросительных каналов древесно-кустарниковой растительности в кучи для последующей утилизации, без повреждения поверхностей берм и

откосов канала, является одной из самых сложных и трудоемких работ [20]. Выполнение данной работы осложняется еще и тем, что древесина в срезанной растительной массе имеет разнообразные формы и размеры, т. е. необходимо собирать как крупные стволы кустарника и мелколесья, так и более мелкие древесные остатки.

При этом основное требование ко всем машинам для сбора срезанной древесной растительности заключается в том, чтобы в кучи попадало минимальное количество грунта [75, 145]. Это позволяет утилизировать древесину полностью, без ее дополнительного перетряхивания.

После срезки кустарник располагается на берме, затрудняя доступ каналоочистительных машин, попадает в русло канала, располагаясь на откосах или (если канал находится в эксплуатационном режиме) плавает на поверхности воды. Это приводит к возникновению целого ряда негативных факторов: увеличивается сопротивление и уменьшается скорость течения воды; снижается водопропускная способность каналов; возникает деформация каналов из-за подпоров; происходит забивка перегораживающих сооружений и водозаборов насосных станций растительной массой; снижается работоспособность каналов и возрастает вероятность возникновения технологических отказов [7]. Поэтому очищать канал от древесной растительности необходимо сразу же после ее срезки и в сжатые сроки, что требует применения эффективных и высокопроизводительных машин.

Однако, как правило, данные работы осуществляют с привлечением ручного труда и универсальной строительной техники (бульдозеры, автогрейдеры, краны, грейферы), что не только неэффективно, но и затягивает очистку канала на достаточно длительное время.

При этом для проведения культуртехнических работ и рубок ухода применяют различные машины, предназначенные для сбора срезанной древесной растительности, которые вполне могут быть использованы и для очистки каналов.

1.3.3.1. Классификация технических средств, применяемых для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности

Научный анализ и обоснование выбора оптимального варианта системы и конструкции машин возможны только на основе составления систематизированной классификации существующей техники по эксплуатационно-техническим показателям и конструктивному исполнению.

В предлагаемой нами классификации (рис. 1.35) технические средства разделяются по ряду функциональных и конструктивных признаков, среди которых: назначение, способ выполнения работ, тип навески рабочего оборудования на базовую машину, характер действия и конструкция рабочего органа.

По назначению эти технические средства делятся на универсальные и специализированные.

Универсальные машины (бульдозеры, грейферы) получили широкое распространение при очистке территории от выкорчеванной или срезанной древесины. Однако производительность и качество работ этих машин остается на достаточно низком уровне. Поэтому машины данной группы эффективней всего применять при выполнении небольшого объема работ.

Специализированные машины чаще всего используются в лесном хозяйстве и при расчистке земель от зарослей кустарника и мелколесья. Данные машины обладают высокой производительностью, вследствие чего наиболее целесообразно применять их при очистке больших территорий со значительным объемом древесины.

По характеру действия рабочие органы подразделяют на пассивные и активные.

К *пассивным* относят рабочие органы, действующие от тяговых усилий машин при поступательном движении последних; к *активным* – органы, работающие с приводом от тракторного двигателя через механизм отбора мощности или же приводимые в действие гидроприводом.

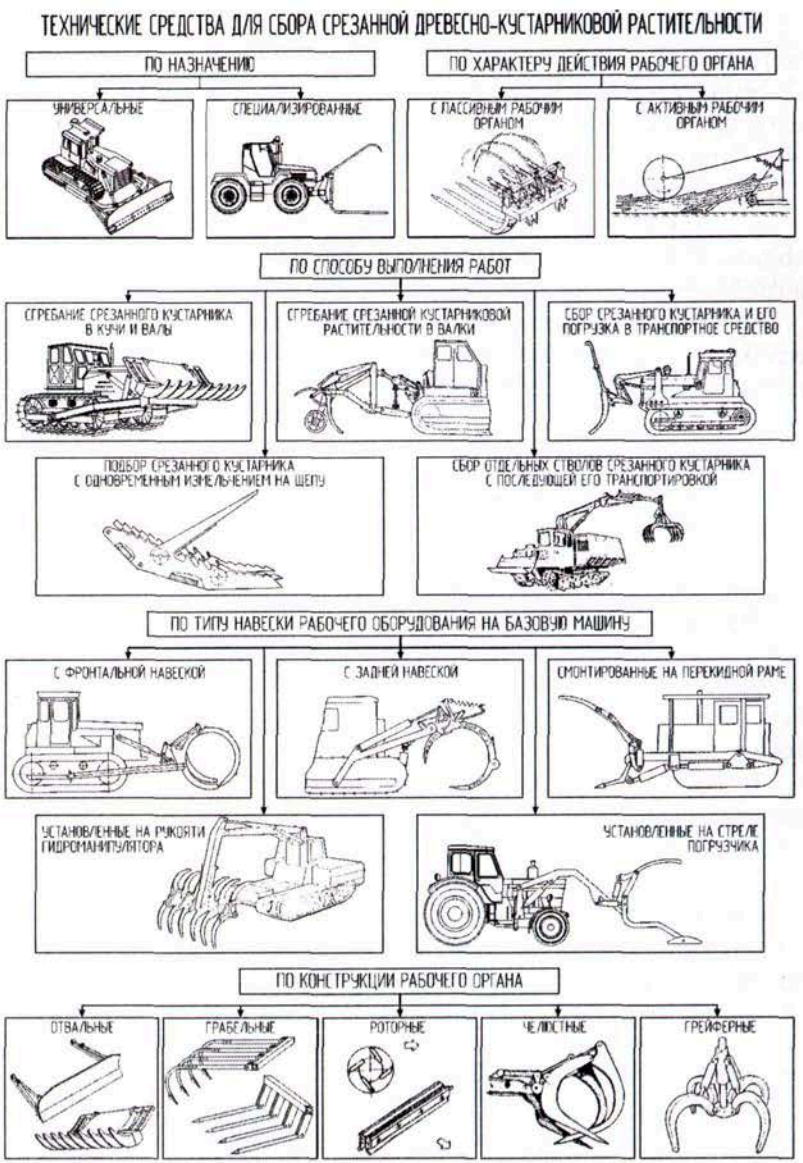


Рис. 1.35. Классификация технических средств для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности

Активными рабочими органами оснащаются в основном подборщики-измельчители ветвей и сучьев, применяемые в садоводстве при сборе продуктов обрезки [48, 228]. Однако машины подобного типа практически не используют для сбора срезанного кустарника и мелколесья в основном из-за сложности их конструкции и повышенных энергозатрат.

По конструктивному исполнению рабочие органы можно подразделить на отвальные, грабельные, роторные, челюстные и грейферные [267].

Отвальные и *грабельные* рабочие органы подбирающего и сгребающего типа нашли широкое применение при сборе срезанной и выкорчеванной древесной растительности в валы и кучи.

Роторными рабочими органами оснащают подборщики непрерывного действия.

Челюстные и *грейферные* рабочие органы используют в основном при сборе отдельных срезанных деревьев и кустарников, а также для перетряхивания древесно-кустарниковой массы и формирования из нее куч для последующего сжигания.

В современных машинах можно выделить следующие типы навески рабочего оборудования на базовую машину: с фронтальной навеской, с задней навеской, смонтированные на перекидной раме, установленные на рукояти гидроманипулятора или на стреле погрузчика.

В зависимости от конструкции рабочего органа и способа его навески на базовой машине выполнение работ может осуществляться следующими способами: сгребанием срезанного кустарника в валы или кучи; сгребанием срезанной кустарниковой растительности в валки; сбором срезанного кустарника и его погрузкой в транспортное средство; подбором срезанного кустарника с одновременным измельчением на щепу; сбором отдельных стволов срезанного кустарника с последующей его транспортировкой.

Специфика выполняемых на каналах работ обусловлена тем, что необходимо как очищать от срезанной растительности поверхность бермы, так и извлекать отдельные срезанные стволы из русла канала. Вполне очевидно, что применение одного рабочего органа для выполнения столь разных технологических операций малоэффективно или вовсе невозможно. Например, для извлечения из канала срезанной растительности

наиболее подходит захват грейферного типа, однако использовать его для очистки бермы нецелесообразно. Вследствие этого машина для очистки канала от срезанного кустарника и мелколесья должна быть снабжена двумя рабочими органами – один для сбора растительности на берме; второй для извлечения из русла канала отдельных срезанных стволов.

Таким образом, при дальнейшем анализе машин для сбора срезанной древесной растительности на каналах отдельно будут рассматриваться машины для очистки поверхности бермы и грейферные механизмы для удаления кустарника из русла канала.

1.3.3.2. Обзор машин, используемых для очистки площадей от срезанной древесной растительности

Рассмотрим существующие конструкции машин, применяемых для расчистки площадей от срезанного кустарника и мелколесья, с учетом возможности их использования на бермах каналов.

При отсутствии специальных технических средств сгребание срезанной древесной массы в валы и кучи можно осуществлять при помощи бульдозера (рис. 1.36) [10, 76, 91, 164, 229, 237].

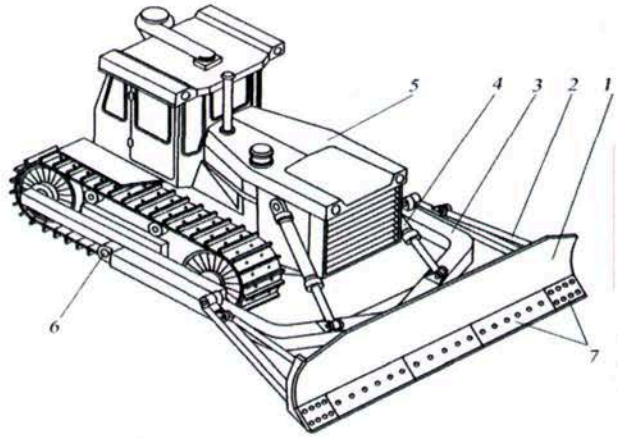


Рис. 1.36. Гусеничный бульдозер с поворотным отвалом:
1 – отвал; *2* – откос; *3* – рама; *4* – гидроцилиндр;
5 – трактор; *6* – шарнир; *7* – ножи

Бульдозером называют оборудование в виде отвала, навешиваемое впереди колесных или гусеничных тракторов. Рабочим органом бульдозера является отвал *1*, который представляет собой стальной вогнутый лист толщиной 10 мм и более, при этом в нижней части отвала *1* посредством болтов закреплены стальные ножи *7*. Отвал *1* устанавливают спереди на раме *3*, которая в свою очередь шарнирно закреплена на базовом тракторе *5*. Для поднятия и опускания рамы бульдозера служат гидроцилиндры *4*.

При сгребании срезанного кустарника используют бульдозеры как с неповоротным, так и с поворотным отвалом (универсальные). При использовании универсального бульдозера его отвал устанавливают под прямым углом к линии движения трактора, что позволяет увеличить ширину очищаемой полосы.

Процесс очистки участка от срезанной растительности протекает следующим образом. Рабочее оборудование бульдозера опускают до контакта ножей отвала с поверхностью грунта. Затем, по мере продвижения базового трактора по очищаемому участку, отвалом срезанный древостой сгребается в валы или кучи. При этом в процессе сгребания ножами срезается верхний слой почвы и корчуются отдельные пни, в результате чего в валы и кучи попадает огромное количество грунта, что делает невозможным дальнейшее хозяйственное использование удаляемой древесины. Уничтожение же древесно-грунтовых куч и валов методом сжигания необходимо проводить в несколько этапов, что влечет за собой большие материальные затраты.

Таким образом, применять бульдозеры для очистки берм канала от срезанного кустарника и мелколесья нецелесообразно, так как корчевка пней приводит к повреждению поверхностей берм и обрушению откосов, а удаляемая древесина не находит рационального использования.

Для очистки территории от срезанной или выкорчеванной древесной растительности широко применяются **корчеватели-собиратели**: ЛД-9, МП-2Б, МП-7А, МП-2А (Д-695А),

ДП-8А (Д-608А), ДП-25 (Д-513А) [61, 73, 76–78, 91, 155, 158, 160, 163, 168, 214, 229, 231, 242, 261, 268, 280, 283, 289]. Корчеватели-собиратели являются навесным оборудованием к гусеничным тракторам с передней или задней навеской и поворотным отвалом [77]. Однако при сгребании древесины используют только корчеватели-собиратели с навеской рабочего органа впереди базового трактора (рис. 1.37).

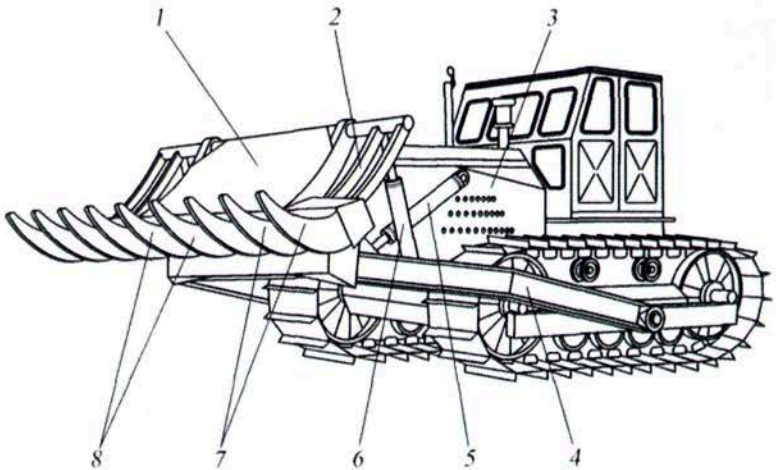


Рис 1.37. Корчеватель-собиратель МП-2А (Д695А):
1 – корчующий отвал; *2* – съемные уширители; *3* – трактор;
4 – толкающая рама; *5* – гидроцилиндр подъема толкающей рамы;
6 – гидроцилиндр поворота корчующего отвала;
7 – дополнительные зубья (клыки); *8* – зубья (клыки) корчевателя

Корчеватель-собиратель представляет собой переоборудованный корчеватель. Основными узлами корчевателя являются корчующий отвал *1* с зубьями (клыками) *8*, шарнирно установленная на тракторе *3* толкающая рама *4*, гидроцилиндры подъема толкающей рамы и поворота корчующего отвала *5* и *6*.

Для переоборудования корчевателя в корчеватель-собиратель на боковых торцах корчующего отвала *1* устанавливают съемные уширители *2*, которые фиксируют пальцами и крепят вверху к корчующему отвалу *1* болтами с каждой стороны. Съемные

уширители *2* состоят из сварных рам, в нижних балках которых закрепляют клиньями по два дополнительных зуба (клыка) *8*. Таким образом, число зубьев у корчевателя-собирателя может быть увеличено до 6–12 шт. [146].

Перед началом сгребания срезанной растительности оборудование корчевателя-собирателя опускают в рабочее положение, при этом зубья корчевателя частично заглубляются в грунт. Затем движением трактора вперед производят очистку участка. Древесную массу сгребают в кучи по радиальной схеме, а в валы – по челночной. В процессе сгребания зубья корчевателя корчуют имеющиеся на участке пни, в результате чего вместе с древесиной в валы и кучи собирается большое количество грунта.

Таким образом, применение корчевателей-собирателей для очистки берм влечет за собой неблагоприятные последствия, аналогичные тем, которые возникают при использовании бульдозеров, за тем единственным исключением, что удаляемая древесина загрязняется гораздо меньшим количеством грунта. Кроме того, оборудование корчевателей-собирателей имеет большую массу и металлоемкость, а также агрегатируется с гусеничными тракторами большой мощности, что требует значительных затрат энергии при сборе срезанного кустарника и мелколесья.

Расчистку участков от срезанной растительности также осуществляют с использованием **кустарниковых грабель** различных конструкций. В зависимости от способа агрегатирования с базовым трактором выделяют кустарниковые грабли с фронтальной или задней навеской [50, 73, 75, 91].

Среди граблей с задней навеской наибольшее распространение получили не заглубляющиеся в грунт кустарниковые грабли К-3 (рис. 1.38), имеющие 11 зубьев и ширину захвата 5 м [73, 77, 89, 155, 164, 168, 188, 213, 235, 260]. Они навешиваются на гусеничные тракторы тягового класса 60–100 кН, оборудованные навесной гидросистемой [260]. При этом на участках, заросших мелким кустарником, грабли типа К-3 целесообразней всего применять в агрегате с колесным трактором К-701 [105]. Производительность граблей при сгребании кустарника в валы или кучи за час чистой работы составляет 0,21 га [260].

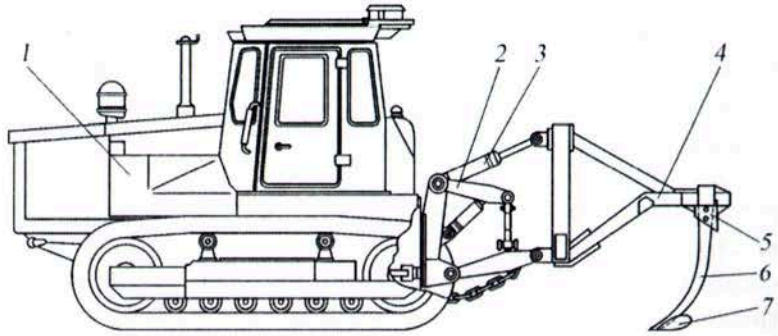


Рис. 1.38. Кустарниковые грабли К-3: *1* – базовый трактор; *2* – задняя система навески; *3* – гидроцилиндр; *4* – сварная рама; *5* – кронштейн; *6* – зубья; *7* – башмаки

Навесные кустарниковые грабли К-3 включают в себя сварную раму *4* с кронштейнами *5* для монтажа одиннадцати зубьев *6*. Зубья *6* закреплены посредством пальцев и предохранителей, а для предотвращения их заглубления в почву на двух крайних зубьях *6* установлены башмаки *7*. Монтируют грабли на механизме задней навески *2* трактора *1* при помощи центрального и двух нижних пальцев. Подъем и опускание граблей производят гидроцилиндром *3*.

Для сгребания срезанной растительности грабли переводят в рабочее положение. В процессе продвижения трактора вперед зубья захватывают срезанную древесную массу и волоком перемещают ее к месту разгрузки. Собранную древесину с граблей освобождают на ходу трактора, приподнимая грабли гидроцилиндром.

Основной недостаток граблей К-3 заключается в том, что в процессе сгребания базовый трактор своей ходовой частью перемещается непосредственно по срезанной растительности, ломая и вдавливая ее в грунт, в результате чего сгребаемая древесная масса загрязняется грунтом, а также образуется множество более мелких древесных остатков, которые, оставаясь на очищаемой территории, захламляют ее. Кроме того, волочение сгребаемой растительности по поверхности очищаемого участка также приводит к загрязнению ее грунтом.

Надо отметить, что данные недостатки свойственны всем техническим средствам, имеющим подобный принцип работы.

Фронтальные грабли МУК-4, ГКНБ-3,5, ГТК-2,5, ГТК-3,3 являются навесными орудиями к универсальной раме тракторов класса 30 и 60 кН [73, 75, 76, 235]. Отличия различных марок кустарниковых граблей с фронтальной навеской заключаются в форме, толщине и количестве зубьев, а также в расстоянии между соседними зубьями [73, 75]. Как правило, грабли данного типа имеют от 5 до 13 зубьев, расстояние между которыми составляет 30–35 см [76, 146].

Рассмотрим конструкцию кустарниковых грабель ГТК-2,5 (рис. 1.39).

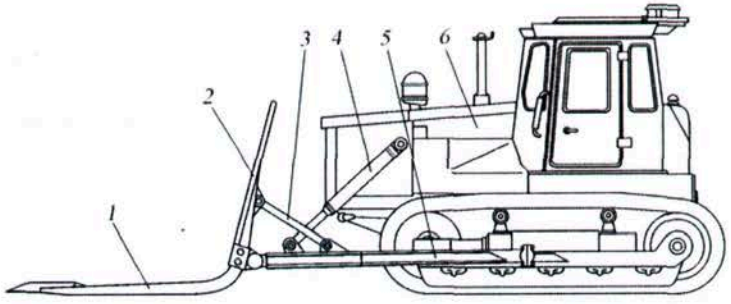


Рис. 1.39. Грабли кустарниковые ГКТ-2,5:
1 – съемные зубья; *2* – решетчатый отвал;
3 – система боковых распорок; *4* – гидроцилиндр подъема толкающей рамы; *5* – толкающая рама; *6* – трактор

Грабли ГТК-2,5 представляют собой решетчатый отвал *2*, к которому крепятся съемные зубья *1*. Стальные массивные зубья *1* находятся в гнездах отвала *2* и закрепляются с помощью клиньев. Съемные зубья *1* имеют коробчатое сечение и снабжены по концам клиновидными наконечниками. Решетчатый отвал *2* соединяется с толкающей рамой *5* базового трактора *6* шаровым шарниром и системой боковых распорок *3*. Поднятие и опускание граблей осуществляют с помощью гидроцилиндра *4*.

При работе грабли опускаются вниз и зубья прочесывают верхний слой почвы на глубину до 5–15 см [91]. Лежащую на поверхности древесную растительность захватывают зубьями и волоком перемещают по полю, при этом она накапливается впереди отвала. При сгребании вместе с древесиной перемещается и некоторая часть верхнего слоя почвы, засоряя кучи. Во многом это зависит от заглубления зубьев и объема перемещаемой древесной массы. Для регулирования уровня заглубления зубьев некоторые конструкции кустарниковых грабель оборудуют специальными лыжами, которые копируют рельеф почвы. Освобождают грабли от собранной растительности путем перемещения трактора задним ходом.

Таким образом, использование кустарниковых граблей с фронтальной навеской также не позволяет предотвратить засорение удаляемой древесины грунтом.

Если технологией производства работ предусматривается вывоз удаляемой растительности транспортными средствами, то очистку территории от срезанного кустарника и мелколесья целесообразней всего проводить **собирателями-погрузчиками** К-34, К-70, К-70Б, МП-15 [99, 188].

Рабочий орган собирателя-погрузчика К-70 (рис. 1.40) смонтирован на стреле *3*, которая шарнирно закрепена на стойках *2*, жестко зафиксированных на раме базового трактора *1*.

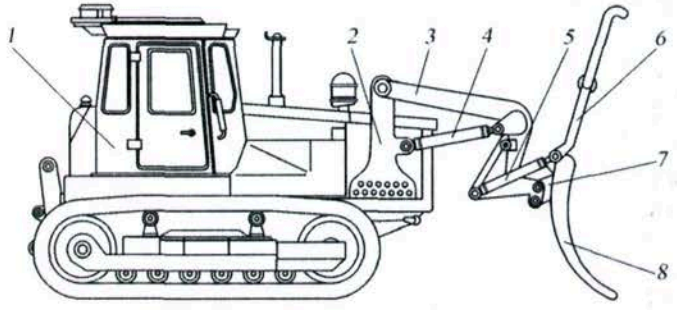


Рис. 1.40. Собиратель-погрузчик К-70:
1 – трактор; *2* – стойки; *3* – стрела;
4 – гидроцилиндр подъема стрелы;
5 – гидроцилиндр поворота захвата;
6 – захват; *7* – брус; *8* – собирающие зубья

Конструкция рабочего органа собирателя-погрузчика представляет собой брус *7* с собирающими зубьями *8*, в верхней части которого шарнирно закреплен захват *6* с приводом от гидроцилиндра *5*. Для подъема и опускания стрелы *3* с рабочим органом служит гидроцилиндр *4*.

Перед очисткой территории от срезанного древостоя рабочий орган собирателя-погрузчика опускают в нижнее положение, а захват переводят в верхнее положение. За счет перемещения базового трактора зубья сгребают срезанную растительность в вал. После накопления перед зубьями достаточного количества древесины опускают захват, который надежно фиксирует собранную растительность при ее транспортировке к месту погрузки в транспортное средство.

При использовании собирателя-погрузчика марки МП-15 степень чистоты подбора составляет 97 % при засоренности собранной растительности грунтом не более 18 % [188].

Преимущества собирателей-погрузчиков заключаются в том, что благодаря навеске рабочего органа на стрелу погрузчика с их помощью можно формировать более высокие и компактные кучи, а также перетряхивать собранную древесную массу для очистки ее от грунта.

Однако использование собирателей-погрузчиков по-прежнему не позволяет свести к минимуму загрязнение удаляемой древесины грунтом.

Расчистку площадей от срезанной древесной растительности можно также осуществлять с использованием **кустособирателей** (ТГБ-3,6) и **подборщиков сучьев** (ПСГ-3, ПС-5, ПС-2,4, ПС-2Г) [76, 78, 160, 164, 283].

Кустособиратели по конструкции аналогичны кустарниковым граблям с фронтальной навеской. Только рабочими органами кустособирателей являются не зубья, а корнерезы. Кроме того, к толкающей раме кустособирателя крепятся два полозка, которые, опираясь на поверхность почвы, поддерживают раму на определенной высоте. Подвеска полозка допускает возможность регулировки рамы по высоте, что позволяет проводить необходимое заглубление корнерезов.

По сравнению с корчевателями-собирателями кустособиратели сгребают в валы и кучи примерно в 1,5 раза меньше грунтовой массы, так как зубья корчевателей опускаются значительно ниже поверхности земли и срезают большой слой дернины вместе с землей [78].

Подборщики сучьев предназначены для сбора в валы и кучи порубочных остатков и неликвидной древесины на площадях сплошной рубки.

Подборщик сучьев ПС-5 состоит из рамы, которая крепится на щите трактора, надрамника, собирающих зубьев, амортизационных пластинчатых пружин и соединительных рычагов. Восемь собирающих зубьев образуют рабочий орган грабельного типа с шириной захвата 2,4 м. Собирающие зубья имеют профиль в виде логарифмической спирали. Благодаря этой форме при движении подборщика по вырубке собираемая древесина скользит вверх по внутренней образующей зуба, а затем под действием силы тяжести свертывается в пучок и опускается, уплотняясь до коэффициента полнодревесности 0,3...0,4 [160]. При соприкосновении с пнями каждый зуб может отклоняться в сторону благодаря свободной посадке на оси, либо перейти пень, преодолевая сопротивление амортизационной пружины.

Все рассмотренные выше технические средства снабжены отвальными или грабельными рабочими органами, принцип действия которых основан на сгребании срезанной древесины, поэтому всем им присущ один общий недостаток – значительное засорение удаляемой растительности грунтом.

Этого недостатка практически лишены рабочие органы подбирающего или захватывающего принципов действия (челюстные захваты, грейферы, подборщики). Их использование для очистки берм канала позволяет минимизировать загрязнение собираемой древесины грунтом и мусором.

Для выявления оптимальных средств механизации работ по сбору срезанного древостоя на бермах канала рассмотрим принципиально разные конструкции рабочих органов подбирающего и захватывающего принципов действия.

Сбор срезанного кустарника и мелколесья можно производить с помощью челюстных захватов, имеющих одну или две подвижных челюсти. Рассмотрим конструкцию данных рабочих органов на примере **толкателя с челюстным захватом** (рис. 1.41), основным назначением которого является перемещение лесоматериалов [49].

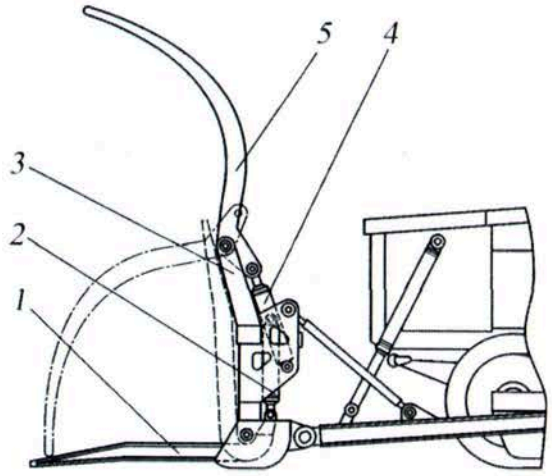


Рис. 1.41. Рабочее оборудование толкателя с челюстным захватом: *1* – нижняя челюсть; *2* – гидроцилиндр привода нижней челюсти; *3* – корпус толкателя; *4* – гидроцилиндр привода верхней челюсти; *5* – верхняя челюсть

Толкатель состоит из нижней и верхней челюстей *1* и *5*, шарнирно закрепленных на корпусе толкателя *3*. Для независимого привода нижней и верхней челюстей *1* и *5* на корпусе толкателя *3* шарнирно закреплены гидроцилиндры *2* и *4*.

Перед началом работы штоки гидроцилиндров *2* и *4* втягивают. При этом верхняя челюсть *5* переходит в поднятое положение, а нижняя челюсть *1* – в опущенное. При сборе стволы кустарника подбираются нижней челюстью *1* и постепенно накапливаются на ней. При полном заполнении рабочего органа срезанной растительностью выдвижением штока гидроцилиндра *4* опускают верхнюю челюсть *5*, которая надежно удерживает собранную растительность при транспортировке ее к месту выгрузки.

Достоинством толкателя с челюстным захватом является возможность осуществлять уплотнение собранной древесно-кустарниковой массы за счет поднятия нижней челюсти *1*, что позволяет в свою очередь формировать из собранной древесины более плотные кучи. Недостатком является то, что рабочий орган быстро заполняется древесно-кустарниковой массой, имеющей к тому же низкую плотность, вследствие чего требуются частые его разгрузки, что ведет к значительному снижению производительности.

В садоводстве для очистки междурядий от продуктов обрезки (ветвей, сучьев) используют **подборщики непрерывного действия** с активным рабочим органом [48, 228].

Подборщик древесных отходов садоводства и виноградарства (рис. 1.42) содержит раму *4*, на которой смонтирован ротор *6* с рабочими органами и боковины *5*. Причем перед ротором *6* на раме *4* установлен валец *1*, выполненный в виде однополостного гиперболоида. Валец *1* установлен на рычаге *2*, который соединен пружиной *3* с рамой *4*, а оси вращения вальца *1* и ротора *6* расположены параллельно.

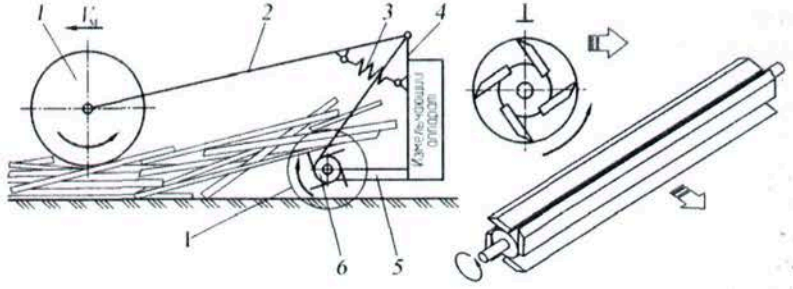


Рис. 1.42. Подборщик древесных отходов садоводства и виноградарства: *1* – валец; *2* – рычаг; *3* – пружина; *4* – рама; *5* – боковины; *6* – ротор с рабочими органами

При сборе продуктов обрезки подборщик перемещают в междурядье сада. При этом базовая машина (трактор) пропускает уложенный обрезчиками валок под себя между колесами

и надвигает на него прикрепленное к задней навеске подбирающее устройство. Валец *1* прижимает подбираемые сучья и ветви к поверхности междурядья, тем самым фиксируя установленную ориентацию ветвей в валке вдоль его оси, и не позволяет им разворачиваться и отбрасываться при контакте с вращающимся ротором *6*. Использование подборщика предусматривается в комплекте с измельчающим аппаратом, при этом совмещение процессов сбора и переработки древесных отходов позволяет сократить сроки выполнения работ.

Теоретически такой рабочий орган можно было бы применить и для сбора срезанного кустарника, если бы не два достаточно серьезных недостатка. Во-первых, срезанная древесная растительность должна быть предварительно уложена в валок, в котором стволы кустарника должны быть сориентированы определенным образом, что само по себе является весьма сложной задачей. А во-вторых, после срезки древостоя на очищаемой территории остается огромное количество пней, которые являются непреодолимыми препятствиями для подбирающего ротора.

П.М. Мазуркин [46] предложил достаточно интересную конструкцию устройства для подборки лесосечных отходов (рис. 1.43), которая также обеспечивает измельчение подбираемой древесины.

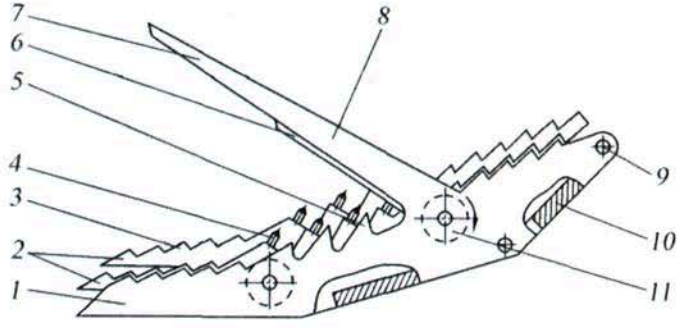


Рис. 1.43. Устройство для подборки лесосечных отходов:
1 – гребенчатые зубья; *2* – клавиши; *3* – зубцы;
4 – многорезцовые головки; *5* – зацепы; *6* – контрножи;
7 – поперечина; *8* – ограждающие зубья;
9 – монтажные отверстия; *10* – рама; *11* – валы с кривошипами

Устройство содержит раму *10* с гребенчатыми зубьями *1*, между которыми закреплены валы с кривошипами *11*, на которых установлены клавиши *2*. Гребенчатые зубья *1* в верхней части соединены с ограждающими зубьями *8*, которые по концам соединены общей поперечиной *7*, образуя тем самым окна, по бокам которых закреплены контрножи *6*. На гребенчатых зубьях выполнены зацепы *5*, а на клавишах *2* закреплены многорезцовые головки *4* с конусообразными резцами. По концам клавиш *2* и гребенчатых зубьев *1* выполнены зубцы *3*. Для монтажа оборудования к базовой машине в раме *10* выполнены монтажные отверстия *9*.

Процесс работы данного устройства протекает следующим образом.

Вначале один из кривошипных валов *11* получает принудительное вращение, которое через клавиши *2* передается другому кривошипному валу, в результате чего клавиши *2* совершают плоскопараллельное вращательное движение.

При перемещении устройства по очищаемому участку древесные отходы подгребаются гребенчатыми зубьями *1* и подхватываются передними частями клавиш *2*. Далее отходы, перекладываясь от зубцов *3* к следующим зубцам, поступают в зону измельчения, где при помощи зацепов *5*, многорезцовых головок *4* и контрножей *6* происходит измельчение подобранной древесины на более мелкие куски.

Однако для работы устройства на базовую машину требуется установить дополнительное оборудование, которое должно содержать транспортер подачи измельченной древесины и бункер для ее накопления. Конструкция данного устройства вследствие значительной металлоемкости имеет большую массу, а процесс одновременного сбора и измельчения древесины характеризуется повышенной энергоемкостью. Кроме того, применение подобного устройства возможно только на раскорчеванной территории, использование его для очистки бермы канала недопустимо.

Как показал анализ теоретического материала [20, 43, 44, 51, 105, 294], для очистки берм каналов от срезанного кустар-

ника и мелколесья наиболее эффективно использовать подборщики порубочных остатков (рис. 1.44), которые широко применяют в лесном хозяйстве и агролесомелиорации для сбора древесных остатков в виде ветвей и деревьев.



Рис. 1.44. Подборщик порубочных остатков
на сборе крупномерной древесины

В настоящее время существуют разнообразные конструкции подборщиков порубочных остатков, появление которых было обусловлено решением различных технических задач. Однако при этом во всех конструкциях подборщиков можно выделить общие элементы.

Подборщик порубочных остатков (рис. 1.45) включает раму *1* с системой навески *2*, на которой установлены подбирающие зубья *5*, имеющие прямолинейную нижнюю часть, при этом в верхней части рамы *1* шарнирно закреплена прижимная гребенка *4* с приводом от гидроцилиндра *3*.

Как правило, подборщики агрегатируются с колесными тракторами малой и средней мощности, при этом, в зависимости от системы навески *2*, их можно монтировать на универсальной раме, навешивать на механизм задней навески, а также использовать в качестве сменного рабочего органа для погрузчиков.

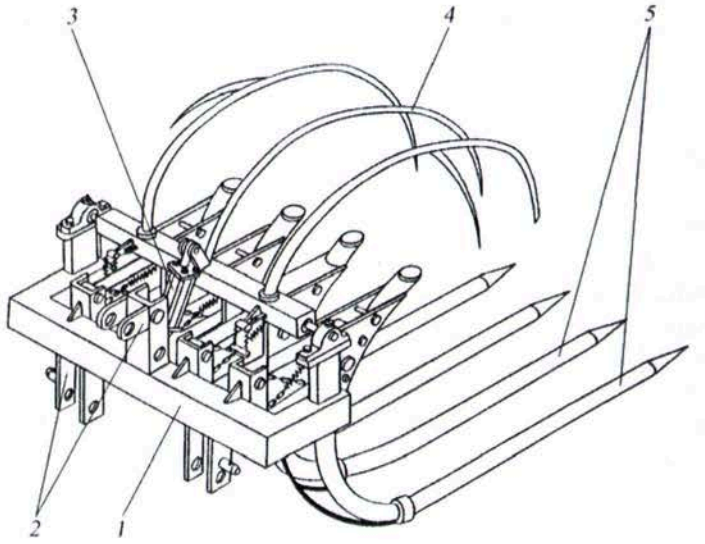


Рис. 1.45. Конструктивная схема подборщика
порубочных остатков: *1* – рама; *2* – система навески;
3 – гидроцилиндр; *4* – прижимная гребенка;
5 – подбирающие зубья

Перед началом очистки территории от порубочных остатков шток гидроцилиндра *3* втягивают, в результате чего прижимная гребенка *4* поворачивается и занимает верхнее положение, которое способствует забору большего объема древесной массы. Затем подборщик с опущенными подбирающими зубьями *5* перемещается по очищаемому участку и по мере его продвижения на прямолинейной части зубьев *5* накапливаются порубочные остатки. При этом во время набора порубочных остатков прямолинейная часть подбирающих зубьев *5* наклонена под небольшим углом к очищаемой поверхности, что позволяет снизить вероятность контакта собираемой древесины с грунтом. После набора достаточного количества порубочных остатков при помощи гидроцилиндра *3* закрывается прижимная гребенка *4*, которая служит для надежного удержания остатков при их транспортировке к месту выгрузки.

Но и эта конструкция подборщика также не лишена недостатков. Во-первых, из-за того, что для привода каждого подбирающего зуба используется отдельный гидроцилиндр, рабочий орган имеет большую металлоемкость и массу, соответственно и стоимость такого подборщика высока. Во-вторых, для независимого преодоления зубьями препятствий требуется сложная система управления гидроцилиндрами, обеспечивающими привод зубьев.

Несовершенство существующих конструкций машин, которые потенциально могут быть использованы для сбора срезанного кустарника и мелколесья на бермах каналов, оставляет широкое поле деятельности для разработки более эффективных и производительных технических средств.

1.3.3.3. Основные параметры подборщиков

К числу основных параметров подборщиков относят максимальную ширину захвата.

Для определения ширины захвата подборщика $b_з$ можно воспользоваться достаточно простой формулой, которую предложил И.И. Мер [146] для кустарниковых грабель:

$$b_з \geq b_б + b_{зап}, \qquad (1.11)$$

где $b_б$ – ширина базовой машины, м; $b_{зап}$ – запас от края колеса (гусеницы) трактора до края рабочего органа, м, $b_{зап}$ = 0,25...0,3 м.

На процесс сбора срезанной древесины большое влияние оказывает форма подбирающих зубьев. Согласно теоретическим исследованиям Ю.В. Гуляева [99], минимизации затрат энергии на перемещение собираемой древесины по поверхности зубьев можно добиться при выполнении их внутреннего профиля в виде логарифмической спирали.

Однако использование зубьев криволинейной формы в большей степени способствует волочению собираемой растительности перед подбирающими зубьями, что влечет за собой

повышенное загрязнение древесины грунтом. При этом для подбора и накопления древесной растительности наиболее подходят прямолинейные зубья.

Исходя из этого предлагается использовать подбирающие зубья со сложным внутренним профилем. Причем, нижнюю часть зубьев следует выполнить прямолинейной, а верхнюю часть – в виде логарифмической спирали.

Полнота сбора срезанной растительности напрямую зависит от расстояния между подбирающими зубьями. Исследователи В.И. Малюков, В.И. Белоусов и А.К. Елисеев рекомендуют устанавливать зубья подборщика с шагом 0,5–0,6 м [43]. Если же по технологическим требованиям необходимо обеспечить более высокое качество очистки территории, то расстояние между смежными подбирающими зубьями необходимо уменьшить до приемлемой величины. При этом с уменьшением расстояния межу зубьями растет их число, что в свою очередь приводит к увеличению металлоемкости и массы подборщика, а также к повышению затрачиваемой мощности при перемещении рабочего органа по очищаемому участку.

Поэтому для повышения качества подборки без значительного увеличения массы подборщика предлагается в технологических щелях между подбирающими зубьями устанавливать дополнительные заборные зубья сгребающего принципа действия. При этом дополнительные заборные зубья должны копировать рельеф местности и преодолевать препятствия в виде пней.

При проектировании таких зубьев за основу следует взять конструкцию собирающих зубьев, предложенную Ю.Ф. Кичкиным [45]. Для обхода препятствий данные зубья выполнены прямыми и цилиндрическими и размещены с возможностью перемещения в цилиндрических направляющих. Кроме того, зубья расположены к поверхности почвы под углом α (рис. 1.47):

$$\alpha < \alpha_{пр} = \operatorname{arcctg} f_п - \operatorname{arctg} f_н, \qquad (1.12)$$

где $\alpha_{пр}$ – предельный угол, при достижении которого обход зубьями препятствия станет невозможным; $f_п$ и $f_н$ – соответственно коэффициенты трения скольжения зуба о пень и о направляющие.

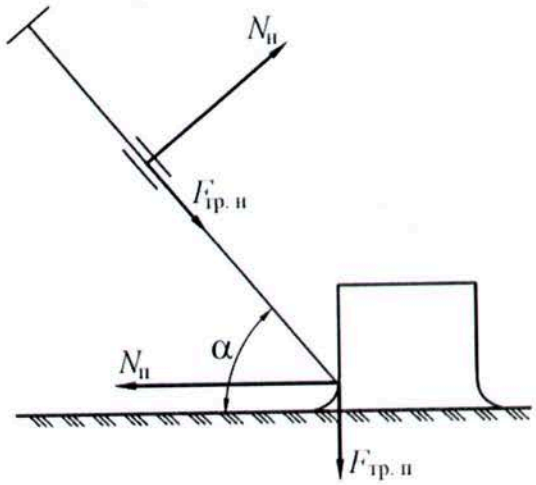


Рис. 1.47. Схема взаимодействия копирующего зуба с пнем

Анализ выражения (1.12) показывает, что значение предельного угла $\alpha_{пр}$ во многом зависит от величины коэффициента трения скольжения зуба о пень $f_п$. При этом, если между зубом и пнем вместо трения скольжения будет возникать трение качения, то при определенных условиях предельный угол $\alpha_{пр}$ будет принимать гораздо большие величины, так как коэффициенту трения качения соответствуют меньшие числовые значения в отличие от коэффициента трения скольжения. А чем больше угол установки зубьев к поверхности почвы, тем меньшие размерные характеристики будут иметь сами зубья, следовательно, это позволит уменьшить и их массу.

Важнейшим параметром, характеризующим работу любой машины, является производительность.

Для определения технической производительности подборщика $П_т$ можно воспользоваться формулой, которую часто применяют при нахождении производительности корчевателей-собирателей и кустарниковых грабель [146, 229]:

$$П_т = \frac{b_з v_р \left(1 - \frac{z_{пов} t_{пов}}{60}\right)}{10^4 z_{прох}}, \qquad (1.13)$$

где $b_з$ – ширина захвата рабочего органа, м; $v_р$ – рабочая скорость базового трактора, м/ч; $z_{пов}$ – число поворотов в конце участка за 1 ч; $t_{пов}$ – время на один поворот, мин; $z_{прох}$ – число проходов по одному месту.

Учитывая, что подборщик должен очищать берму за один проход, а повороты выполнять только для разгрузки рабочего органа, формула (1.13) примет вид:

$$П_т = \frac{b_з v_р \left(1 - \frac{z_р t_р}{60}\right)}{10\,000}, \qquad (1.14)$$

где $z_р$ – число поворотов для разгрузки рабочего органа; $t_р$ – время на разгрузку подборщика и его возврат в рабочее положение, мин.

1.3.3.4. Использование грейферных механизмов для подбора срезанной древесно-кустарниковой растительности

Грейферные механизмы широко применяют в различных отраслях народного хозяйства, при этом их используют на погрузке, выгрузке, перегрузке, уборке, экскавации и других работах. Они позволяют полностью механизировать и автоматизировать многие технологические процессы, связанные с захватом и перемещением различных грузов.

Грейферы представляют собой многозвенные механизмы, состоящие из звеньев, непосредственно взаимодействующих с захватываемым материалом или грузом (челюсти), и звеньев, передающих на челюсти усилия для внедрения в материал или для зажатия груза. Привод челюстей может быть механическим (у канатных грейферов), электромоторным, гидравлическим, электрогидравлическим и пневматическим [53, 71, 72, 111, 114, 135, 212, 269–271].

За последние десятилетия, в результате широкого внедрения гидропривода в систему управления машин, наибольшее распространение получили гидравлические грейферы [270]. Столь активное использование грейферов с гидроприводом обусловлено еще и тем, что они менее энергоемки, обладают высокой производительностью, а их конструкции более просты и компактны. Кроме того, гидравлические грейферные механизмы обладают высокой степенью универсальности, что делает их использование еще более привлекательным.

Анализ теоретических материалов [53, 71, 72, 111, 114, 135, 212, 269–271] свидетельствует об отсутствии специализированных гидравлических грейферов, предназначенных для очистки каналов от срезанной древесно-кустарниковой растительности. С целью разработки рациональной конструкции специализированного грейфера необходимо проанализировать грейферные механизмы, которые используют для аналогичных работ.

В своих исследованиях [269–271] профессор Б.А. Таубер грейферы для работы с древесиной выделял в отдельную группу, так как данные механизмы имеют ряд свойственных им особенностей, связанных с ведением процесса захвата перемещаемого груза и с конструкцией отдельных узлов.

Грейферы для работы со срезанной древесной растительностью используют в основном в лесном хозяйстве, а также при проведении культуртехнических работ по расчистке закустаренных земель. Разнообразие выполняемых работ привело к появлению грейферов различных конструкций, некоторые из которых вполне подходят для подбора срезанного кустарника и мелколесья из русла канала. Однако, учитывая универсальность грейферных механизмов, необходимо подвергнуть изучению конструкции, имеющие иное назначение, которые потенциально могли бы быть использованы для работы с древесно-кустарниковой массой.

Исходной точкой для проведения научного анализа должна послужить классификация грейферных механизмов, применяемых для манипуляций с древесиной.

1.3.3.5. Классификация гидравлических грейферов, используемых для работ с древесной растительностью

Широкое применение грейферных механизмов, а также постоянное обновление и совершенствование их конструкций вызывает необходимость уточнения классификации гидравлических грейферов, используемых для работ с древесиной.

В классификации, представленной на рис. 1.48, гидравлические грейферы, используемые для работ с древесиной, подразделяются по ряду технологических, конструктивных и кинематических признаков.

По назначению выделяют грейферы для сбора штучных бревен, срезанных деревьев (хлыстов), порубочных остатков, сортиментов, короткомерной древесины.

По конструкции грейферы, используемые для работ с древесиной, бывают с постоянной и переменной площадью охвата. У грейферов с постоянной площадью охвата зажатие бревен обеспечивается за счет захода одной челюсти за другую. Грейферы с переменной площадью зева используют в основном для подъема пачки стволов с кроной [269, 270].

По способу внедрения выделяют напорные, вибрационные и гравитационные грейферы.

Напорные грейферы имеют жесткую связь со стрелой погрузчика (крана), которая препятствует перемещению грейфера вверх при захвате груза. Вибрационные и гравитационные грейферы имеют гибкую связь со стрелой. Вибрационное воздействие на грейфер способствует лучшему внедрению челюстей под действием собственной силы тяжести. Применение вибрации наиболее эффективно при захвате бревен, так она позволяет разрушать устойчивое положение их сомкнутых рядов, причем разрушение происходит каждый раз, как только образуется непрерывное контактирование бревен. Таким образом, процесс заполнения идет весьма интенсивно даже при малом весе грейфера.

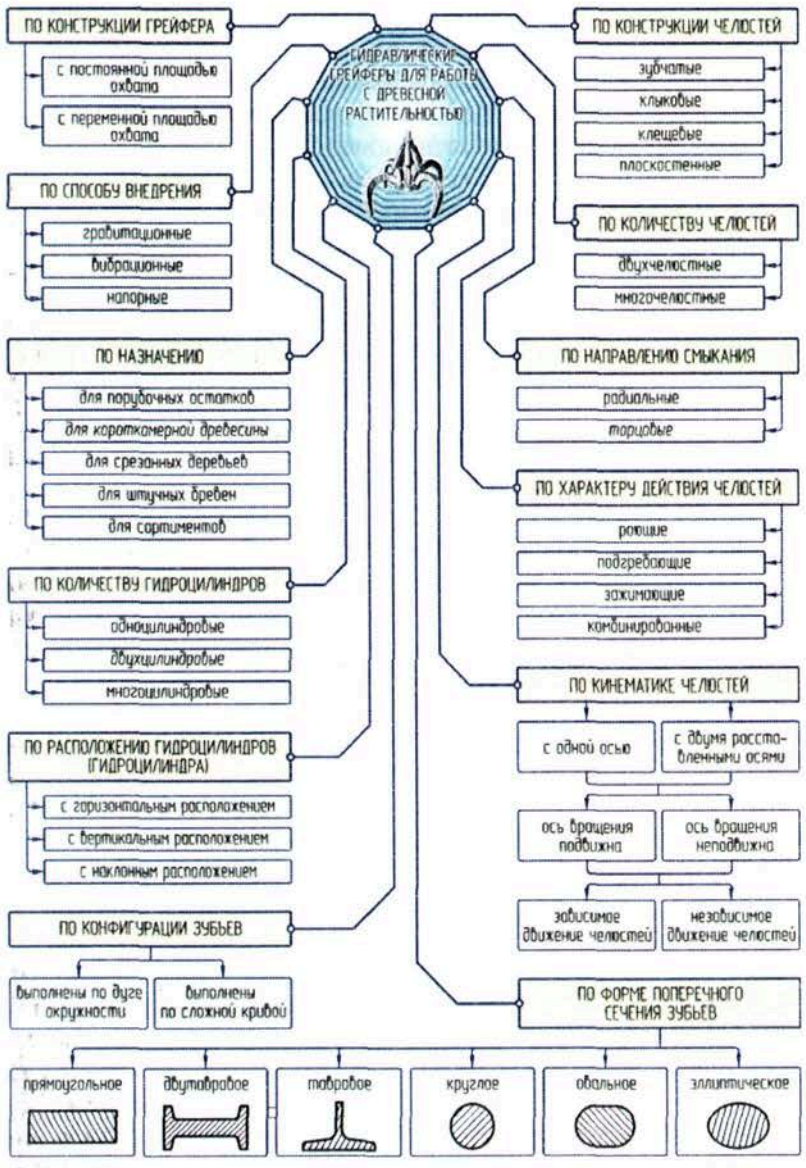


Рис. 1.48. Классификация гидравлических грейферов, используемых для работ с древесной растительностью

По конструкции челюстей грейферы делятся на зубчатые, клыковые, клещевые и плоскостенные (торцовые грейферы).

Зубчатые грейферы применяют для погрузки сортиментов, хлыстов, длинномерной и короткомерной древесины. Узкочелюстные зубчатые грейферы широко используют для подъема штучных бревен.

Многоклыковые грейферы применяют для подбора порубочных остатков и погрузки короткомерной древесины, специальные клыковые грейферы – для корчевки пней.

Грейферы клещевого типа нашли широкое применение при выполнении лесосечных работ. Такими грейферными механизмами оснащают гидроманипуляторы трелевочных тракторов, которые предназначены для захвата, подтаскивания и сбора предварительно поваленных деревьев [283]. Причем грейферы данного типа с одинаковой эффективностью можно использовать как для крупномерного, так и для среднего и мелкого леса [270].

К плоскостенным следует отнести торцовые грейферы, так как их челюсти выполнены в виде двух плоских стенок.

По количеству челюстей грейферы разделяют на двухчелюстные и многочелюстные. Последние применяют для подъема затонувшей и короткомерной древесины (например, дров). Двухчелюстные грейферы могут быть однопарными, двухпарными (сдвоеными) и многопарными; последние – разобщенными или с общей связью.

По направлению смыкания челюстей выделяют радиальные и торцевые грейферы [269, 270].

В торцевых грейферах подъем пачки осуществляется при сжатии ее по торцам бревен с одновременным выравниванием их по длине. Однако торцевые грейферы при одном и том же объеме поднимаемой пачки имеют значительно большую массу, чем грейферы с радиальным охватом бревен.

Характер действия челюстей бывает роющий, подгребающий, зажимающий (у торцевых грейферов) и комбинированный. Характер действия челюстей является одним из основ-

ных параметров, определяющих технологию и энергоемкость процесса захвата груза. Причем в большей степени от этого зависит заполнение объема грейфера [135].

По кинематике челюстей грейферы могут иметь одну ось вращения и две расставленные оси. При этом в обоих случаях оси вращения бывают подвижными и неподвижными. От этого зависит траектория движения зубьев.

Кроме того, различают грейферы с зависимым и независимым движением челюстей. При зависимом движении челюстей процесс их смыкания протекает синхронно. У грейферов с независимым движением челюстей данный процесс определяется соотношением сопротивлений, которые приходится преодолевать каждой челюсти. Если разница в сопротивлениях большая, то происходит перекос грейфера и последовательное закрытие челюстей.

Гидропривод грейферов выполняется с одним, двумя или несколькими гидроцилиндрами. Они могут быть расположены горизонтально, вертикально и под наклоном [169, 170]. Также существуют конструкции грейферов, у которых один гидроцилиндр располагается вертикально, а другой горизонтально.

По конфигурации зубья грейферов могут быть выполнены по дуге окружности и по сложной кривой. Для внедрения в штабели бревен, труб и других длинномерных материалов предпочтительно использовать зубья с серповидной формой. При захвате одиночных стволов с кроной применяют грейферы, зубья которых выполнены как по дуге окружности, так и по сложной кривой.

По форме поперечного сечения зубьев грейферы делятся на: прямоугольные, двутавровые, тавровые, круглые, овальные и эллиптические. У грейферов, используемых для работ с древесной растительностью, наиболее распространены зубья прямоугольного поперечного сечения. Реже встречаются зубья с двутавровой, тавровой и круглой формой поперечного сечения. Остальные формы встречаются редко, в основном в конструкции некоторых зарубежных грейферов.

1.3.3.6. Обзор грейферных механизмов, используемых для работ с древесно-кустарниковой растительностью

Рассмотрим принципиально разные конструкции грейферных механизмов, используемых для работ с удаляемым кустарником и мелколесьем.

На культуртехнических работах при погрузке пней, срезанных и выкорчеванных деревьев, кустарника и мелколесья, а также при формировании куч из удаляемой древесины используют гидравлические экскаваторы и краны, оборудованные грейферными захватами [73].

При использовании экскаваторов грейфер монтируют на рукояти экскаваторной стрелы вместо ковша. Для работ с древесно-кустарниковой растительностью в основном используют многочелюстные грейферы (рис. 1.49). Особенно эффективно применять грейферы с независимым приводом челюстей, что позволяет при захвате древесины жестко ее зажимать, исключая возможность выпадения из грейфера отдельных, даже мелких стволов. Многочелюстные грейферы универсальны, хорошо формируют ношу, однако имеют большую массу, сложную конструкцию и недостаточную надежность.

Погрузку и формирование куч из удаляемого кастарника можно осуществлять также с использованием двухчелюстных грейферов и грейферов лепесткового типа (рис. 1.50).

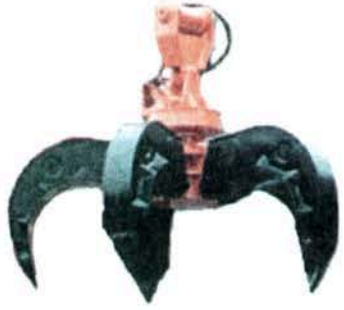


Рис. 1.49. Многочелюстной грейфер



Рис. 1.50. Грейфер лепесткового типа

Широкое применение в культуртехнических работах находит торфяной погрузочный кран КПТ-1М, который используют с грейферами ГДП-1 и ГПП-1 на погрузке древесины и пней при освоении земель, заросших крупномерной древесной растительностью. Грейфер ГДП-1 представляет собой двухчелюстной захват, а грейфер ГПП-1 – шестичелюстной [73].

Вполне очевидно, что для очистки каналов от срезанного кустарника и мелколесья применение таких энергонасыщенных машин, как краны и экскаваторы, независимо от того, грейфером какой конструкции они оснащены, нецелесообразно, а в некоторых случаях и невозможно.

Для сбора и вывоза древесных остатков с расчищаемой площади эффективно использовать подборочно-транспортные машины манипуляторного типа ПЛО-1А, ЛП-23, ЛТ-168. Технические характеристики данных машин приведены в табл. 1.10 [73, 105, 118].

Таблица 1.10

Технические характеристики подборочно-транспортных машин

Марка машины	ПЛО-1А	ЛП-23	ЛТ-168
Базовый трактор	ТДТ-55А	ТБ-1	ТБ-1
Мощность двигателя, кВт	55,2	55,2	55,2
Вместимость кузова, м^3	10	12,5	22,75
Вылет захвата, м: максимальный минимальный	4,7 1,35	5,0 1,4	5,75 1,4
Грузоподъемность на максимальном вылете, кН	9,8	12,8	8,0
Угол поворота стрелы, град.	280	173	173
Величина раскрытия грейферного захвата, м	1,3	2,0	–
Грузоподъемность машины, кН	40	50	50
Масса, т	10,8	11,0	12,85

Подборочно-транспортные машины, оснащенные гидроманипулятором с грейферным захватом и самосвальным кузовом, могут собирать древесину непосредственно в местах ее срезки (исключая при этом операцию по сгребанию удаляемой растительности в кучи) и транспортировать ее к месту установки рубильной машины.

Машина ЛП-23 (рис. 1.51) выполнена на базе специального трелевочного бесчокерного трактора ТБ-1М [105]. Она оснащена толкателем, гидроманипулятором с грейферным захватом, кузовом с механизмом опрокидывания.

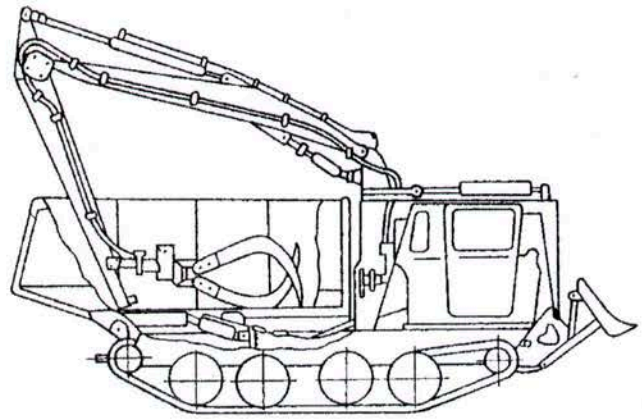


Рис. 1.51. Подборочно-транспортная машина ЛП-23

Рабочий цикл подборочно-транспортных машин включает подбор и погрузку срезанной надземной части древесины, грузовой ход к месту разгрузки, разгрузку кузова и холостой ход. Машины с кузовом повышенной вместимости наиболее целесообразно использовать при транспортировании древесной массы на расстояния свыше 300 м, до 300 м наиболее эффективным является использование подборочно-транспортных машин с объемом кузова 10–12 м^3 [105, 118].

Для выполнения различных технологических задач гидроманипулятор подборочно-транспортных машин может быть

оснащен грейферами следующих типов: многочелюстным грейфером лепесткового типа, грейферным захватом клещевого типа, грейфером челюстного типа и многоклыковым грейфером (рис. 1.52).

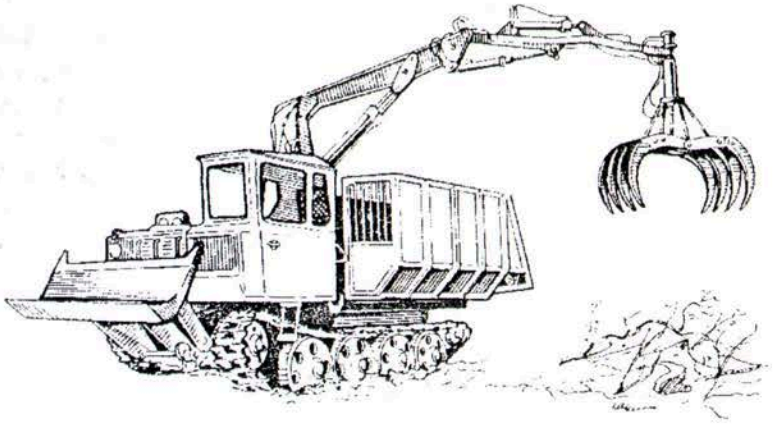


Рис. 1.52. Подборочно-транспортная машина с многоклыковым грейфером

Многочелюстные грейферы лепесткового типа используют для погрузки пней осмола. Как правило, такие гидравлические грейферы имеют сменные лепестки для захвата разделанного осмола и целых пней.

Для сбора отдельных спиленных деревьев (хлыстов) применяют грейферы клещевого типа (рис. 1.53). Конструкция такого грейфера с вертикальным гидроцилиндром представляет собой корпус *2*, в нижней части которого на одной оси шарнирно закреплены две раздвигающиеся и сжимающиеся клешни *4*.

Привод клешней осуществляется при помощи вертикального гидроцилиндра *1* через тяги *3*. При выдвижении штока гидроцилиндра *1* смыкающиеся клешни *4* захватывают спиленное дерево за ствол. Грейферы данного типа позволяют захватывать и надежно зажимать стволы различного диаметра.

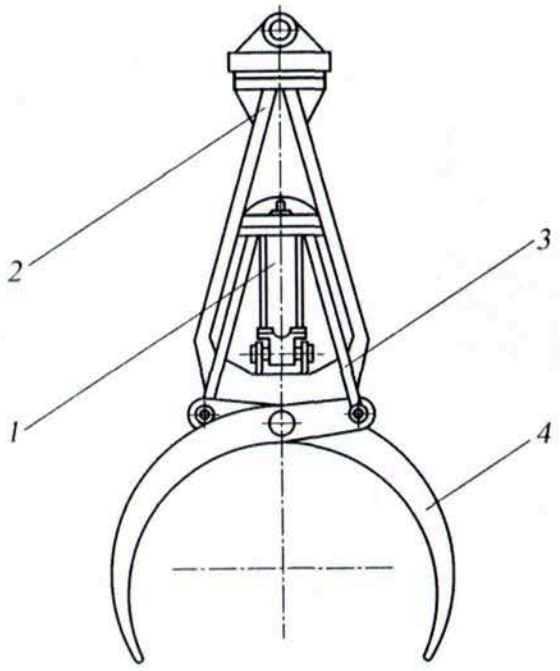
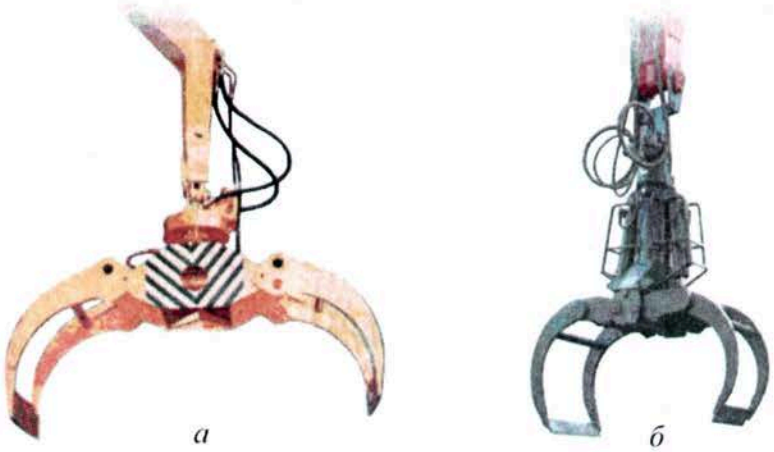


Рис. 1.53. Грейфер клещевого типа:
1 – вертикальный гидроцилиндр; *2* – корпус;
3 – тяги; *4* – клешня

Преимуществами данных грейферов являются простота конструкции, компактность и малая металлоемкость.

Однако большинство произрастающих на каналах пород кустарника имеет пышную шарообразную или конусообразную крону с множеством веток, при этом сам ствол кустарника в сравнении со стволом дерева имеет значительно меньшие размерные характеристики. Эти обстоятельства существенно осложняют процесс захвата кустарника за его ствол и приводят к частым промахам. А захват за ветви кроны приводит к потерям подбираемой растительности. Все это в целом снижает производительность работ, выполняемых грейферами клещевого типа. Широкую сферу применения имеют грейферы челюстного типа (рис. 1.54).



а *б*

Рис. 1.54. Грейферы челюстного типа:
а – с горизонтальным гидроцилиндром;
б – с вертикальными гидроцилиндрами

Их используют непосредственно на вырубках для погрузки одиночных поваленных деревьев (хлыстов), длинномерной древесины и сортиментов. С их помощью также выполняют подбор древесной растительности в местах ее срезки.

Челюсти грейферов данного типа закреплены на двух расставленных осях, а их привод может осуществляться от вертикально или горизонтально расположенных гидроцилиндров. Каждая челюсть выполнена в виде двух зубьев прямоугольного поперечного сечения, концы которых соединены между собой посредством горизонтальной пластины (ножа). Для захвата срезанного кустарника и мелколесья используют грейферы с более узкими челюстями. В процессе смыкания челюстей происходит заход одной челюсти за другую, за счет чего обеспечивается зажатие подобранной древесины. Данные грейферы имеют значительно большую величину раскрытия челюстей по сравнению с грейферами клещевого типа, что снижает число промахов при захвате срезанной растительности.

К числу недостатков грейферов данной конструкции следует отнести затрудненность проникновения челюстей в густую крону кустарника, особенно если последняя имеет множество крупных упругих ветвей (что характерно для кустарника гнездового типа). Поэтому зачастую требуется множество дополнительных перемещений грейфера для того, чтобы осуществить удачный захват срезанной растительности. Кроме того, такой грейфер неэффективно использовать на работах по перетряхиванию древесно-кустарниковой массы и формированию куч из удаляемой древесины.

Данных недостатков лишены многоклыковые грейферы (см. рис. 1.52), применяемые для погрузки порубочных остатков [270]. Они представляют собой двухчелюстной грейфер с широкими челюстями, каждая из которых имеет несколько массивных клыков, расположенных через равные промежутки в один ряд.

При захвате кустарника с пышной кроной массивные клыки легко проникают в нее, а в процессе смыкания челюстей крона сжимается и уплотняется, что весьма эффективно, так как позволяет из собранной растительности формировать в дальнейшем более компактные кучи.

Существенным недостатком многоклыкового грейфера является его большая металлоемкость, вследствие которой соотношение между массами грейфера и захваченного куста будет являться значительной величиной, следовательно, полезная работа, производимая таким грейфером, будет низкой.

Эффективный сбор срезанной растительности вполне можно осуществлять с помощью зубчатых грейферов сельскохозяйственного назначения (рис. 1.55), предназначенных для погрузки волокнистых материалов (сенажа, силоса, сена, соломы). Они обладают достоинствами многоклыковых грейферов, но при этом по сравнению с ними имеют значительно меньшую массу.

Для погрузки древесно-кустарниковой массы, имеющей низкую плотность, фирмой «Farmi Forest» разработана оригинальная конструкция (рис. 1.56), представляющая собой грейфер челюстного типа, оснащенный съемными уширителями с зубьями.



Рис. 1.55. Зубчатый грейфер сельскохозяйственного назначения



Рис. 1.56. Грейфер челюстного типа, оснащенный уширителями с зубьями

Как показывает практика, такая модернизация грейфера позволяет с большей эффективностью осуществлять сбор срезанной древесной растительности, имеющей пышную крону.

Кроме подборочно-транспортных машин грейферами для работы со срезанной древесной растительностью также оснащаются гидроманипуляторы трелевочных тракторов, сортиментовозов и рубильных машин [175, 210, 283]. На этих машинах применяют грейферы клещевого и челюстного типа, конструкции которых были рассмотрены выше.

Таким образом, для очистки каналов от срезанной древесно-кустарниковой растительности наиболее рационально использовать зубчатые грейферы, которые позволяют осуществлять захват кустарника за его крону, благодаря чему значительно сокращается число промахов. Кроме того, в процессе захвата кустарника его крона сжимается и уплотняется, что придает кустарнику более удобный вид для последующей переработки. Помимо этого зубчатым грейфером наиболее удобно производить и другие работы, связанные с перегрузкой древесно-кустарниковой массы, например при формировании из нее куч или при погрузке ее в транспортное средство.

Недостатком зубчатого грейфера, как и всех других рассмотренных конструкций грейферов, является то, что при подборе отдельных срезанных кустарников за один рабочий цикл челюсти грейфера могут осуществить захват только одного куста. Использование же самих подборочно-транспортных машин для

очистки каналов от срезанного древостоя нецелесообразно по нескольким причинам. Во-первых, из-за недостатка финансирования эксплуатирующих организаций приобретать такие дорогостоящие и узкоспециализированные машины нерационально. Во-вторых, зона действия гидроманипуляторов подборочно-транспортных машин не позволяет извлекать срезанный кустарник из русел каналов. В-третьих, производить очистку бермы такими машинами неэффективно, так как в сравнении с подборщиками они имеют значительно меньшую производительность.

В данном случае для удаления из каналов срезанной растительности наиболее рационально использовать имеющиеся в организациях тракторы, оборудованные гидроманипуляторами. Практически во всех эксплуатирующих организациях в наличии есть тракторы МТЗ-80 и МТЗ-82, снабженные экскаваторным оборудованием (например, ЭО-2626), которое вполне можно использовать в качестве гидроманипулятора для грейферного захвата.

Подводя итог, можно сделать следующее заключение: для эффективной очистки русел каналов от срезанного древостоя необходимо разработать зубчатый грейфер, обеспечивающий захват более одного срезанного куста за рабочий цикл и выполненный в качестве сменного рабочего органа к экскаваторному оборудованию тракторов МТЗ-80 (МТЗ-82).

1.3.3.7. Основные параметры зубчатых грейферов

Разработку и проектирование рациональной конструкции грейферных механизмов, используемых для подбора срезанной древесно-кустарниковой растительности, необходимо осуществлять на основе изучения кинематических схем существующих зубчатых грейферов. Кинематика грейфера определяет характер действия челюстей, траекторию их движения и угол поворота, которые в свою очередь устанавливаются требованиями к ведению процесса захвата груза.

Рассмотрим кинематические схемы современных зубчатых грейферов с гидроприводом, применяемых для работы с различными материалами и грузами (рис. 1.57).

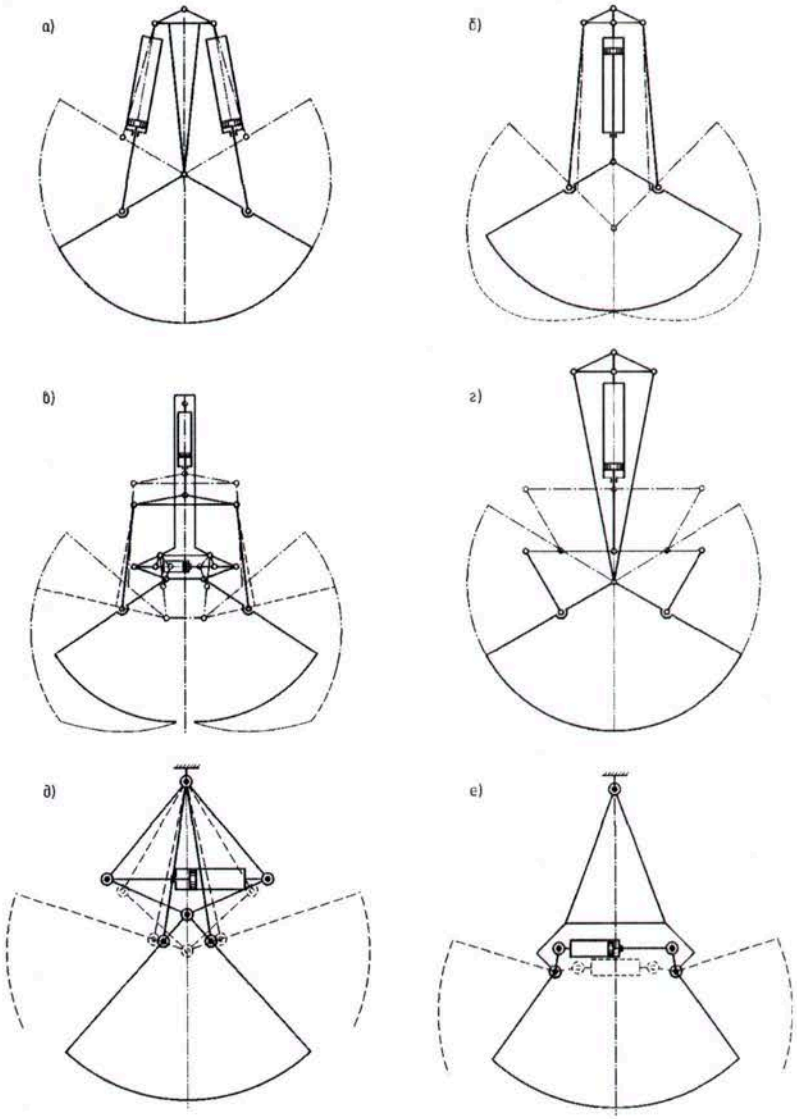


Рис. 1.57. Кинематические схемы зубчатых грейферов с гидроприводом

Первая схема (см. рис. 1.57, *а*) [72, 135] предусматривает привод челюстей грейфера от двух гидроцилиндров с непосредственным воздействием их на челюсти. Данная схема обусловливает роющий характер действия челюстей, зубья которых движутся по окружности, равной радиусу очертания зубьев. Подобные грейферы рационально использовать при работах с несвязанными или малосвязанными грузами.

На второй схеме (см. рис. 1.57, *б*) [72, 135] привод челюстей осуществляется от одного вертикального гидроцилиндра, шток которого соединен с осью челюстей. Поворот челюстей происходит вокруг осей, закрепленных на специальных раскосах. В этом случае зубья челюстей движутся по траектории, несколько отличающейся от окружности. Этот вид грейферов с подгребающим характером действия челюстей наиболее эффективно использовать при захвате материалов малой плотности, которые допускается деформировать, так как при закрытии челюстей захваченная порция спрессовывается. Кроме того, такой механизм грейфера наиболее прост по конструкции, надежен в работе и наименее металлоемок.

Третья кинематическая схема (см. рис. 1.57, *в*) представляет собой грейфер с комбинированным характером действия челюстей [52, 72, 135, 212]. Данные грейферы используют для зачерпывания тяжелых волокнистых материалов, обладающих высоким сопротивлением отрыву от массива. Для создания подрывающего усилия после того как зубья внедрятся в материал челюсти перемещают при помощи дополнительной рычажной системы, работающей от вспомогательного гидроцилиндра, размещенного горизонтально.

Четвертая схема (см. рис. 1.57, *г*) предусматривает привод челюстей от вертикального гидроцилиндра через подвижную траверсу и тяги [72]. Преимуществами такой схемы являются максимальные усилия, которые развиваются в конце хода челюстей.

На пятой схеме (см. рис. 1.57, *д*) [270] показана кинематика рычажного грейфера. Челюсти таких грейферов управляются рычажной системой, приводимой в действие одним горизон-

тальным гидроцилиндром. Данную конструкцию целесообразно использовать, если нет ограничений в размещении грейфера по высоте, при жестком креплении его головки.

Шестая схема (см. рис. 1.57, *е*) [270] предусматривает привод челюстей от горизонтального гидроцилиндра, корпус и шток которого имеют шарнирное соединение с рычагами, жестко зафиксированными на каждой челюсти. Такие грейферы имеют самую простую конструкцию и небольшую массу. Однако если при смыкании челюсти данного вида грейферов воспринимают разную нагрузку, то происходит их перекос.

Рассмотренные выше кинематические схемы характерны в основном для грейферных механизмов сельскохозяйственного назначения, так как зубчатые грейферы получили наиболее широкое распространение именно в сельском хозяйстве. При этом, благодаря своей универсальности, помимо работы с сельскохозяйственными грузами данные грейферы могут быть использованы и для мелиоративных работ [270].

Проанализировав наиболее распространенные кинематические схемы зубчатых грейферов, можно сделать вывод о том, что их конструкции несовершенны и недостаточно приспособлены для проведения работ со срезанным кустарником и мелколесьем, стволы которых имеют пышную крону.

При этом оптимальная конструкция грейфера, используемого для работ с древесно-кустарниковой растительностью, должна обладать следующими качествами:

- зубчатые челюсти при смыкании должны заходить друг за друга, что позволяет при захвате кустарника сжимать его крону и уплотнять ее, деформируя и надламывая крупные и мелкие ветви;
- конструкция должна позволять захватывать за один рабочий цикл более одного срезанного куста, что позволит увеличить производительность грейфера и повысить коэффициент использования грузоподъемности.

Основными геометрическими параметрами зубчатых грейферов являются, прежде всего, размеры и форма их зубьев.

Причем вопрос о форме зубьев является одним из основополагающих при проектировании грейферного механизма. Конструкцию других узлов грейфера, технологию их изготовления, метод сборки и т. д. определяют, главным образом, в зависимости от принятой формы зубьев.

При этом зубья должны иметь такую форму, которая обеспечивает наибольшую производительность, наименьшие сопротивления при захвате (наименьший расход энергии), наилучшее опорожнение грейфера при раскрытии челюстей.

Рассмотрим наиболее характерные профили зубьев у ряда конструкций зубчатых грейферов, используемых в сельском и лесном хозяйстве.

Наиболее полный анализ результатов исследований по выявлению рациональной формы зубьев для грейферов сельскохозяйственного назначения представлен в работе Л.И. Кирпичникова [135], в которой автор обобщил результаты экспериментальных исследований, изложенных в трудах О.П. Атяскина, В.Г. Веракша, В.И. Рыжанкова, А.В. Любанца.

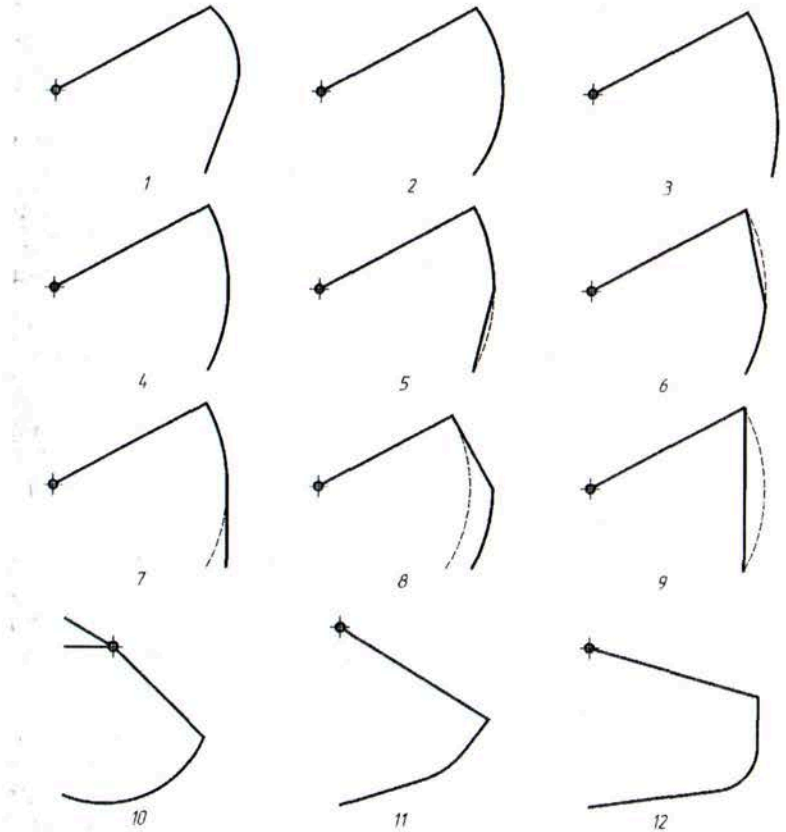
Согласно исследованиям [53, 135], зубья сельскохозяйственных грейферов (формы № *1–12*, представленные на рис. 1.58, *а*) могут быть прямыми или выполненными по дуге окружности, а также могут иметь более сложный профиль, получаемый путем сопряжения прямой с дугой окружности.

При этом установлено, что для захвата сельскохозяйственных материалов (силоса, сенажа, соломы, сена) оптимальную форму имеют зубья, профиль которых соответствует дуге окружности с центром на оси вращения челюстей (форма № *4*, рис. 1.58, *а*). Зубья такой формы, внедряясь в материал, оказывают на него минимальное воздействие и испытывают наименьшие сопротивления.

Причем для сельскохозяйственных грейферов используют зубья круглого поперечного сечения, так как такая форма обеспечивает наименьшую затрату усилий на внедрение.

Грейферы для работы с древесиной имеют гораздо более массивные зубья, в основном прямоугольного поперечного сечения. Обусловлено это тем, что при захвате древесины на челюсти грейфера действуют значительные распорные усилия.

а – формы зубьев грейферов сельскохозяйственного назначения



б – формы зубьев грейферов для древесины

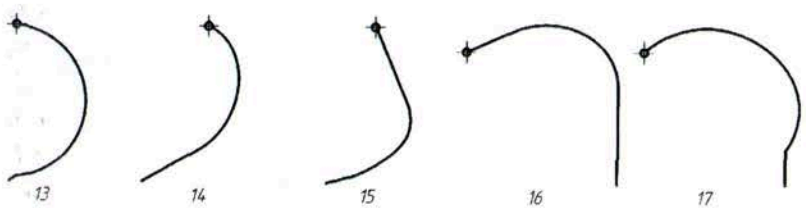


Рис. 1.58. Профили зубьев грейферов, применяемых в сельском и лесном хозяйстве

Как видно из рис. 1.58, *б*, зубья грейферов, используемых для работ с древесиной, имеют более сложный профиль.

Формы зубьев № *13*, *16* и *17* используют для захвата пачек бревен. Причем, как указывает профессор Б.А. Таубер, наиболее рациональной формой зубьев для этих целей является серповидная (форма № *17*) [270]. Кроме того, Б.А. Таубер отмечает, что форма челюстей должна быть такой, чтобы бревна в смыкаемом ковше грейфера могли перемещаться под действием выпирающих сил, создаваемых при сближении челюстей, не по вертикали, а по наклонной плоскости [269, 270].

Внутренний профиль клыков у грейферов, используемых для сбора порубочных остатков, а также клешней у грейферов клещевого типа выполнен в виде дуги окружности (форма № *13*). Форму № *14* имеют зубья грейферов челюстного типа, которые применяют для захвата отдельных срезанных деревьев или пачек бревен небольшого объема. Зубьями формы № *15* снабжены узкочелюстные грейферы, применяемые для захвата штучных бревен или одиночных спиленных стволов деревьев, кустарника и мелколесья.

Изучение работ исследователей [53, 71, 72, 111, 114, 135, 204, 212, 269–271] позволило сделать вывод о том, что форму зубьев необходимо оптимизировать для каждого конкретного вида выполняемых работ в зависимости от характеристик груза. Учитывая, что процесс захвата кустарниковой растительности во многом отличается от захвата круглой древесины и сельскохозяйственных материалов, рациональная форма зубьев грейферов, используемых для работ с кустарником, должна иметь существенные отличия от рассмотренных выше форм. При захвате кустарника основные сопротивления приходятся на сжатие его кроны и перемещение древесины по внутренней поверхности зубьев, причем проникновение зубьев грейфера в крону срезанного ствола происходит практически беспрепятственно. Следовательно, оптимальный профиль зубьев для новой конструкции грейфера должен обеспечивать наименьшие затраты энергии на сжатие кроны и трение древесины о поверхность зубьев при смыкании челюстей.

Рассмотрим основные параметры грейферов, к числу которых относят: рабочий объем, число зубьев на челюсти, ширину челюстей и величину их раскрытия.

О.П. Атяскин [53] рекомендует рабочий объем зубчатого грейфера $V_г$ для силосной массы определять по формуле:

$$V_г = \frac{G}{\rho} C_1 C_2, \qquad (1.15)$$

где G – масса зачерпываемого материала, кг; ρ – плотность силосной массы, кг/м³; C_1 – коэффициент, учитывающий увеличение зачерпываемого объема за счет сил сцепления частичек силоса, $C_1 = 0{,}65\ldots0{,}7$; C_2 – коэффициент, учитывающий дополнительное уплотнение силоса челюстями при смыкании, $C_2 = 0{,}92\ldots0{,}94$.

Ширину челюсти B определяют по формуле Б.А. Таубера [53, 72, 269]:

$$B = k\sqrt[3]{V_г}, \qquad (1.16)$$

где k – поправочный коэффициент (для силоса $k \approx 1{,}1$).

Число зубьев на челюсти $n_з$ [53, 72]:

$$n_з = \frac{B}{l_з}, \qquad (1.17)$$

где $l_з$ – расстояние между зубьями, м.

О.П. Атяскин [53] предлагает для определения величины раскрытия челюстей L использовать следующее выражение:

$$L = \frac{B}{\varphi}, \qquad (1.18)$$

где φ – коэффициент, устанавливающий соотношение между величиной раскрытия и шириной челюсти для захвата различных грузов.

Оптимальное соотношение между параметрами грейфера может быть представлено в следующем виде [135]:

$$\frac{L_o}{r + \frac{l}{2}} = 2, \qquad (1.19)$$

где L_o – расстояние между основаниями зубьев противоположных челюстей в закрытом положении, м; r – радиус челюстей, м; l – расстояние между осями челюстей, м.

В своих работах [269, 270] Б.А. Таубер отмечает, что раскрытие челюстей при захвате бревен следует устанавливать в зависимости от объема пачки, подлежащей зачерпыванию, среднего диаметра бревна, его длины и условий ведения работ.

Однако существующие методики расчета параметров грейферных механизмов для сбора круглой древесины, насыпных и волокнистых материалов невозможно использовать при проектировании грейфера для подбора срезанного кустарника. К тому же, новая конструкция грейфера должна обеспечивать сбор отдельных стволов кустарника, попавших после срезки в русло канала, вследствие чего кустарник следует рассматривать как штучный груз, и параметры грейфера устанавливать в зависимости от размерных характеристик этого груза.

Однако размерные характеристики кустарниковой растительности даже в пределах одной породы варьируют в достаточно широком диапазоне. Поэтому при выборе основных параметров грейфера необходимо ориентироваться на среднестатистические размерные характеристики кустарника (средние диаметр, высоту, ширину кроны).

Если ориентироваться на максимальные размеры кустарника, то это приведет к увеличению металлоемкости конструкции грейфера и снижению качества выполняемых работ при сборе более мелкой кустарниковой растительности. Ориентироваться на минимальные размеры кустарника также не следует, так как грейфер невозможно будет использовать для извлечения из канала более крупных кустов.

1.3.4. Оборудование, применяемое для переработки древесной растительности в щепу

Древесина удаляемого вдоль каналов кустарника может иметь различное хозяйственное применение. Достаточно широкое распространение получило направление ее переработки в энергетическую или технологическую щепу.

Основным оборудованием для производства щепы являются ножевые рубильные машины. Они могут быть стационарными или передвижными. Стационарные машины высокопроизводительны, но имеют значительную металлоемкость, сложны в эксплуатации, и для их установки требуется фундамент, что исключает возможность быстрой переброски с одного объекта на другой. Учитывая к тому же низкую транспортабельность удаляемой растительности, наиболее целесообразно использование передвижных рубильных машин. К технологическому оборудованию таких машин относятся: рубильная установка, механизм подачи древесины к рубильной установке, гидроманипулятор для укладки древесины в механизм подачи, устройство для направленного выброса щепы (щепопровод) [73, 105].

Передвижные рубильные машины по принципу агрегатирования подразделяются на самоходные, полуприцепные, прицепные и навесные (рис. 1.59).

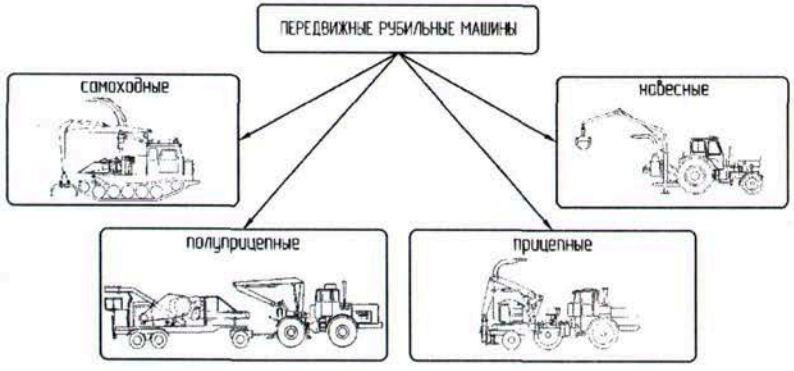


Рис. 1.59. Разделение передвижных рубильных машин по принципу агрегатирования

Самоходные рубильные машины выполнены непосредственно на базе самоходного шасси (автомобиль, трактор), на раме которого размещают технологическое оборудование. Привод рабочего органа таких машин в основном осуществляется от двигателя базового трактора. Данные машины характеризуются высокой производительностью, а также повышенной проходимостью и маневренностью. Такие машины наиболее целесообразно применять на вырубках со значительным запасом перерабатываемой древесины. К недостаткам самоходных рубильных машин следует отнести их значительную массу, большую энергоемкость и высокую стоимость.

Полуприцепные рубильные машины отличаются от самоходных тем, что их технологическое оборудование монтируется на несамоходном шасси с двумя и более колесными осями. Как правило, на таком шасси устанавливают автономный дизельный двигатель для привода всех узлов рубильной машины. Грузоподъемность многоосных шасси позволяет размещать на них рубильные установки повышенной производительности. Гидроманипулятор для подачи древесного сырья в рубильную установку может быть установлен непосредственно на самом шасси или на базовом тракторе-тягаче. Недостатком машин данного типа является ограниченная мобильность, что обусловливает их применение на специально обустроенных площадках, примыкающих к автодорогам. Такие рубильные машины эффективно использовать при очистке площадей с небольшим запасом древесины на 1 га, но на которых произрастают крупные деревья с диаметром ствола свыше 20 см [105].

К *прицепным* относят рубильные машины, технологическое оборудование которых размещено на отдельном одноосном прицепе или полуприцепе. В большинстве случаев прицепные рубильные машины не имеют гидроманипулятора для подачи древесного сырья в рубильную установку, вследствие чего для их обслуживания привлекают 1–2 вспомогательных рабочих [105]. Прицепные рубильные машины агрегатируются с колесными тракторами сельскохо-

зяйственного назначения или со специальными лесными и лесохозяйственными тракторами. При этом привод рабочего органа рубильной установки может осуществляться как от двигателя базовой машины (от раздаточной коробки через карданный вал), так и от автономного дизельного двигателя, установленного на прицепе в блоке с рубильной установкой. Прицепные рубильные машины в основном применяют при измельчении на щепу маломерной древесины (кустарник, ветви, сучья, обломки тонкомерных стволов и т. п.). Данные машины, в отличие от самоходных и полуприцепных, имеют намного меньшие габаритные размеры и массу, однако уступают самоходным в маневренности.

Навесные рубильные машины агрегатируются с сельскохозяйственными тракторами малой мощности. Эти машины навешивают на трехточечный механизм навески трактора. Привод рабочего органа рубильной машины осуществляется от ВОМ базового трактора, на котором также может быть установлен гидроманипулятор с грейферным захватом для механизации подачи сырья в рубильную установку. Причем гидроманипулятор монтируют на вспомогательную раму, закрепляемую на тракторе таким образом, что механизм задней навески и ВОМ остаются свободными для технологического оборудования. Современные рубильные машины данного типа имеют достаточно высокую производительность, обладают небольшой массой, просты в эксплуатации, обеспечивают измельчение небольших деревьев и позволяют получать щепу различных фракционных составов. Навесные рубильные машины характеризуются высокой мобильностью, что имеет большое значение, так как каналы являются линейными сооружениями достаточно большой протяженности, и, следовательно, при измельчении удаляемой древесины требуются частые перемещения рубильной машины. Кроме того, данные машины обладают доступной для эксплуатационных организаций ценой и могут агрегатироваться с такими широко распространенными тракторами, как МТЗ-80, МТЗ-82 и МТЗ-100.

Ведущим мировым лидером в производстве навесных рубильных машин для измельчения древесины в энергетическую щепу является финская фирма «Farmi Forest Corporation». В настоящее время на российский рынок эта фирма поставляет три модели рубильных машин (CH160, CH260 и CH380), которые могут иметь различную модификацию. Технические данные навесных рубильных машин CH160, CH260 и CH380 представлены в табл. 1.11 [105, 182, 226, 287, 297].

Таблица 1.11

Технические характеристики навесных рубильных машин, выпускаемых фирмой «Farmi Forest Corporation»

Марка рубильной машины	Максимальный диаметр измельчаемого дерева, мм	Длина щепы, мм	Масса, кг	Потребление энергии, кВт	Производительность, $м^3/ч$
CH160	160	13	360	10–20	5–20
CH260	260	7–25	860	30–70	10–40
CH380	380	7–30	1600	100–150	30–70

Все три модели могут работать в двух режимах энергопотребления (1000 об./мин или 540 об./мин) [105, 182, 226, 287, 297], при этом помимо древесины они способны измельчать пластмассу, картон, бумагу и т. п. Кроме того, предусмотрена возможность стационарной работы этих машин с приводом от электродвигателя [287].

Изучение технических характеристик различных модификаций рубильных машин фирмы «Farmi Forest» [287] свидетельствует о том, что для переработки древесно-кустарниковой растительности, удаляемой вдоль каналов, наиболее подходит машина марки CH260 HF-2EL (рис. 1.60). Данная машина позволяет измельчать отдельные деревья с диаметром ствола до 260 мм с получением щепы для различного хозяйственного использования. В комплект рубильной

машины CH260 HF-2EL входит гидроманипулятор с челюстным захватом, что дает возможность полностью механизировать процесс переработки удаляемой древесной растительности. Кроме того, в качестве базовой машины для CH260 HF-2EL наиболее подходит трактор МТЗ-82, который имеется практически во всех организациях, выполняющих эксплуатационные работы по очистке каналов. При навеске рубильной машины CH260 HF-2EL на МТЗ-82 ее эксплуатацию эффективней всего осуществлять в режиме пониженного энергопотребления с частотой вращения рабочего органа 540 об./мин, так как номинальная мощность трактора МТЗ-82 не позволяет обеспечить нормальной работы рубильной машины при вращении ее рабочего органа с частотой 1000 об./мин. Характеристики рубильной машины CH260 HF-2EL при работе в режиме пониженного энергопотребления (540 об/мин) представлены на рис. 1.61 [287].



Рис. 1.60. Измельчение короткомерной древесины рубильной машиной CH260 HF-2EL

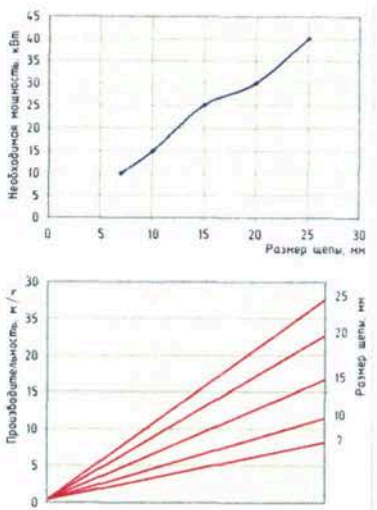


Рис. 1.61. Характеристики рубильной машины CH260 HF-2EL при частоте вращения рабочего органа 540 об/мин

Необходимо отметить, что технические средства, обеспечивающие сбор срезанной растительности, не должны допускать чрезмерного загрязнения древесины грунтом, наличие которого не только ухудшает качество получаемой щепы, но и ускоряет износ рабочего органа рубильной машины.

1.3.5. Технические средства, применяемые для удаления и угнетения пней

Проблема предотвращения возобновления роста поросли от пней на оросительных каналах является особенно актуальной. Именно здесь существуют наиболее благоприятные для этого условия – наличие воды и света. Поэтому, если не удалять пни, уже через небольшой промежуток времени вырастают многочисленные побеги и эффект от простого срезания древесно-кустарниковой растительности сводится на нет. Для решения данной проблемы необходимо проанализировать существующие способы удаления и угнетения пней.

1.3.5.1. Способы удаления пней

В настоящее время, согласно многочисленным исследованиям [73, 229, 249, 253, 292], наибольшее распространение получили следующие способы удаления и угнетения пней: механический, химический, термический, электрический, взрывной и биологический.

Механический способ является наиболее распространенным и эффективным, так как полностью решает проблему возобновления роста побегов. Он заключается в механическом удалении пней вместе с корневой системой путем использования специализированных корчевальных машин и оборудования. При этом используют корчеватели, корчеватели-собиратели, корчеватели-погрузчики, корчевальные бороны, роторные корчеватели и т. д.

К разновидности механического способа удаления пней можно отнести сплошное глубокое фрезерование почвы вместе с пнями и корневой системой специальными машинами типа МТП-42А, МТП-44Л, ФКН-1,7.

Однако корчевание пней имеет ряд недостатков, значительно ограничивающих применение данного способа на оросительных каналах:

- опасность проведения корчевальных работ в непосредственной близости от канала;
- большая вероятность повреждения облицовки;
- необходимость последующего удаления или утилизации корневых остатков, зачастую сильно загрязненных дерниной;
- обязательность проведения последующих операций по выравниванию и планировке бермы;
- высокая трудоемкость и стоимость работ.

Химическая обработка арборицидами – это способ, при котором производится обработка или инъектирование в тело пня химического препарата (арборицида), оказывающего разрушающее или угнетающее действие. Обычно арборицидами производят непосредственную обработку кустарника путем опрыскивания. После опрыскивания арборициды, проникая в растения, накапливаются в интенсивно растущих тканях, нарушают процессы обмена веществ, в результате чего происходит отмирание растений. Растения погибают, засыхают, и начинается процесс разложения корневой системы. За 2–3 года после химической обработки тонкие стволы кустарника и пни, оставшиеся после срезания древесно-кустарниковой растительности, превращаются в ломкий сухостой. Для очистки территории проводят ломку и уборку оставшейся сухой древесины и пней механическими средствами (бульдозерами, тракторными граблями, корчевателями-собирателями, траловой цепью, катками), затем уничтожают их обычными способами (сгребают в валы и кучи, а затем сжигают) [235].

Химическую обработку проводят опрыскивателями, аэрозольными генераторами и брандспойтами. Для опрыскивания арборициды растворяют в воде или жидком топливе. Химическую обработку рекомендуется проводить в безветренные летние дни с конца мая до середины августа [292].

Для проведения работ по угнетению пней вдоль оросительных каналов разрешено применять препараты раундап,

торнадо, глифосат и арсенал [60, 119]. Раундап – препарат сплошного действия, основанного на подавлении белкового синтеза. Проникая через поверхность среза, он переносится по всей корневой системе, в результате чего ткани растения погибают. Раундап является одним из относительно безопасных для человека и окружающей среды арборицидов, поскольку, попадая в почву, он быстро разлагается на NO_3 , P_2O_5 , CO_2 , H_2O. Период полураспада составляет до 11 недель, поэтому существует возможность его использования на оросительных каналах [119].

Недостатками, ограничивающими применение химического способа для угнетения пней, являются: зависимость от погодных условий; вероятность попадания в канал; неконтролируемое опрыскивание всей пнистой поверхности, приводящее к значительному перерасходу дорогого препарата и загрязнению окружающей среды.

Термический способ заключается в длительном воздействии высокой температурой на поверхность пня. Данный способ применяют в основном при сжигании надземной части кустарниковой растительности и порослей пней. Для этой цели выпускают различные огнеметы и газопламенные машины, которые устанавливают на тракторах небольшой мощности. Достоинства способа – простота, одновременное уничтожение растительности разных видов и размеров, возможность обработки каналов различной формы. Основные недостатки – большой расход топлива, загрязнение окружающей среды, значительная пожароопасность, вероятность повторного возобновления роста поросли.

Электрический способ предусматривает воздействие на пни электрическим током, создаваемым специальным устройством (мощным генератором), навешиваемым на базовый трактор. Данный способ как нельзя лучше подходит для работы на каналах, однако у него также имеются недостатки: дороговизна и практическая недоступность данного оборудования для организаций, эксплуатирующих оросительные каналы; большая опасность эксплуатации мощного электрооборудования; неизученность и малая распространенность данного способа.

Взрывной способ основан на использовании для удаления пней направленного взрыва. Мини-заряд взрывчатого вещества устанавливают в углубление под пни, а затем происходит его подрыв. Недостатком данного способа является его дороговизна, обязательное наличие специалистов-взрывников и специального разрешения на проведение взрывных работ. Также недостатком является то, что после взрывов остаются углубления, которые необходимо разравнивать. На оросительных каналах данный способ не может применяться, так как при мини-взрывах может быть нарушена целостность берм и откосов каналов.

Биологический способ удаления пней заключается в разложении их посредством использования микроорганизмов, проникающих в тело пня. Данный способ не требует больших материальных и энергетических затрат, прост в использовании, может применяться на оросительных каналах. Недостатком этого способа является сезонность его использования, долговременность, малоэффективность и трудность приобретения необходимых микроорганизмов и нанесения их на пни.

Анализ рассмотренных способов свидетельствует о том, что многие из них можно использовать на каналах, однако все они имеют те или иные недостатки или ограничения. Необходимо отметить, что достаточно эффективным является химический способ (при обеспечении дозированного внесения разрешенных для использования на оросительных каналах арборицидов). При этом лучшим решением будет являться локальное внесение арборицидов на пни с одновременным нанесением на поверхность пней механических повреждений. Получается так называемый комбинированный *химико-механический способ,* который исключает неконтролируемое внесение арборицидов (характерное для сплошного опрыскивания), существенно снижает негативное экологическое воздействие на окружающую среду, позволяет повысить эффективность действия препарата (за счет предварительного разрыхления поверхности пней) и оптимизировать его расход.

1.3.5.2. Обзор и классификация машин, используемых для удаления и угнетения пней

Пни, оставшиеся после срезания растительности, отличаются разнообразием формы, диаметра, высоты, расположения относительно друг друга, что требует соблюдения особых условий при выборе и использовании технических средств для их удаления и угнетения.

На основе систематизации машин и оборудования для удаления и угнетения пней нами предложена классификационная схема технических средств, которые могут применяться для выполнения работ на оросительных каналах (рис. 1.62).

Технические средства, используемые для удаления и угнетения пней, по способу действия подразделяются на средства механического, химического, термического, электрического и комбинированного (химико-механического) действия.

Машины и оборудование механического действия, в свою очередь, можно классифицировать: по способу агрегатирования (самоходные, навесные, прицепные), по характеру действия рабочего органа (активные, пассивные, комбинированные), по типу привода рабочего органа (гидравлические, канатно-блочные, электромоторные, механические), по конструкции рабочего органа (рычажные, лебедочные, винтовые, крюковые, ножевые, роторные, фрезерные, вибрационные, колющие, распиливающие).

Рассмотрим наиболее распространенные технические средства, применяемые для удаления и угнетения пней. При этом необходимо остановится на механическом, химическом и комбинированном (химико-механическом) способах как наиболее доступных и эффективных для работы на каналах.

Основные типы рабочих органов механического действия для корчевки пней представлены на рис. 1.63 [130].

Из существующих машин, используемых для корчевания пней, можно отметить корчеватели МП-18 (рис. 1.64), ТМ 10.00К, ЛД-9, корчеватели-собиратели МП-2А (см. рис. 1.37), МП-7А, ДП-8А, ДП-25 и др. [73, 83].

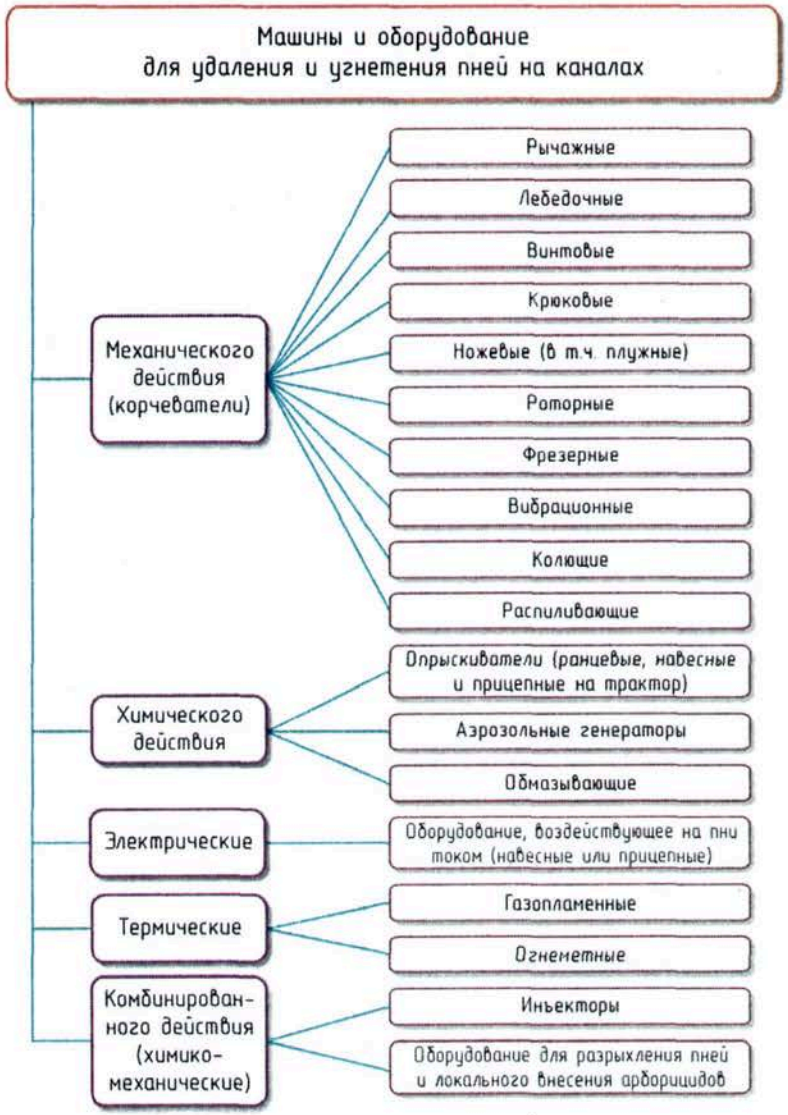


Рис. 1.62. Классификация машин и оборудования для удаления и угнетения пней на каналах

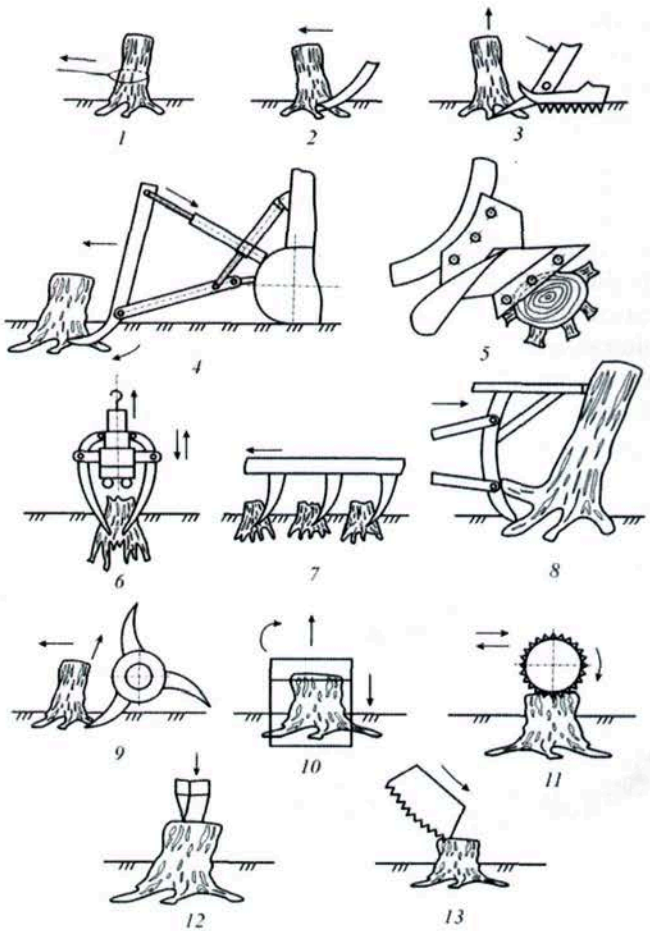


Рис. 1.63. Схема машин и орудий для корчевки пней и деревьев: *1* – тросовый корчеватель с лебедкой; *2* – корчеватель с передними корчующими зубьями на отвале рамы; *3* – рычажный корчеватель с опорным башмаком; *4* – гидравлический рычажный корчеватель; *5* – плужный корчеватель; *6* – виброкорчеватель пней; *7* – корчевальная борона навесная; *8* – корчеватель деревьев с передним толкающим брусом; *9* – роторный корчеватель; *10* – машина с режущими зубьями; *11* – оборудование для фрезерования пней; *12* – экскаваторное оборудование для раскалывания пней колуном; *13* – экскаваторное оборудование для разрезания пней сегментом дисковой пилы

Зарубежные специалисты считают, что раскалывание пней на части является перспективным направлением удаления и переработки пней. В последние годы ряд фирм Швеции и Финляндии широко рекламируют и используют при корчевке пней и предварительной их разделке корчевальное оборудование «Pallary» (рис. 1.65). Базовой машиной модели «Pallary» является экскаватор, оснащенный уширенными гусеницами. Корчеватель имеет специальное оборудование в виде корчевально-раскалывающето устройства, предусмотренного для заготовки пневой древесины. Корчевально-раскалывающее устройство состоит из раскалывающего ножа с гидроприводом и двухвилочной наковальни. На нижней стороне наковальни закреплены два зуба для корчевки пнево-корневых систем. Сначала корчевальные зубья подводят под пень, затем совершают корчевку подъемом стрелы с одновременным толканием к машине. Небольшие пнево-корневые системы выкорчевываются целиком [162].

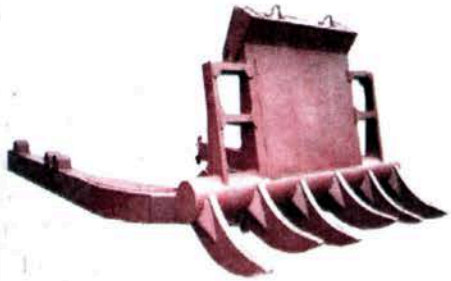


Рис. 1.64. Корчеватель МП-18

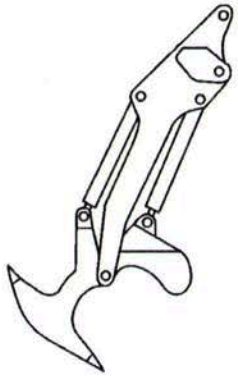


Рис. 1.65. Корчеватель экскаваторного типа «Pallary»

Необходимо отметить, что недостатки существующих способов корчевания делают применение корчевателей для удаления пней на каналах нерациональным. Достаточно эффективным вариантом может быть угнетение пней разрешенными к использованию на оросительных каналах арборицидами.

В настоящее время разработано огромное количество опрыскивателей, используемых в сельском и лесном хозяйстве. Рассмотрим некоторые из них с учетом возможности применения на оросительных каналах.

Опрыскиватель ручной ранцевый ОРР-1 «Эра-1» предназначен для химического способа борьбы с древесно-кустарниковой растительностью (рис. 1.66).

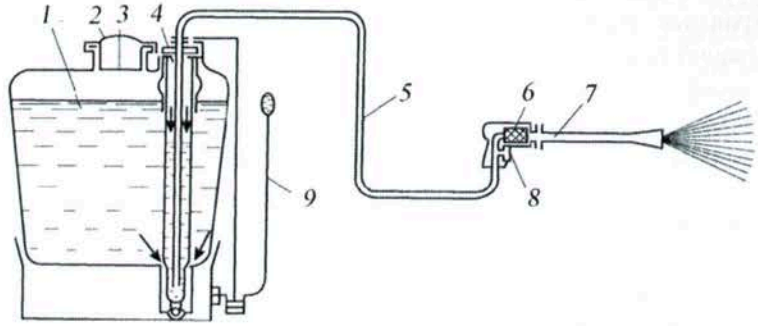


Рис. 1.66. Опрыскиватель ручной ранцевый ОРР-1 «Эра-1»:
1 – резервуар для рабочей жидкости; *2* – заливная горловина;
3 – фильтр; *4* – крышка; *5* – шланг; *6* – брандспойт;
7 – распылитель; *8* – запорное устройство; 9 – ручной насос

В данной конструкции опрыскивателя нижняя часть подвижного воздушного колпака служит поршнем насоса, создающего рабочее давление 0,25...0,3 МПа [164]. Через фильтр заправочной горловины резервуар заполняют рабочей жидкостью, закрывают крышкой и укрепляют заплечными ремнями на спине. Для создания в воздушном колпаке необходимого давления достаточно 6–7 раз нажать рукоятку привода насоса. При каждом движении рукоятки силой тяги воздушный колпак поднимается вверх, под поршнем создается разрежение, и жидкость из резервуара поступает в цилиндр. Когда колпак движется вниз, пространство между поршнем и цилиндром

уплотняется манжетой, жидкость под давлением открывает шаровой клапан, поступает в воздушный колпак и сжимает воздух. При открытом запорном устройстве она вытесняется сжатым воздухом и по шлангу через фильтр попадает в распылитель, а оттуда – на объект. Для обеспечения хорошего распыления и поддержания постоянного давления в воздушном колпаке необходимо нажимать рукоятку 10–25 раз/мин.

Опрыскиватель лесной тракторный ОЛТ-1А (рис. 1.67) предназначен для борьбы с нежелательной древесно-кустарниковой и травяной растительностью, вредителями и болезнями леса. В данной конструкции за основу взят сельскохозяйственный опрыскиватель ОВТ-1В, который монтируется на трактор ТДТ-55 (ЛХТ-55) и включает: раму *1*, резервуар *2*, поршневой насос *6*, демпферное устройство *5*, эжектор, распределитель *4*, распыливающее устройство, регулятор давления, силовой агрегат с поворотным механизмом, два карданных вала, вентилятор *8*, гидроцилиндр, гидромешалку, трубопроводы и шланги *3*, *7*, арку *9*, промежуточный редуктор для передачи вращения к распыливающему устройству, карданный вал для передачи вращения от редуктора к силовому агрегату и телескопические штанги *10*, используемые для внесения арборицидной смеси.

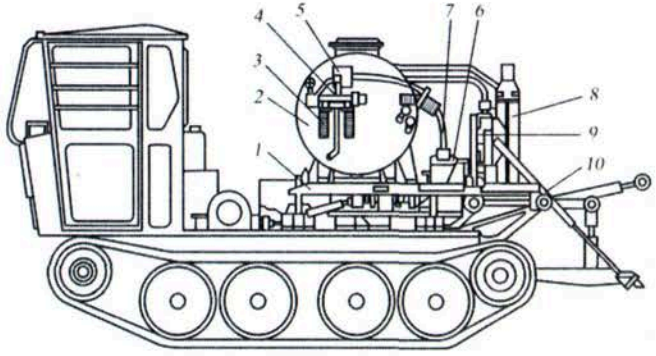


Рис. 1.67. Опрыскиватель ОЛТ-1А: *1* – рама; *2* – резервуар; *3*, *7* – шланги; *4* – распределитель; *5* – демпферное устройство; *6* – поршневой насос; *8* – вентилятор; *9* – арка; *10* – телескопические штанги

Опрыскиватель приводится в действие от ВОМ трактора. Вращение через шестерни передается на коленчатый вал насоса, а также через промежуточную карданную передачу и силовой агрегат – на колесо вентилятора. Угол наклона сопла регулируют при помощи гидроцилиндра, зубчатого сектора и шестерни, размещенных на силовом агрегате. Перед работой устанавливают необходимое давление распылителя и дозатора, закрывают вентиль эжектора, открывают кран всасывающего механизма и регулируют направление сопел. Жидкость, засасываемая насосом из бака, частично подается в гидромешалку, а основная ее часть по рукаву через дозатор поступает в рабочий орган опрыскивателя, где дробится на капли. Излишек жидкости через регулировочный клапан регулятора давления переливается в бак [164].

Опрыскиватели прицепные штанговые (рис. 1.68) предназначены для обработки пестицидами полевых культур и посадочного материала в лесных питомниках. Конструкция штанговых опрыскивателей включает в себя: шасси, рабочую емкость, устройство для перемешивания раствора, насос, регулятор давления, систему фильтрации раствора, штанги с размещенными на них распылителями. Штанговые опрыскиватели выполняются в основном в виде одноосного полуприцепа и агрегатируются с колесными тракторами [113, 164].



Рис. 1.68. Опрыскиватель прицепной штанговый

В сельском и лесном хозяйстве нашей страны и за рубежом нашли широкое применение различные конструкции прицепных и навесных опрыскивателей фирм «John Deere» (США), «Kuhn» (Франция), «Hardi» (Дания), «Jacto» (Бразилия), ООО «Агро-Тех» (Россия), «Rall» (Республика Беларусь) и др.

Однако использование опрыскивателей для угнетения пней на оросительных каналах является не только нерациональным, но и экологически небезопасным мероприятием. Как известно, рабочее оборудование опрыскивателей выполняет сплошную обработку полосы в зоне захвата рабочего органа, в то время как арборициды необходимо наносить только на сами пни. В связи с этим происходит неэффективное расходование дорогостоящих химических препаратов, которые, к тому же, попадая в больших количествах на землю или в канал, снижают качество оросительной воды и ухудшают экологическую обстановку на каналах в целом.

Как уже отмечалось ранее, для угнетения пней на оросительных каналах можно использовать технические средства комбинированного действия, которые сочетают в себе механическое повреждение поверхности и воздействие химических препаратов. Такими средствами являются инъекторы.

Инъектор порционный ИП-4 – объемно-порционный аппарат с автоматической дозировкой расхода пестицида. Служит для введения арборицидов в стволы и пни деревьев лиственных пород для подавления их жизнедеятельности и корнеотпрысковой способности [164].

Инъектор состоит из винта *1*, крышки *2*, цилиндрического резервуара *3*, двух плунжеров *4* и *5*, корпуса *6* и ножа *7* (рис. 1.69). Резервуар в верхней части закрыт крышкой с прокладкой. Крышка имеет «дыхательное» устройство. Для гашения образующейся в процессе работы пены в резервуаре расположен поплавок. В нижней части резервуара неподвижно укреплены плунжеры, оборудованные уплотнительными кольцами и клапанами. К плунжерам крепится рабочий орган – нож. Внутри последнего имеется корпус с камерами, которые снабжены всасывающими и нагнетательными

клапанами с пружиной. Плунжеры и корпус образуют дозирующее устройство инъектора. Рабочая жидкость через каналы в плунжерах самотеком поступает в полость, образованную торцом плунжера и цилиндрической полостью внутри корпуса.

Рабочий, держа инъектор рабочим органом вниз, наносит торцевой удар в прикорневую часть ствола. При внедрении режущей кромки ножа в ствол на глубину 0,5–1,5 см плунжеры перемещаются относительно корпуса, сжимая пружину. Давление жидкости в камере возрастает, в результате чего закрывается всасывающий клапан и открывается нагнетательный. Дозированный объем жидкости через седло нагнетательного клапана, преодолевая сопротивление пружины, поступает в другую камеру, где с помощью закругленной кромки седла, выступающей над плоскостью, и плоской пружины происходит завихрение жидкости и соединение ее с воздухом. Образовавшаяся пена через щель поступает на плоскость ножа, а оттуда стекает в поранение. При ударе по дереву вспомогательные режущие кромки щитков ножа внедряются в кору и, закрыв соседние участки ствола, способствуют формированию пены на стволе строго над поранением. При ослаблении давления на нож все детали инъектора под действием пружин возвращаются в первоначальное положение, при этом очередная порция жидкости заполняет дозирующее устройство. После каждого удара необходимо выдержать 3–4 с, чтобы обеспечить полное стекание раствора арборицида в поранение [164].

Такой же принцип лежит в основе работы топора-инъектора (рис. 1.70), состоящего из лезвия *1*, обуха-резервуара *2*, рукояти *3*, дозировочной емкости *4* с блоком клапанов *5*, подпружиненного поршня *6*, рукояти взвода *7*, стопора *8* с пружиной *9*, прорезей *10* в лезвии *1* и гнезда *11* [207].

Основным недостатком применения инъекторов является их малая производительность, связанная с применением ручного труда.

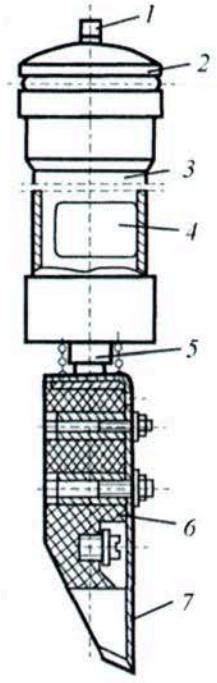


Рис. 1.69. Инъектор порциальный ИП-4:
1 – винт; *2* – крышка;
3 – цилиндрический резервуар;
4 и *5* – плунжеры; *6* – корпус;
7 – нож

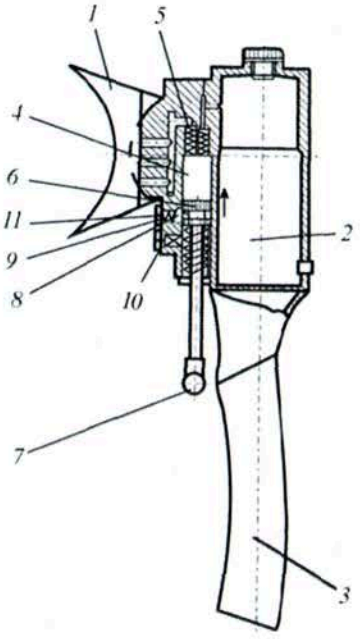


Рис. 1.70. Топор-инъектор:
1 – лезвие; *2* обух-резервуар;
3 – рукоять; *4* – дозировочная емкость;
5 – блок клапанов;
6 – подпружиненный поршень;
7 – рукоять взвода; *8* – стопор;
9 – пружина; *10* – прорези; *11* – гнездо

Рассмотрев существующие технические средства для удаления и угнетения пней, оставшихся после срезания древесно-кустарниковой растительности на каналах, можно сделать вывод о том, что перспективным направлением в ближайшие годы будет разработка оборудования и машин для локального внесения арборицидной смеси на пни. При этом целесообразно сочетать механическое повреждение поверхности пня и его дальнейшую обработку химическими реагентами (арборицидами).

1.3.6. Технические средства, применяемые для очистки каналов

Очистка каналов от древесно-кустарниковой растительности необходима главным образом для обеспечения беспрепятственного доступа каналоочистительных машин и ремонтной техники к их руслам. В комплексных технологиях эксплуатации и ремонта оросительных каналов в обязательном порядке должна быть предусмотрена очистка каналов от водной растительности, наносов, мусора и донных отложений [21, 22, 117, 224, 251, 257, 258]. Однако, как было отмечено ранее, каналоочистительные работы в последние два десятилетия выполнялись не в полном объеме, а иногда и вообще не производились, в связи с чем проблема очистки каналов с каждым годом становится все более актуальной.

Для механизации работ по очистке каналов существует множество различных самоходных и прицепных каналоочистительных машин, а также навесного рабочего оборудования к тракторам и экскаваторам общего назначения. Каналоочистительную технику можно классифицировать по схеме, представленной на рис. 1.71.

К техническим средствам с активным рабочим органом циклического действия относят каналоочистительное рабочее оборудование одноковшовых экскаваторов. Именно благодаря данным машинам достигнут высокий уровень механизации в мелиоративном производстве. Например, в аридной зоне одноковшовыми экскаваторами выполняют около 40 % общего объема земляных работ [59]. Преимущественное распространение землеройных машин общего назначения объясняется, главным образом, универсальностью их рабочих органов, выполняющих определенные виды работ, а также независимостью формы рабочего органа от профиля земляного сооружения [74, 127, 165, 266]. Одноковшовыми экскаваторами целесообразно очищать крупные магистральные и межхозяйственные каналы. При мощности слоя наносов менее 0,3 м производительность одноковшовых экскаваторов резко снижается, и применение их становится неэффективным [59, 138].



Рис. 1.71. Классификационная схема машин и механизмов для очистки мелиоративных каналов

Экскаваторы подразделяют по типу привода рабочего органа на гидравлические, канатные и комбинированные. Для очистки каналов применяют экскаваторы с обратной лопатой, драглайном, грейфером в роли рабочего оборудования. Наиболее универсальным рабочим оборудованием является обратная лопата. Для повышения производительности применяют различные специальные ковши: уширенные, профильные, с отверстиями и щелями (для выемки грунта из-под воды) (рис. 1.72) [109, 140, 266]. Уширенный ковш позволяет увеличить ширину захвата за один цикл. Наличие плоской режущей кромки на специальных ковшах обеспечивает очистку каналов без повреждений дна и откосов.

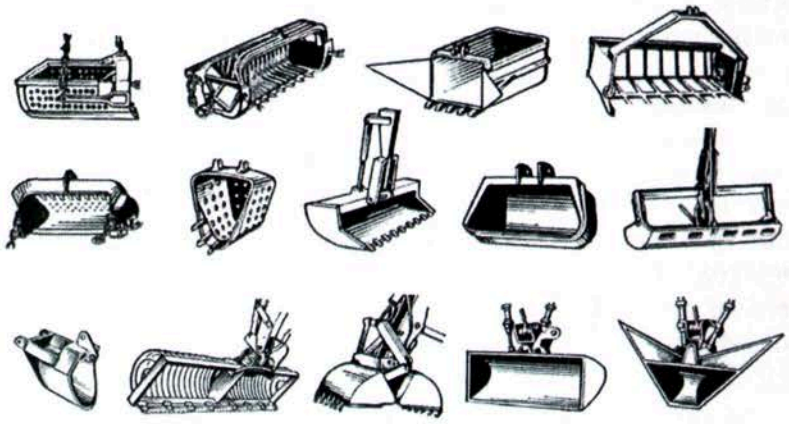


Рис. 1.72. Ковшовые рабочие органы одноковшовых экскаваторов

Одноковшовые экскаваторы позволяют эффективно очищать мелиоративные каналы от наносов с различными каменистыми, древесными и другими включениями независимо от видов грунтов, составляющих эти наносы.

Машины с активными рабочими органами непрерывного действия оснащены фрезерно-роторным, многоковшовым, скребковым, шнековым, а также комбинированным рабочим оборудованием.

К каналоочистителям с *фрезерно-роторным рабочим оборудованием* относят машины МР-10, МР-12, МР-14. Рабочие органы, представляющие собой сочетание фрез с метателями, производят зарубежные фирмы «Yumbo S.A.» (Франция), «Barth Holland» (Нидерланды), «Pietro Dondi and Figli» (Италия), «Melio-Maschinenbau» (Германия) и др. [241, 299].

В зависимости от установки фрезы каналоочиститель может очищать как дно и откосы, так и весь профиль поперечного сечения канала. Очистку канала осуществляют в один или несколько проходов. Фрезерно-роторные каналоочистители высокопроизводительны в торфяных и легких минеральных грунтах, но не способны работать в каменистых и сухих мине-

ральных грунтах из-за сильного нагрева рабочего оборудования и ударов при отбрасывании. Также в сухих минеральных грунтах ножи фрезы скользят, не срезая стружки, быстро затупляются и выходят из строя [59, 74, 140, 165, 166, 213, 230].

К машинам с *многоковшовым рабочим оборудованием* относят экскаваторы ЭМ-152, ЭМ-202, МР-15 (СССР) и их зарубежные аналоги, выпускаемые фирмами «Peerbes Dragger» (США), «Lincoln» (Великобритания) и др. [59, 74, 138, 140, 165, 166, 208, 213, 230, 299]. Они представляют собой самоходную машину с цепным многоковшовым рабочим органом поперечного или продольного копания. За один проход такие машины могут очищать дно и один откос канала, а при необходимости только дно или только откос. Основными недостатками данного рабочего оборудования являются: большая масса, многопроходность, низкая удельная производительность многоковшовой цепи.

Скребковые рабочие органы применяют для очистки дна и откосов каналов малых сечений (глубиной до 2 м) [59, 74, 140, 165, 166, 213, 230]. Рабочим органом скребкового каналоочистителя служит цепь со скребками. Скребковые каналоочистители отличаются малой массой, но также имеют ряд недостатков – машины не могут работать в каменистых грунтах, в грунтах с древесными включениями, в сухих или сильно переувлажненных грунтах (так как грунт стекает со скребков или налипает на них), грунт укладывается у бровки канала, что требует очистки бермы.

Рабочим органом *шнековых* каналоочистителей служит шнек, который движется в плоскости, параллельной оси канала и перемещает грунт к лопастному метателю, отбрасывающему его на берму. Шнековые каналоочистители с различными диаметрами шнеков в соответствующих условиях имеют высокую производительность. Неблагоприятными факторами для них являются плотные и сухие наносы, каменистые грунты и грунты с древесными включениями.

Каналоочистители со шнековым рабочим оборудованием производят как в нашей стране (МР-10, МР-12, МР-15, МК-14

и др.), так и за рубежом («Wulff», «Moorburg», «Frisland» (Германия), «Hirst» (Великобритания), «Janmar», «Komatsu» (Япония)) [74, 131, 138, 140, 165, 230, 241, 299].

Еще одним механизмом для очистки мелиоративных каналов от наносов является землесосный снаряд, который представляет собой плавучую землеройно-транспортную машину непрерывного действия. В связи с тем, что землесосные снаряды могут разрабатывать грунт только из-под воды, их применяют в основном при очистке земляных русел крупных магистральных каналов (в магистральных облицованных каналах наносы практически отсутствуют). Кроме того, для работы земснаряда необходим большой объем воды, так как процесс разработки требует на 1м^3 грунта около 10 м^3 воды [131, 277, 292]. В связи с этим после окончания поливного сезона в канале необходимо поддерживать достаточно высокий уровень воды для обеспечения работоспособности земснаряда, а также обеспечить сток воды из выбрасываемой из канала пульпы. Грунты, засоренные крупными камнями, пнями, топляками разрабатывать земснарядами нерентабельно [74, 140, 165, 208, 277, 292]. Высокая стоимость земснарядов и их узкая специализация не позволяет содержать их службам, занимающимся эксплуатацией и ремонтом мелиоративных каналов.

К машинам с пассивными рабочими органами относят каналоочистители плужного типа. Достаточно широкое распространение получили внутриканальные каналоочистители. Основными недостатками данных машин являются их низкая эффективность, необходимость использования энергоемких тракторов и возможность очистки только каналов малых поперечных сечений.

Технологические схемы проведения работ по удалению наносов и донных отложений на каналах глубиной и шириной по дну менее 3 м (каналы I–III-го типоразмеров – см. табл. 1.4) представлены на рис. 1.73, на крупных каналах глубиной и шириной по дну более 3 м – на рис. 1.74. При этом, если канал заполнен водой, основную технологическую операцию выполняют в подводном забое рабочим оборудованием экскаватора (при глубине воды не более 1,0–1,5 м) или плавучего мелиоративного земснаряда (в остальных случаях).

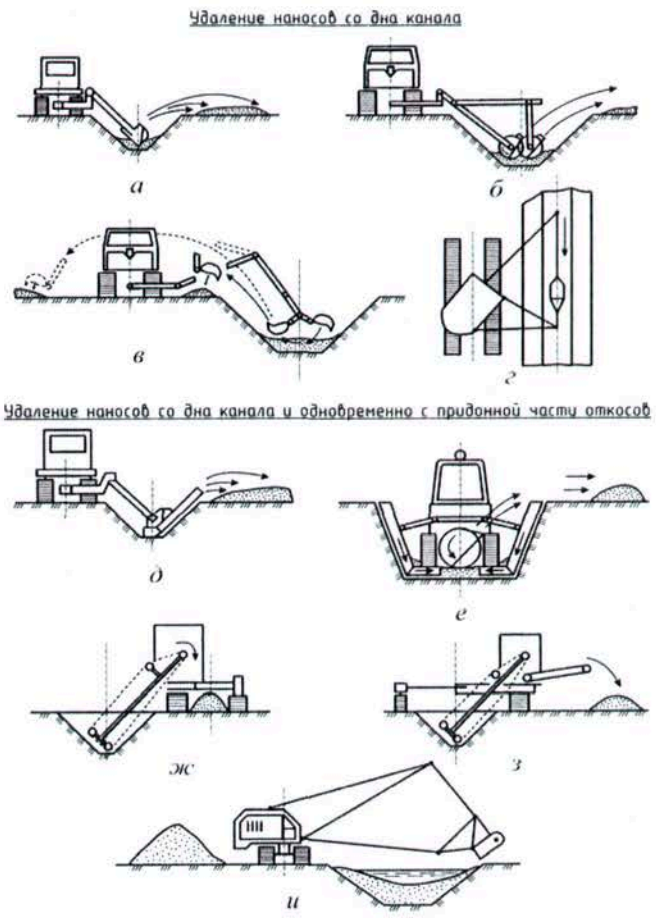


Рис. 1.73. Технологические схемы проведения работ при очистке от наносов земляных русел каналов малых типоразмеров: *а* – каналоочиститель с роторным рабочим органом; *б* – каналоочиститель с двухроторным рабочим органом; *в* – экскаватор или каналоочиститель с поворотным ковшом обратной лопаты; *г* – экскаватор с оборудованием боковой драглайн; *д* – каналоочиститель с шнеко-роторным рабочим органом; *е* – внутриканальный каналоочиститель на базе узкогабаритного трактора с зачистными отвалами и роторным рабочим органом; *ж, з* – экскаватор или каналоочиститель с многоковшовым или скребковым рабочим оборудованием; *и* – экскаватор с рабочим оборудованием драглайн

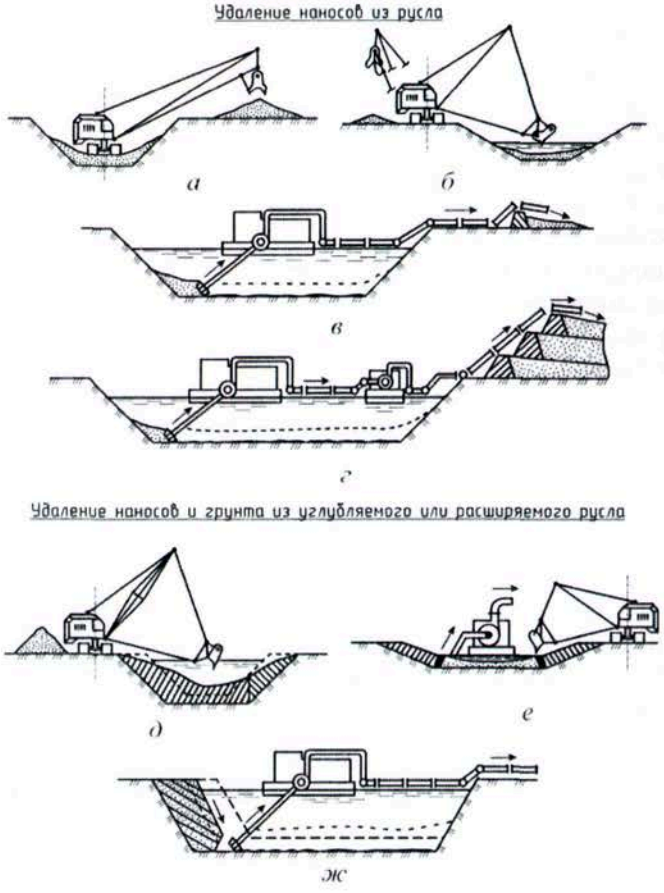


Рис. 1.74. Технологические схемы проведения работ при очистке и углублении русл крупных каналов, малых рек, прудов и водохранилищ: *а* – экскаваторы с оборудованием обратная лопата, драглайн или грейферный ковш; *б* – экскаваторы с оборудованием драглайн; *в* – мелиоративные земснаряды с гидравлическим, фрезерным или черпаковым рабочим органом; *г* – мелиоративные земснаряды с фрезерным рабочим органом и с плавучей перекачивающей станцией; *д* – экскаваторы с оборудованием драглайн; *е* – экскаваторы с драглайном или обратной лопатой совместно с земснарядами, оборудованными фрезерным рабочим органом; *ж* – земснаряды с фрезерным рабочим органом

Подводя итог анализа основных технических средств, применяемых для удаления наносов и донных отложений из каналов, необходимо отметить, что из всех конструкций каналоочистительных машин наиболее эффективными являются машины с активными рабочими органами циклического действия (одноковшовые экскаваторы) в силу их надежности, универсальности и мобильности. Также необходимо отметить, что парк машин организаций, занимающихся эксплуатацией и ремонтом оросительных каналов, почти всегда оснащен экскаваторами II и III размерных групп. Однако существующее оборудование экскаваторов в виде обратной лопаты по своим параметрам не всегда подходит для очистки каналов. Например, экскаваторы III размерной группы со стандартным рабочим оборудованием в виде обратной лопаты могут производить очистку только каналов глубиной до 2,5 м или же каналов с пологими откосами (1:1,5; 1:1,75). Таким образом, одним из приоритетных направлений дальнейшего развития механизации эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах является совершенствование существующего и разработка нового каналоочистительного оборудования к экскаваторам II и III типоразмерных групп.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КАНАЛОВ ОТ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

2.1. Алгоритм моделирования структуры новых технологий и составления технологических комплексов машин

При осуществлении эксплуатационно-ремонтных работ на каналах любые мероприятия необходимо проводить в соответствии с предварительно разработанной технологией.

При этом разработка и внедрение научно обоснованных технологий обязательно должна включать:

- углубленное изучение полученного технического задания;
- всесторонний анализ существующих или аналогичных технологий и технических средств (проработку исследовательской и патентно-технической литературы);
- определение логической последовательности выполнения технологических операций;
- подбор эффективных технических средств с учетом предъявляемых к ним технологических требований;
- разработку системы оценки качества выполняемых технологических операций;
- экспериментальную проверку и последующую корректировку созданной технико-технологической схемы.

На рис. 2.1 изображен предложенный нами алгоритм моделирования структуры новых технологий и составления технологических комплексов машин. Данный алгоритм универсален и может быть использован для разработки большинства технологий в различных отраслях сельскохозяйственного производства. Наши теоретические исследования по совершенствованию технологий очистки каналов основаны на использовании предлагаемого алгоритма с учетом результатов анализа информации из многочисленных научных работ, в которых рассматривались технологии, применяемые как в России, так и за рубежом [37, 73, 75–78, 91, 92, 99, 105, 154, 164, 192, 229, 275, 301].

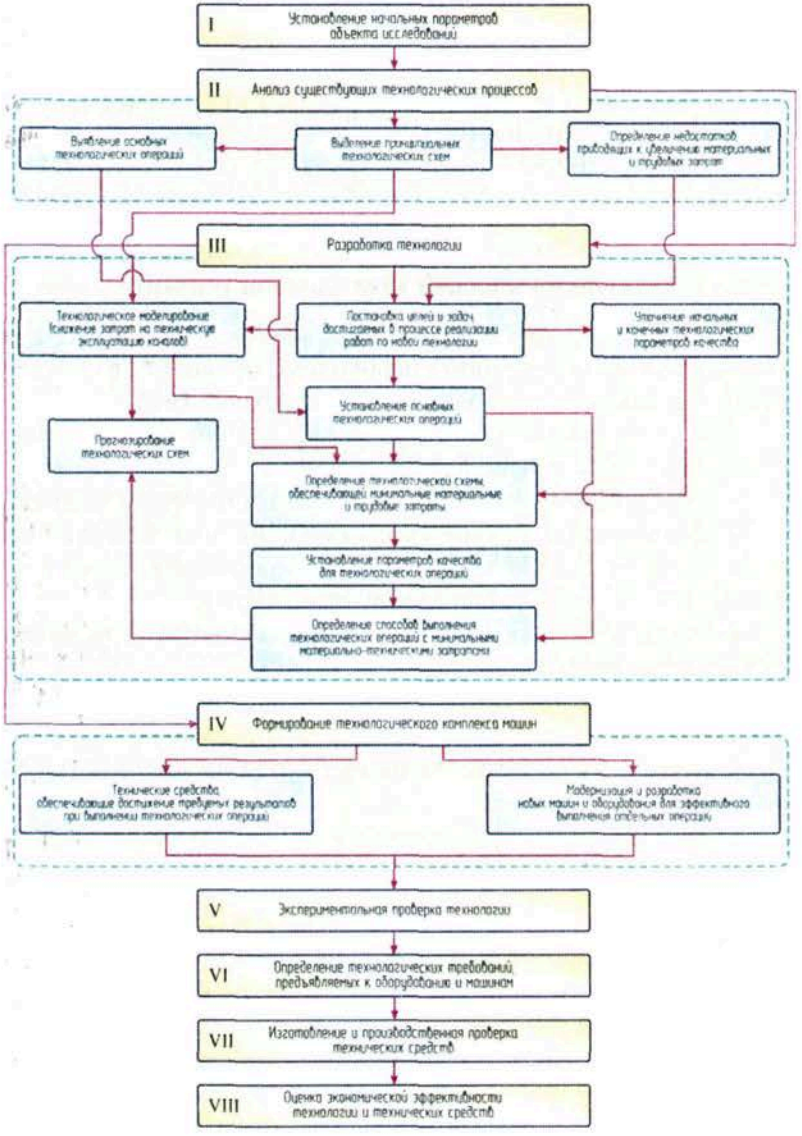


Рис. 2.1. Алгоритм моделирования структуры новых технологий и составления технологических комплексов машин

Основным побочным продуктом рассмотренных ранее технологий является срезанная древесно-кустарниковая растительность. Раньше ее просто сжигали на оросительных каналах, загрязняя окружающую среду и засоряя местность несгоревшими фрагментами. Однако данная растительность является ценнейшим сырьем, которое в результате переработки может принести значительную прибыль, снижающую затраты на очистку оросительных каналов.

2.2. Рациональное использование древесины удаляемой растительности

Удаляемая на каналах древесная растительность является ценным природным сырьем. Учитывая наличие значительных запасов древесины на заросших кустарником каналах, постоянный рост стоимости древесины лиственных пород и катастрофическое сокращение древесных ресурсов в европейской части России [99], наиболее целесообразным представляется разработка и применение на практике новых и совершенствование имеющихся способов переработки низкокачественной древесины.

Выбор того или иного способа использования древесины должен быть сделан с учетом таких факторов, как видовой состав удаляемой древесной растительности, ее запас на единицу площади, наличие необходимого оборудования, транспортных условий, потребность в производимой продукции. При этом способ использования древесины будет являться основой при моделировании структуры безотходного технологического процесса. Именно выбранный способ определит состав и последовательность операций, позволит установить необходимые параметры качества для выполняемых работ, что в свою очередь определит тип применяемых машин и оборудования. Кроме того, выбранный способ утилизации удаляемого кустарника должен обеспечивать максимальный экономический эффект при минимальных затратах труда, а также снизить вредное воздействие, оказываемое на окружающую среду.

Древесина кустарника и мелколесья по своим физическим, химическим и технологическим свойствам представляет собой полноценное древесное сырье, которое может компенсировать потребности ряда отраслей промышленности.

И.А. Гинтовт и К.И. Преображенский в своей работе [91] подчеркивают, что древесина с залесенных и закустаренных мелиорируемых земель по своим техническим свойствам является полноценным промышленным сырьем, превышающим по качеству древесину от рубок ухода.

Для объективной оценки качества древесины кустарника и мелколесья рассмотрим ее химический состав. Древесина лиственных пород состоит из сложных органических веществ, часть которых образует клеточную оболочку (целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза, пентозаны и гексозаны), а часть содержится в полости клеток (дубильные и красящие вещества, смолы, эфирные масла). В свою очередь, в состав данных органических веществ входят углерод, водород, кислород и небольшое количество азота. В среднем абсолютно сухая древесина содержит 49–50 % углерода, 43–44 % кислорода и 6–7 % водорода [91, 105, 229].

Состав древесины ствола и ветвей различается незначительно, так же как состав древесины деревьев и кустарников. Кроме органических веществ в древесине содержатся минеральные соединения, при сгорании которых образуется зола. В состав золы входят главным образом соли щелочно-земельных металлов. Наибольшее количество золы дают кора и листья, поэтому при сгорании молодых деревьев и кустарников образуется большее количество золы [91].

Об удобрительной ценности различных частей надземной массы древесной растительности можно судить по их химическому составу сравнительно с другими материалами (табл. 2.1) [229].

Приведенные в табл. 2.1 данные свидетельствуют о том, что содержание углеводной фракции (целлюлоза, лигнин и гемицеллюлоза) в древесине значительно превышает ее содержание в соломе и навозе. При этом содержание большого

количества целлюлозы делает древесину весьма привлекательным источником сырья для производства технической целлюлозы (полуфабрикат для производства бумаги).

Таблица 2.1

Химический состав различных материалов (по Л.Н. Каретину), % на сухое вещество

Фракционный состав	Листья	Кора	Древесина	Навоз	Люпин
Целлюлоза	16,9	20,5	38,9	22,2	28,7
Гемицеллюлоза	25,2	29,9	27,1	11,5	10,3
Лигнин	9,8	17,4	23,0	24,4	5,7
Зола	4,9	3,0	0,9	27, 0	5,1
Азот	2,7	1,2	0,4	2,2	2,6
Фосфор	0,42	0,21	0,08	1,2	0,4
Калий	1,94	1,23	0,64	2,4	1,2

Далее рассмотрим способы полезного использования удаляемой древесно-кустарниковой растительности. При этом следует отметить, что современные химические и химико-механические способы комплексной переработки древесины позволяют использовать в народном хозяйстве всю древесную массу любых пород, размеров и форм, включая корни и листья. Однако заслуживают внимания и более простые способы утилизации низкосортной древесины (кустарника), использование которой в промышленности не всегда экономически и технически оправдано [91].

2.2.1. Анализ способов рационального использования древесины кустарника и мелколесья

Анализ научных исследований [37, 73, 75, 76, 99, 232, 292, 301] позволил выявить ряд способов утилизации древесины кустарника и мелколесья, которые будут рассмотрены ниже.

Биологическая утилизация древесно-кустарниковой растительности. Данный способ заключается в заделке неизмельчен-

ной древесины в почву для увеличения запасов органических веществ. При этом процесс разложения древесины в почве происходит в результате действия микроорганизмов, потребляющих азот. Так как древесина содержит большое количество углерода и сравнительно бедна азотом, то процессы разложения протекают крайне медленно. Дольше всего разлагаются крупные ветви и стволы, которые могут стать препятствием для почвообрабатывающих машин. Кроме того, утилизация кустарника таким способом требует выполнения множества дополнительных технологических операций, что в условиях проведения работ на каналах неприемлемо.

Заготовка стволовой древесины из удаляемой растительности. Данные работы производят с использованием ручного труда и средств малой механизации (например, бензомоторных пил). Пригодность древесного ствола для получения деловых сортиментов выявляют, в соответствии с требованиями ГОСТа, путем осмотра ствола и визуального определения размеров имеющихся на нем пороков. Из стволовой древесины изготавливают различные токарные и столярные изделия. Также ее можно использовать как мелкую поделочную древесину для изготовления кольев, жердей и подпорок. Однако выход стволовой древесины при переработке древесно-кустарниковой растительности, распространенной на каналах, невысок, так как большинство стволов кустарника короткие, искривленные и имеют множество дефектов. Таким образом, значительная часть удаляемой растительности при заготовке из нее стволовой древесины не находит хозяйственного применения.

Заготовка тонкомерной древесины. К тонкомерной древесине относятся круглые лесоматериалы с обрубленными ветками диаметром в верхнем отрубе от 2 до 8 см при длине 1–3 м [91]. Тонкомерную древесину используют как сырье для выработки целлюлозно-бумажной и гидролизной продукции. При отсутствии поблизости целлюлозно-бумажных и гидролизных предприятий тонкомерную древесину можно перерабатывать в продукцию ширпотреба. Таким образом,

из тонкомерной древесины изготавливают штакетник веерный, тарную и бондарную дощечки, штукатурную дранку, топорища, черенки для молотков, лопат и метел, упаковочную стружку и т. п. Однако при заготовке тонкомерной древесины помимо прочего используют ручной труд, а много мелких ветвей и сучьев, не нашедших хозяйственного применения, оставляют на месте проведения работ, захламляя территорию.

Заготовка дров. Для заготовки дров можно использовать стволы и ветви кустарника диаметром не менее 3 см (в коре), при этом количество тонкого кругляка (толщиной 3–6 см) при поставках не должно превышать 20 % от общего объема партии. Дрова используют для отопления, углежжения и сухой перегонки. Для дров, идущих на отопление, установлена следующая длина поленьев: 0,25; 0,33; 0,50; 0,75 и 1,0 м; для углежжения допускается длина 1,25 м. Пороки древесины, за исключением гнилья, допустимы в любых дровах без ограничения. В дровах для отопления допускается наличие не более 65 % гнили от торцевой площади полена, в дровах для сухой перегонки – не более 3 %, в кругляке для углежжения – не более 15 % [73]. Заготовка дров, по сравнению с заготовкой стволовой и тонкомерной древесины, позволяет более полно использовать древесину удаляемой растительности, но также требует значительных затрат, так как все работы выполняют вручную.

На практике целесообразней всего производить комплекс работ с одновременной заготовкой дров, тонкомерной и стволовой древесины, что позволяет использовать отдельные части древесно-кустарниковой растительности по наиболее рациональным направлениям.

Более сложно обстоит дело с утилизацией мелких ветвей и сучьев, так как эта древесина не удовлетворяет предъявляемым к техническому сырью требованиям. Но и эти части кустарника можно частично использовать при изготовлении фашинника, метел, плетневых щитов (служат для задержания снега, устройства кард, навесов, запруд) [1, 13, 33, 232].

Некоторые части древесно-кустарниковой растительности могут быть использованы в животноводстве в качестве корма. В живых клетках дерева содержится много биологически активных компонентов, витаминов, ферментов, гормонов, фитонцидов, белков, жиров, углеводов и других веществ, пригодных для лечебных, пищевых и кормовых целей. Веточный корм применяют в животноводстве для возмещения недостатка грубых кормов (сена, соломы), а также для употребления в качестве более питательного сочного корма или витаминных добавок. Древесную зелень лиственных пород, к которой относятся покрытые листьями побеги с диаметром среза до 6 мм, используют для заготовки веников и силоса [87]. Однако заготовка корма из удаляемой древесной растительности в производственных масштабах сопряжена с большими трудностями, так как изготовление подобной продукции не механизировано, а себестоимость его высока.

Для повышения транспортабельности срезанного кустарника и мелколесья применяют прессование или пакетирование. При прессовании возможно получение блоков определенной геометрической формы с достаточно ровной поверхностью и плотностью 600–650 кг/м^3 (объемная масса плотной древесины) [13, 73]. Однако пакетирование и прессование представляют собой достаточно сложный технологический процесс, который к тому же требует значительных затрат энергии.

Проведенный нами анализ работ многих российских и зарубежных ученых, а также собственные исследования [1, 3, 10–13, 16, 19, 23, 33, 37, 66, 73, 78, 87, 91, 92, 105–107, 122, 126, 147, 154, 180, 211, 242, 275, 292–298, 306–310] позволили установить, что основным направлением переработки низкокачественной древесины является измельчение ее в щепу. При этом из 1 м^3 древесины кустарника и мелколесья можно получить до 0,85 м^3 щепы [37, 296]. Учет щепы ведут в насыпных кубических метрах с последующим переводом в кубометры плотной массы. Для перевода насыпного объема щепы в плот-

ные кубометры используют следующие переводные коэффициенты полнодревесности: 0,36 – до отправки потребителю; 0,4 – при перевозке на расстояние до 50 км; 0,42 – при транспортировании на расстояние более 50 км [73, 78].

Переработка удаляемой древесно-кустарниковой растительности на щепу, по сравнению с другими способами утилизации кустарника и мелколесья, имеет целый ряд достаточно весомых преимуществ:

- для производства щепы пригодна древесина всех пород (за исключением некоторых твердолиственных);
- обеспечивается переработка всей удаляемой древесной растительности;
- измельчение кустарника в щепу позволяет полностью механизировать процесс утилизации удаляемой древесины;
- щепа может быть использована в различных отраслях промышленности для производства разнообразной продукции, поэтому с легкостью находит конечного потребителя;
- при определенных условиях производство щепы может быть вполне рентабельным, а получаемая при этом прибыль позволяет частично компенсировать материальные затраты на эксплуатационные работы по уходу за каналами;
- переработка кустарника и мелколесья на щепу позволяет предотвратить экологический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха золой, выделяющейся при утилизации древесины методом сжигания, и полностью исключает захламление земель, прилегающих к каналам, удаляемой растительностью.

Качество щепы является одним из главных показателей, определяющих направление ее дальнейшего использования. Основными критериями качества щепы являются ее фракционный состав и степень загрязнения корой, гнилью и минеральными примесями. Таким образом, выбор технологического оборудования для производства щепы осуществляют в зависимости от предъявляемых к ней требований, которые в свою очередь устанавливают исходя из того, для производства

каких продуктов или в каких иных целях она будет использована. Следовательно, изучение основных направлений использования щепы позволит выявить, производство какой щепы будет наиболее выгодным, и, в соответствии с этим, произвести выбор оборудования для переработки удаляемой древесной растительности.

2.2.2. Основные направления использования щепы, получаемой из низкосортной древесины

В зависимости от назначения щепу подразделяют на технологическую, кровельную, кусковую (топливную), тонкомерную (кормовую) и энергетическую (рис. 2.2) [23, 73, 105, 180, 301]. Соответственно, к каждому виду щепы предъявляют особые требования относительно состава древесной фракции, влажности, допустимой доли минеральных примесей.

Достаточно широкий спектр использования в различных отраслях промышленности имеет технологическая щепа. В зависимости от назначения размеры технологической щепы можно варьировать (согласно ГОСТ 15815–70 «Щепа технологическая»): по длине от 5 до 60 мм, а по толщине от 5 до 30 мм [73, 87]. При уровне влажности данной щепы не менее 40 % ее можно использовать как сырье в целлюлозно-бумажной и деревоперерабатывающей промышленности для производства технической целлюлозы, полуцеллюлозы, тарного картона, прессшпана, технических сортов бумаги, древесноволокнистых и древесностружечных плит (ДСП, ДВП, ЦСП и т. д.) [1, 10, 13, 37, 87, 105, 147, 180, 292].

Технологическая щепа, полученная из древесины, удаляемой при проведении мелиоративных мероприятий, может быть использована в собственном мелиоративном строительстве: для засыпки дренажных траншей, укрепления откосов каналов, утепления трасс каналов и траншей, заделки в почву, планировки мелиорируемых территорий [105].

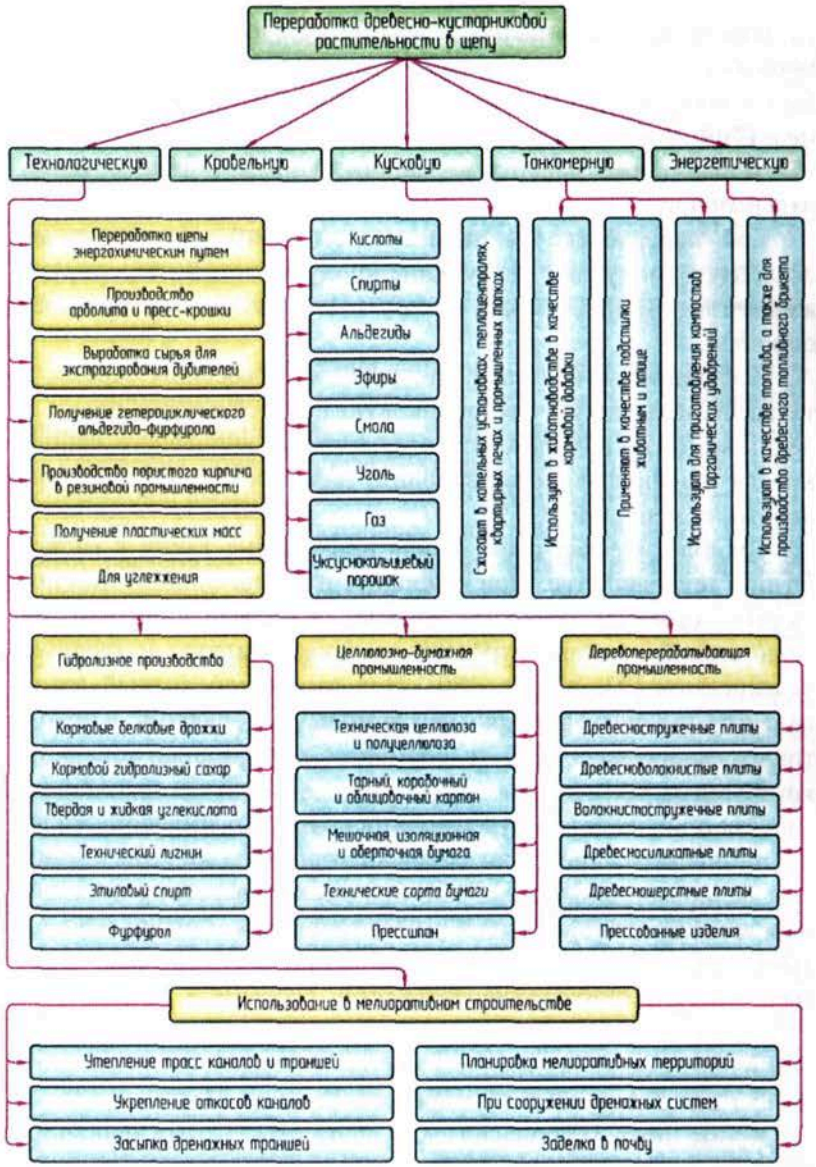


Рис. 2.2. Пути использования щепы получаемой из низкосортной древесины

Измельченную в щепу древесину кустарника можно применять в качестве фильтрующего материала при сооружении дренажных систем, причем не менее 50 % от всего объема измельченной древесины должна составлять фракция размером 15–20 мм, также допустимо наличие коры, листьев и минеральных примесей [105].

При переработке технологической щепы энергохимическим путем получают следующие продукты: кислоты, спирты, альдегиды, эфиры, смолу, уголь, газ и уксусно-кальциевый порошок.

Исследования показали, что щепу из древесины березы, а также измельченную кустарниковую растительность ольхи и лещины можно использовать в качестве органического наполнителя при производстве арболита для строящихся промышленных помещений [13, 99, 177].

Технологическая щепа нашла применение также в гидролизном производстве. При гидролизе из древесины можно получить кормовые белковые дрожжи, этиловый спирт, сахар, технический лигнин, фурфурол, а также жидкую и твердую углекислоты [73, 87, 91, 180]. При этом гидролизный сахар является высокоэффективным кормовым продуктом, 1 кг которого эквивалентен 20 кг кормовых корнеплодов или 3 кг комбикорма [91].

Для производства фурфурола используют древесину только лиственных пород, в то время как при производстве кормовых белковых дрожжей можно применять древесину лиственных и хвойных пород в любом соотношении. Лигнин используют для производства пористого кирпича в резиновой промышленности (как наполнитель) [91].

Ведутся эксперименты по использованию щепы (полученной из древесины лиственных пород) в углежжении. При этом из 75 т щепы получается 2 т древесного угля [175].

Кроме того, технологическая щепа может быть использована для получения гетероциклического альдегида-фурфурола, производства пластических масс и выработки сырья для экстрагирования дубителей.

Кусковая (топливная) щепа размером по длине волокна 21–100 мм предназначена для сжигания в котельных установках, квартирных печах и промышленных топках [3, 105].

Тонкомерная (кормовая) щепа состоит из мелкой древесной фракции размером по длине волокна 3–6 мм и помимо использования в качестве кормовой добавки применяется для подстилки животным и птице, а также в приготовлении компостов (органических удобрений, получаемых в результате разложения органических отходов растительного происхождения) [105].

Измельченная древесина, содержащая кору и листья, является дополнительным источником органических удобрений. Однако применение только измельченной древесины в качестве удобрения почвы малоэффективно. Внесение ее в почву в первые годы вызывает азотное голодание растений, и лишь по истечении времени питательные элементы становятся доступными растениям. Недостаток азота можно компенсировать одновременным добавлением азотистых удобрений в почву вместе со щепой. Поэтому для удобрения почвы лучше всего использовать компосты.

Энергетическую щепу, состоящую из мелких древесных фракций, используют в качестве топлива для сжигания в топках котельных и ТЭЦ [105, 187]. Поэтому жестким требованием, предъявляемым к древесному сырью, является соблюдение допустимой доли минеральных примесей, которая не должна превышать 1 % [105]. При этом удельная теплота сгорания 1 плотного кубометра щепы составляет 10 500 МДж [272].

Еще одним перспективным направлением применения щепы является использование ее в качестве топлива для газогенераторов, в которых происходит преобразование твердого топлива в газообразное. Анализ затрат на отопление предприятий, применяющих газогенераторы, показывает, что их затраты на топливо от 1,5 до 18 раз меньше, чем при традиционном сжигании топлива в котлах или отоплении электронагревательными установками (см. диаграмму на рис. 2.3) [272]. При использовании же собственных древесных отходов или при самозаготовках щепы стоимость тепловой энергии еще более снижается.

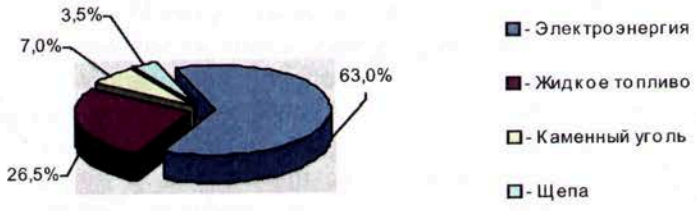


Рис. 2.3. Соотношение экономических затрат на получение 1 Гкал тепловой энергии

Анализ теоретических материалов [73, 87, 91, 105, 126, 148, 187, 293, 296, 298, 301, 306–310] позволил установить, что применение щепы в качестве топлива является основным направлением ее использования в России, США, Канаде и странах Западной Европы. При этом мировым лидером в области использования биомассы в энергетических целях является Финляндия. В настоящее время доля энергии, получаемой из древесного топлива, в топливном балансе этой страны составляет 20 % [187]. Стоимость щепы на рынке Финляндии в 2005 г. составила 10,4 евро за 1 МВт·ч, что эквивалентно 101,5 дол. США за 1 т условного топлива. Помимо этого котельные и ТЭЦ Финляндии активно торгуют квотами на CO_2, что приносит им дополнительную прибыль от использования древесного топлива в размере 20–22 евро за 1 т CO_2 [187].

Согласно исследованиям ученых США [296, 301], спрос на энергетическую щепу напрямую зависит от цен на реликтовые виды топлива – нефть, газ и уголь. В современных условиях, с учетом высоких цен на нефть и газ, энергетическая щепа является вполне конкурентоспособным источником тепловой энергии.

Известно, что многие углеродосодержащие отходы, как и сырая древесина, не способны к поддержанию автогенного (самоподдерживающегося) процесса горения ввиду высокой влажности. Для стабилизации процесса горения рекомендуется купажирование влажной древесины с более качественным

топливом, сушка и другие методы. Группа компаний ПЭМ-КПК предлагает различные схемы и технологии, реализующие прямое сжигание, подготовку (сушку) и газификацию древесных отходов, в том числе с получением силового газа [89].

Генераторный газ можно сжигать в газовых и мазутных котлах и использовать в качестве топлива для двигателя внутреннего сгорания после охлаждения, очистки (силовой газ) и незначительных доработок двигателя. При этом последний приводит в движение электрогенератор, производящий электроэнергию стандартных параметров (380 В, 50 Гц). Отходящие газы температурой 470...730 °С (зависит от вида двигателя внутреннего сгорания и топлива) используют для обеспечения потребности в тепловой энергии и в качестве сушильного агента для внутрициклового применения. Себестоимость получаемой электроэнергии составляет 0,5–0,7 руб./кВт·ч при стоимости древесных отходов 300–500 руб./т.

Теплотворная способность получаемого генераторного газа составляет 1050–1600 ккал/кг, удельная масса – от 0,97 до 1,15 кг/м^3. Выход газа в среднем 1,8–2,5 м^3 на каждый килограмм газифицируемого топлива, влажность которого может достигать 50 %.

По оценкам специалистов, производство 0,2–2 МВт электроэнергии из древесных отходов (в том числе и древесной щепы) на газопоршневой электростанции позволяет повысить КПД, в 2–3 раза снизить выбросы оксидов, сократить (до 60–80 %) капитальные затраты по сравнению с типовым паросиловым циклом ТЭЦ – «котел – паровая турбина» [89].

С целью улучшения транспортабельности и придания энергетической щепе удобного вида для использования в квартирных печах и промышленных топках осуществляют ее брикетирование. Применяемые в настоящее время в разных странах топливные брикеты можно разделить на три группы: брусковые, шашечные и цилиндрические (рис. 2.4) [87].

В Западной Европе и США отдается предпочтение шашечным и цилиндрическим брикетам больших размеров, что объясняется стремлением к удешевлению брикетных установок.



Рис. 2.4. Древесные топливные брикеты

Физико-механические свойства древесных топливных брикетов представлены в табл. 2.2 [105]. Наиболее важным показателем для топливных брикетов является объемная масса, с повышением которой повышаются показатели всех свойств.

Таблица 2.2

Физико-механические свойства древесных брикетов

Средняя плотность, кг/м³	1050
Предел прочности на статический изгиб, МПа	1,5
Влажность, %	10...15
Рабочая теплота сгорания, МДж/кг	16...19

Для брикетирования щепы специальные прессы не выпускают, а используют прессы для брикетирования торфа.

Б.М. Кизяев и З.М. Мамаев [133] указывают на необходимость в перспективе создать мобильную установку для производства древесных топливных брикетов из измельченной древесины. Согласно их исследованиям и расчетам, это вполне осуществимый и эффективный проект, причем топливный брикет как изделие вполне может стать экспортным товаром. Кроме того, древесные брикеты станут хорошей альтернативой газу и углю в регионах, испытывающих постоянный дефицит энергоносителей.

Подводя итог, можно сделать следующее заключение: наиболее приоритетным направлением переработки древесно-кустарниковой растительности является получение из нее энергетической щепы, которую можно использовать в качестве топлива или сырья для производства древесного топливного брикета.

2.3. Ресурсосберегающая технология очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности

С целью определения эффективных способов и средств механизации для удаления древесно-кустарниковой растительности и ее переработки дополнительному анализу были подвергнуты технологии, применяемые для выполнения аналогичных работ в культуртехнике при освоении закустаренных земель, а также в лесном хозяйстве при расчистке территорий вырубок под лесовозобновление [37, 73–78, 91, 92, 99, 105, 154, 164, 192, 229, 259, 301].

В результате данного анализа были сделаны следующие выводы:

1. Операции по срезке и сбору древесной растительности наиболее эффективно осуществлять поточным методом, причем максимальный разрыв между этими операциями не должен превышать трех дней [168]. Недопустимо оставлять срезанную растительность не собранной в кучи на длительное время, так как вновь появившаяся поросль, переплетаясь со срезанной массой, значительно осложняет в последующем процесс очистки территории.

2. Эффективной схемой при производстве древесной щепы является переработка срезанного древостоя непосредственно на очищаемом объекте в передвижных рубильных машинах, так как транспортировка древесно-кустарниковой массы к стационарным рубильным машинам экономически не оправдывает себя, а пакетирование или прессование срезанного кустарника требует значительных энергозатрат.

3. Исследования ученых США показали, что производство щепы экономически выгодно при условии, что оно является вторичной целью при выполнении основной задачи (напри-

мер, при очистке территории от древесных остатков). В нашем случае главной задачей является удаление кустарника и мелколесья вдоль оросительных каналов, а древесная щепа может стать побочным продуктом, получаемым в результате реализации данной задачи.

4. Перед переработкой древесной растительности на щепу выдерживается технологическая пауза для подсыхания удаляемой древесины. По различным теоретическим данным [75, 91, 301] время технологической паузы может длиться от одной недели до двух месяцев, в зависимости от климатических условий и времени года.

5. Транспортировку получаемой щепы к местам ее дальнейшего использования или хранения осуществляют параллельно с измельчением удаляемой древесины. При этом в качестве транспортных средств для перевозки щепы используют автощеповозы и автосамосвалы с наращенными бортами.

На основании данных выводов нами была разработана новая ресурсосберегающая технология очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности (рис. 2.5).

В предлагаемой технологии отражены рекомендуемые временные периоды проведения операций, приведены наименования технологических операций и указаны технические средства для их выполнения.

Предлагаемая технология разделена на несколько блоков:

I. *Блок подготовительных работ*, который включает в себя:

1. Проведение визуального осмотра поверхностей берм и откосов каналов, а также удаление из зоны выполнения работ посторонних предметов, которые могут повредить рабочее оборудование используемых в дальнейшем технических средств.

Для проведения подготовительных работ достаточно использовать транспортные средства для сбора и вывоза посторонних предметов с каналов и задействовать двух подсобных рабочих.

II. *Блок основных работ*. Рекомендуемое время проведения – май – июль, но вполне возможно выполнение работ и в апреле, когда еще отсутствует листва на деревьях и каналы не заполнены водой.

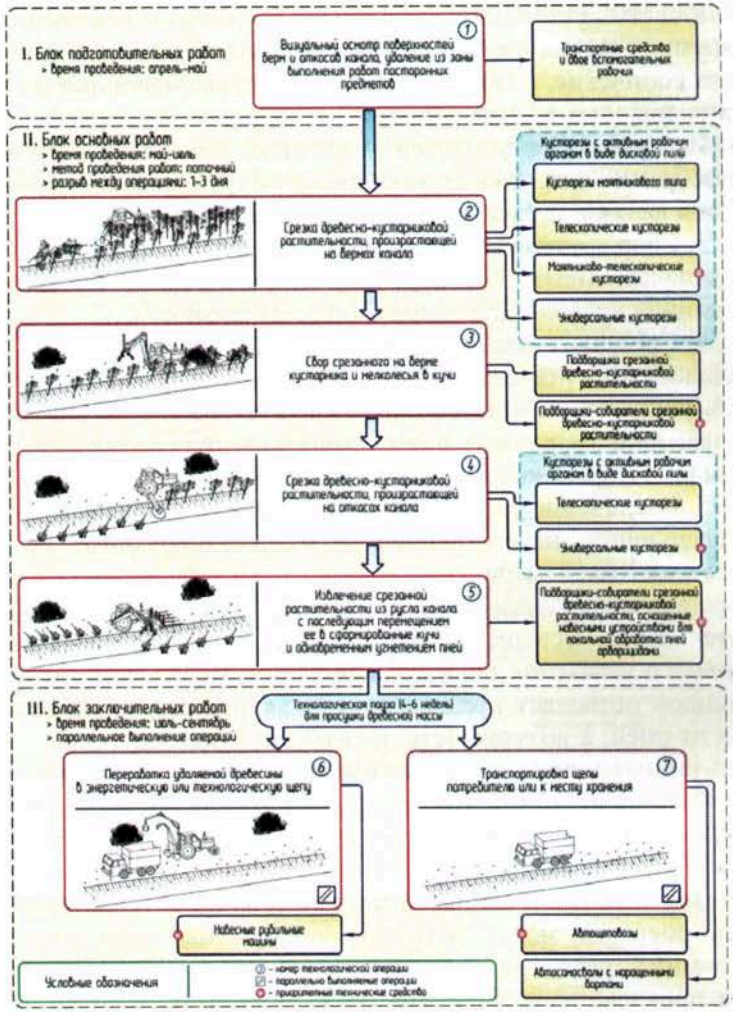


Рис. 2.5. Ресурсосберегающая технология очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности

В ходе выполнения работ данного блока осуществляют следующие технологические операции:

2. Срезание древесно-кустарниковой растительности, произрастающей на бермах каналов. При этом рекомендуется ис-

пользовать кусторезы с активными дисковыми рабочими органами: маятниковые, телескопические или маятниково-телескопичекие, а также универсальные, выполненные на базе одноковшовых экскаваторов.

Использование кусторезов с пассивным рабочим органом нецелесообразно из-за недостаточной полноты среза, опасности работы вблизи каналов, ограничения диаметра срезаемых стволов.

3. Сбор срезанного на берме кустарника и мелколесья в кучи с использованием подборщиков и подборщиков-собирателей срезанной древесно-кустарниковой растительности.

4. Срезание древесно-кустарниковой растительности, произрастающей на откосах каналов. При этом эффективно использовать универсальные телескопические кусторезы с активным рабочим органом, которые в силу своих конструктивных особенностей могут производить срезание кустарника на откосах.

5. Извлечение срезанной растительности из русла канала с последующим перемещением ее в сформированные кучи и угнетение пней. При этом рекомендуется использовать подборщики-собиратели срезанной древесно-кустарниковой растительности, оснащенные навесными устройствами для локального угнетения пней арборицидами. Использование арборицидов позволяет предотвратить возобновление роста побегов от пней, а возможность локального угнетения пней – сделать данную операцию экологически безопасной.

Следует отметить, что между проведением данных операций необходимо выдерживать технологическую паузу (1–3 дня), что способствует лучшему подсыханию срезанной растительности.

При очистке облицованных каналов 4 и 5-я технологические операции могут быть либо пропущены, либо заменены операцией удаления кустарниковой и травяной растительности, произрастающей в стыках между плитами.

III. *Блок заключительных работ*. Данные работы рекомендуется выполнять после технологической паузы (4–6 недель), следующей за основными работами. Блок включает в себя выполнение двух параллельных операций:

6. Переработка удаляемой древесины в энергетическую или технологическую щепу, которая осуществляется с помощью навесных рубильных машин.

7. Транспортирование щепы автощеповозами или автосамосвалами с наращенными бортами непосредственно потребителю или к месту ее хранения.

С учетом анализа многочисленных исследований и электронных источников информации, предлагается 4 дополнительных блока заключительных работ, представленные и подробно описанные на рис. 2.6.

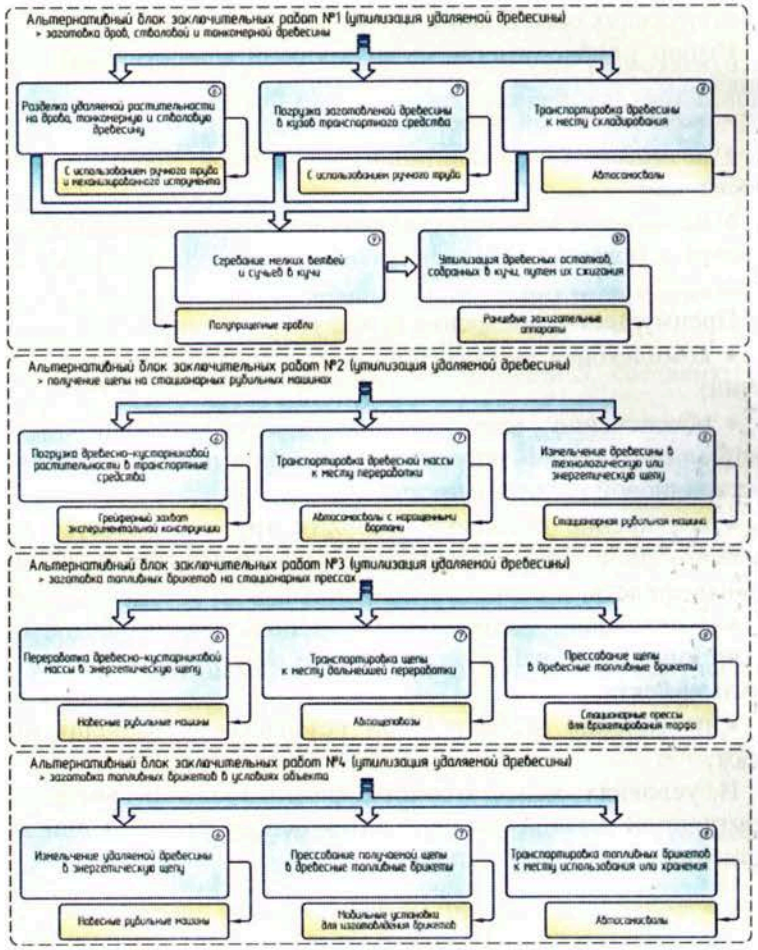


Рис. 2.6. Альтернативные технологические схемы по переработке древесины

Представленные на рис. 2.5, 2.6 схемы, а также проведенный анализ технических средств, применяемых для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на мелиоративных каналах, свидетельствуют о необходимости создания новых машин и механизмов для эффективной реализации предлагаемой ресурсосберегающей технологии. При этом новые технические средства должны обладать универсальностью, мобильностью, высокой производительностью и доступной для эксплуатирующих организаций ценой.

Выбор необходимого блока заключительных работ обусловливается:

- экономической эффективностью;
- возможностью реализации получаемой продукции потребителям;
- наличием соответствующего перерабатывающего оборудования в организации, эксплуатирующей мелиоративные каналы.

Преимущества внедрения новой технологии:

- комплексная механизация всех производственных операций;
- обеспечение использования высокопроизводительной специализированной техники для срезания и сбора древесно-кустарниковой растительности;
- повышение производительности труда и качества выполнения работ при наименьших затратах энергии и материальных средств;
- обеспечение рационального использования удаляемой древесины и получение за счет этого ощутимого экономического эффекта;
- повышение экологической безопасности выполняемых работ.

В условиях недостаточного финансирования внедрение безотходной технологии становится целесообразным при выполнении следующего условия:

$$1 \le \frac{S_{тр}}{S_р - \left(P_щ + У_{пр}\right)}, \qquad (2.1)$$

где $S_{тр}$ – размер затрат на очистку 1 га от кустарника по традиционной технологии, руб.; $S_р$ – размер затрат на очистку 1 га от кустарника по ресурсосберегающей технологии, руб.; $P_щ$ – объем денежных средств, получаемый от рационального использования древесины, удаляемой с 1 га, руб.; $У_{пр}$ – предотвращенный экологический ущерб при очистке участка площадью 1 га по ресурсосберегающей технологии, руб.

Определение затрат на очистку территории площадью 1 га по одной из технологий (ресурсосберегающей, традиционной) выполняют по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^{n} S_i, \quad i = 1, 2, 3 \ldots n, \qquad (2.2)$$

где S_i – затраты на выполнение i-й операции технологического процесса, руб.; n – число операций.

Размер затрат на выполнение i-й операции S_i составит:

$$S_i = \frac{Q_i}{П_i} c_i, \qquad (2.3)$$

где Q_i – объем выполняемых работ; $П_i$ – производительность машины, занятой на выполнение i-й операции; c_i – стоимость машино-часа, руб.

Объем денежных средств от реализации щепы, полученной с 1 га, $P_щ$ составит:

$$P_щ = V_щ c_щ, \qquad (2.4)$$

где $V_щ$ – объем щепы, получаемый с 1 га, м^3; $c_щ$ – стоимость кубометра щепы, м^3/руб.

При наличии альтернативных способов переработки древесины выбор наиболее экономически эффективной технологии сводится к минимизации целевой функции:

$$\frac{S_{\text{р.а}} - \left(P_{\text{а}} + \text{У}_{\text{пр.а}}\right)}{S_{\text{тр}}} \to \min, \qquad (2.5)$$

где $S_{\text{р.а}}$ – размер затрат на очистку 1 га от кустарника по альтернативной ресурсосберегающей технологии, руб.; $P_{\text{а}}$ – объем денежных средств, получаемый от рационального использования древесины, удаляемой с 1 га, при альтернативном способе переработки, руб.; $\text{У}_{\text{пр.а}}$ – предотвращенный экологический ущерб при очистке участка площадью 1 га по альтернативной технологии, руб.

Подводя итог, необходимо отметить, что разработанная на основе многолетнего производственного опыта ресурсосберегающая технология очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности является не только экономически эффективной, но и экологически безопасной. Область ее применения не ограничена мелиоративным производством. Ресурсосберегающая технология может успешно применяться в других отраслях экономики для выполнения работ, связанных с очисткой площадей от нежелательной древесно-кустарниковой растительности.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ ОЧИСТКИ КАНАЛОВ ОТ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

С 1999 г. в СГАУ им. Н.И. Вавилова под руководством профессора Ф.К. Абдразакова было основано новое перспективное научное направление по совершенствованию технологий и машин для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных системах и решению проблемы удаления древесно-кустарниковой растительности вдоль оросительных каналов, дорог, трубопроводов, линий электропередач. В данной сфере научно-исследовательской деятельности защищена 1 докторская и 10 кандидатских диссертаций, получено более 30 патентов РФ, разработано и внедрено более 10 модификаций рабочего оборудования для проведения эксплуатационных работ на оросительных каналах.

В настоящей главе рассматриваются запатентованные технические средства, необходимые для внедрения и эффективного использования новой ресурсосберегающей технологии очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности. Большинство из представленных машин изготовлены, испытаны и внедрены в производство на каналах Саратовского Заволжья.

На рис. 3.1 изображен основной комплекс машин и оборудования для выполнения технологических операций предлагаемой ресурсосберегающей технологии. Необходимо отметить, что основным достоинством данного комплекса является возможность агрегатирования рабочего оборудования с наиболее распространенными в мелиоративном и сельскохозяйственном производстве базовыми машинами, а именно тракторами типа МТЗ.

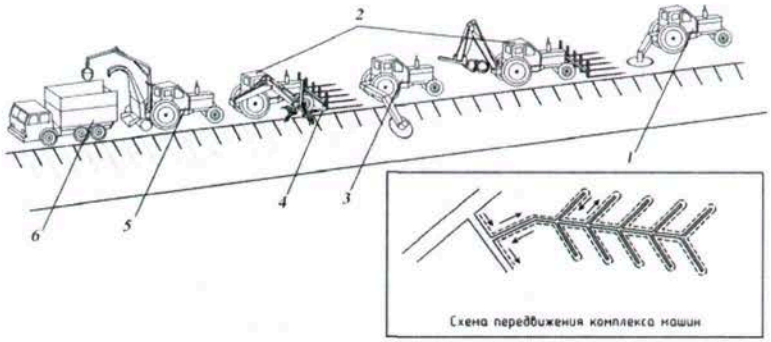


Рис. 3.1. Основной технологический комплекс машин для выполнения работ по удалению древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов: *1* – кусторезы для срезания древесно-кустарниковой растительности на бермах каналов; *2* – подборщики и подборщики-собиратели срезанной древесно-кустарниковой растительности; *3* – универсальные и телескопические кусторезы для срезания древесно-кустарниковой растительности на бермах и откосах каналов; *4* – навесное рабочее оборудование для локальной обработки пней арборицидами; *5* – навесные рубильные машины; *6* – автощеповозы или автосамосвалы с наращенными бортами (транспортные средства)

Далее рассмотрим перечисленные технические средства (см. рис. 3.1) с различными модификациями разработанного или усовершенствованного нами рабочего оборудования, применяемые для эффективного выполнения эксплуатационных работ на мелиоративных каналах.

3.1. Разработка кусторезов для срезания древесно-кустарниковой растительности на бермах и откосах каналов

3.1.1. Конструкции кусторезов, предназначенных для работы на бермах каналов

К данному виду кусторезов можно отнести кусторезы маятникового или маятниково-телескопического типа, разрабо-

танные в ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». В связи с необходимостью угнетения пней, образующихся после срезания древесно-кустарниковой растительности, данные конструкции предусматривают наряду со срезанием локальную обработку пней арборицидной смесью.

Патент РФ на изобретение № 2251836 «Кусторез маятникового типа» [193] получен на одну из первых и наиболее востребованных конструкций кусторeза, которая изготавливалась как с механическим, так и с гидравлическим приводом.

Кусторез (рис. 3.2–3.5) включает в себя базовый трактор *1*, навесную раму *2*, навешиваемую на систему навески *3*, телескопическую стрелу *4* с телескопом *5* и выдвигаемым гидроцилиндром *6*, рабочий орган в виде дисковой пилы *7*, закрепленной на конце телескопа *5*. Шарнирное крепление телескопической стрелы *4* к навесной раме позволяет осуществлять стрелой маятниковые рабочие движения с помощью гидроцилиндра *8* и двух рычагов *9*, *10*.

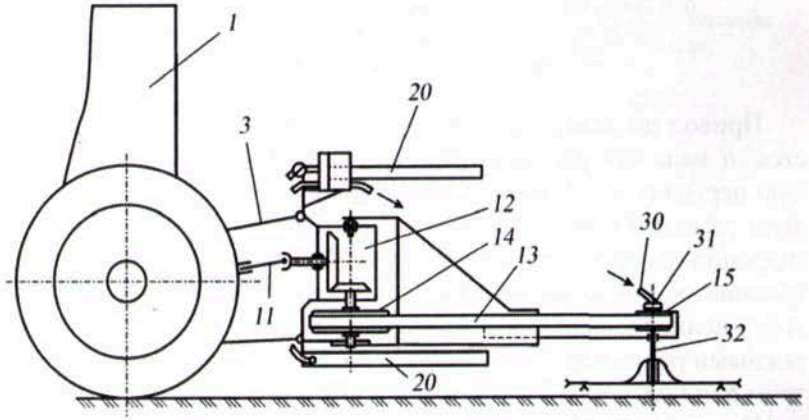


Рис. 3.2. Общий вид навешиваемого рабочего оборудования кусторeза маятникового типа: *1* – базовый трактор; *3* – система навески; *11* – телескопическая карданная передача; *12* – редуктор; *13* – ремень; *14*, *15* – шкивы; *20* – толкающий брус; *30* – магистраль; *31* – вращающееся соединение; *32* – вал

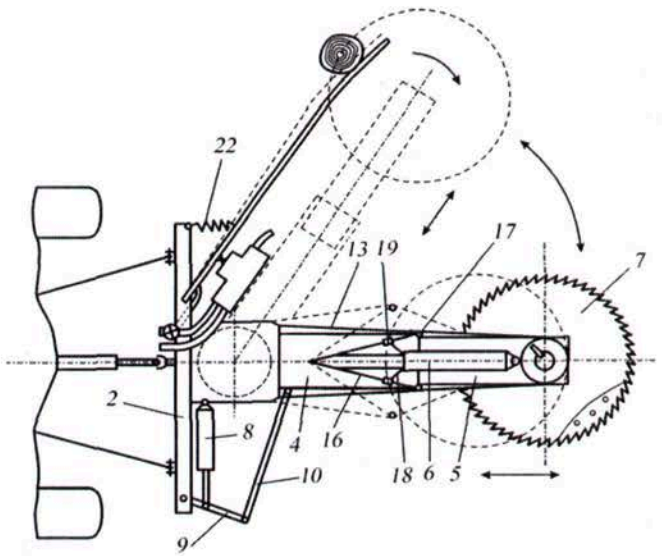


Рис. 3.3. Вид маятникового кусторeза сверху:
2 – навесная рама; *4* – телескопическая стрела; *5* – телескоп;
6, 8 – гидроцилиндры; *7* – дисковая пила; *9, 10, 16* – рычаги;
13 – ремень; *17* – натяжной ролик; *18* – толкатель;
19 – ползун; *22* – возвратная пружина

Привод дискового пильного рабочего органа *7* осуществляется от вала отбора мощности через телескопическую карданную передачу *11*, редуктор *12* и ременную передачу, включающую ремень *13* со шкивами *14* и *15*. Причем, при втягивании гидроцилиндра *6* телескопического устройства постоянное натяжение ремня *13* осуществляется через натяжное устройство, выполненное в виде рычагов *16* с закрепленными на концах натяжными роликами *17*, толкателей *18*, связанных с гидроцилиндром *6*, и ползунов *19*, перемещаемых по рычагам *16*.

Кусторез также дополнительно снабжен двумя автономными системами подачи арборицидной смеси в зону резания (рис. 3.4), первая из которых включает толкающий брус *20*, выполненный полым для заполнения данной смесью через магистраль *21*. Он закрепляется шарнирно на навесной раме *2* и имеет возвратную пружину *22*. Внутри бруса для подачи арбо-

рицидной смеси на образующиеся после срезания древесной растительности пни *23* устанавливают клапаны, содержащие толкатели *24*, пластины *25*, возвратные пружины *26* и сопла *27* (рис. 3.5). При этом для транспортирования смеси в зону резания (к пням) на пиле *7* выполнены отводящие канавки *28* и сквозные отверстия *29*, расположенные рядом с зубьями пилы.

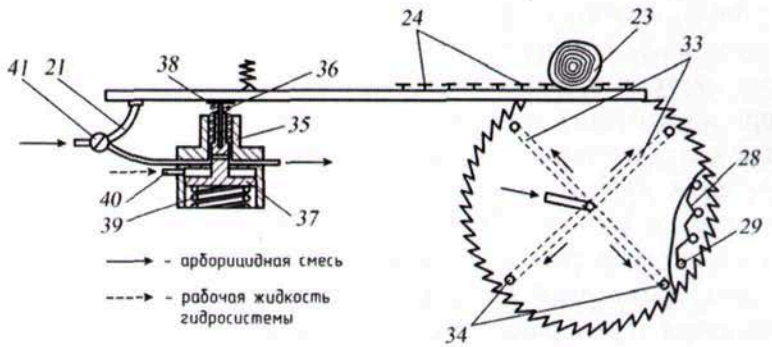


Рис. 3.4. Схема работы систем подачи арборицидной смеси на пни:
21, 40 – магистрали; *23* – пень; *24* – толкатели; *28* – отводящая канавка;
29 – отверстие; *33* – транспортирующие каналы; *34* – сопла;
35 – корпус; *36* – шток; *37* – поршень;
38, 39 – возвратные пружинные элементы; *41* – кран

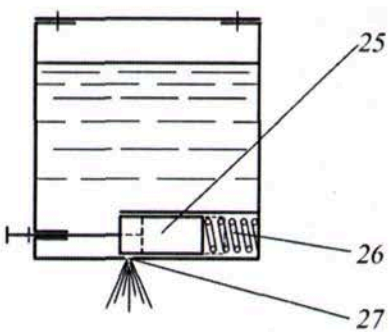


Рис. 3.5. Схема работы клапанов
для подачи арборицидной смеси,
смонтированных в толкающем брусе:
25 – пластина; *26* – возвратная пружина;
27 – сопло

Вторая автономная система подачи арборицидной смеси обеспечивает ее транспортирование по магистрали *30* через вращающееся соединение *31*, проточку в валу *32* и транспортирующие каналы *33* в пиле *7* к соплам *34*, расположенным рядом с зубьями. Данная система включает клапан, содержащий корпус *35* и установленный внутри шток *36*, связанный, в свою очередь, с толкающим брусом *20*, а также поршень *37* и возвратные пружинные элементы *38*, *39*. Вторая система может служить как для подачи смеси на пни при воздействии срезаемого ствола на толкающий брус *20*, так и для непрерывной подачи при равномерном ее распределении на очищаемой от древесно-кустарниковой растительности площади путем постоянного включения данного устройства за счет заполнения надпоршневого пространства через магистраль *40* рабочей жидкостью гидросистемы трактора *1*. Для разделения магистралей *21* и *30* установлен кран *41*.

Кусторез работает следующим образом. При движении базового трактора *1* вперед машинист переводит телескопическую стрелу *4* с телескопом *5* и закрепленной на нем пилой *7* с помощью гидроцилиндра *8* и рычагов *9*, *10* из транспортного положения в рабочее. Затем системой навески *3* устанавливает высоту срезания растительности и включает привод дискового пильного рабочего органа *7*. При этом вращение передается от вала отбора мощности трактора *1* через телескопическую карданную передачу *11*, редуктор *12* и ременную передачу, включающую ремень *13* со шкивами *14*, *15*, к валу *32*, осуществляющему вращение рабочего органа *7*, установленного на краю телескопа *5*. Причем радиус маятникового движения стрелы *4*, а следовательно и зону резания пилы, можно регулировать посредством телескопа *5*. Постоянное натяжение ремня *13* осуществляется через натяжное устройство. При втягивании гидроцилиндра 6 жестко связанные с ним толкатели *18* через ползуны *19* воздействуют на два шарнирно закрепленных на стреле *4* рычага *16* с закрепленными на концах натяжными роликами *17*. В результате этого рычаги *16* с роликами *17* расходятся, осуществляя постоянное натяжение ремня *13*.

Для непосредственного внесения арборицидов на пни, образующиеся при срезании древесной растительности, кусторез снабжен двумя автономными системами подачи арборицидной смеси. При использовании первой системы срезаемый ствол воздействует на толкатели *24*, расположенные вдоль толкающего бруса *20*, внутрь которого по магистрали *21* подается арборицидная смесь. В результате этого толкатели *24* перемещают пластины *25* и открывают сопла *27*, из которых смесь попадает в пильный диск *7* и под действием центробежных сил по отводящим канавкам *28* и через сквозные отверстия *29* на краю пилы попадает на пни и поверхность рядом с ними. После срезания возвратные пружины *26* перемещают пластины *25* обратно и подача смеси прекращается.

При использовании второй системы подачи арборицидной смеси переключается кран *41* разделения магистралей двух автономных систем. В результате при срезании ствола толкающий брус *20* с тыльной стороны воздействует на шток *36* и через поршень *37*, установленный в корпусе *35*, открывает данный клапан, и арборицидная смесь подается по магистрали *30* через вращающееся соединение *31*, проточку в валу *32* и транспортирующие каналы *33* в пиле *7* к соплам *34* и попадает на пни и рядом с ними. Как только стволы срезаны, толкающий брус *20* под действием пружины *22* возвращается в исходное положение, так же, как и поршень *37* с толкателем *36* под действием возвратных пружинных элементов *38* и *39*.

Кроме того, устройство второй системы позволяет осуществлять, при необходимости, равномерное непрерывное внесение арборицидной смеси (например, на площадках, освобожденных от густого древостоя). Для этого осуществляют заполнение надпоршневого пространства в корпусе *35*

клапана через магистраль *40* рабочей жидкостью из гидросистемы трактора *1*.

Необходимо также отметить, что срезание древесно-кустарниковой растительности данным кусторезом может осуществляться как движением трактора *1*, так и после его остановки в непосредственной близости от ствола (применяется в основном при срезании крупных стволов) путем маятникового или телескопического рабочих движений пилы *7* гидроцилиндрами *6* и *8*. Возможно совмещение этих двух рабочих движений. Срезав ствол, машинист переводит стрелу *4* в исходное положение. При следующем совмещении дискового рабочего органа со срезаемым стволом процесс повторяется.

Далее рассмотрим еще две конструкции рабочего оборудования, предназначенного для подачи арборицидной смеси на поверхность пней, образуемых после срезания древесно-кустарниковой растительности.

Патент РФ на изобретение № 2251837 «Рабочий орган кусторeза» [194].

Рабочий орган (рис. 3.6) включает в себя два установленных параллельно друг другу пильных диска *1* и *2*, жестко совмещенных между собой с совпадением насечек *3* и *4*, симметрично прорезанных в теле каждого из дисков и образующих каналы для транспортирования арборицидной смеси. Данные диски помещают между верхним *5* и нижним *6* фланцами, стянутыми между собой болтовыми соединениями *7*, устанавливают на приводной вал *8* и затягивают фиксирующей гайкой *9*. Кроме того, в верхнем пильном диске *1* выполнены отверстия *10* для поступления арборицидной смеси в каналы с целью дальнейшего ее транспортирования, также к диску через уплотнение *11* крепится болтовым соединением *12* кожух *13*. Между кожухом *13* и фланцем *5* образуется пространство *A* для наполнения арборицидной смесью.

Рядом с зубьями нижнего пильного диска *2* расположены выходные отверстия с вмонтированными выпускными клапа-

нами, состоящими из замыкающего элемента *14* (который может быть выполнен в виде шара, эллипсоида и т. п.), закрепленного с помощью винта *15* на пружинной пластине *16*, предотвращающей продольное и поперечное смещение замыкающего элемента *14* относительно выходного отверстия. Для подвода арборицидной смеси из емкости и блокировки ее поступления служат соединяемые с ней жидкостная и воздушная магистрали *17* и *18*.

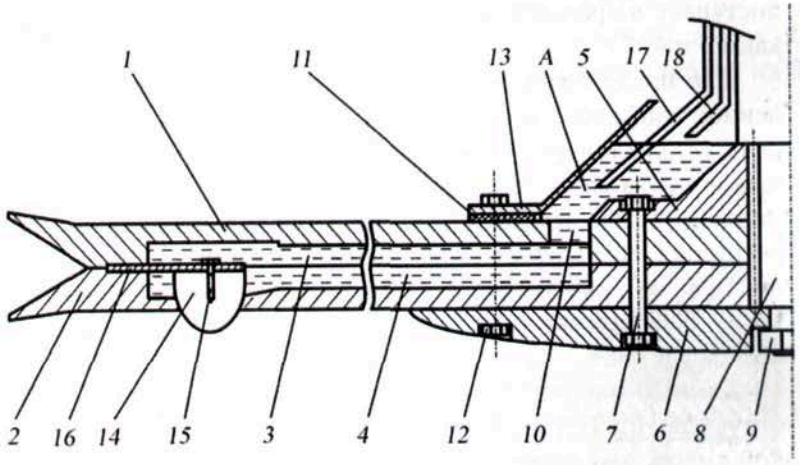


Рис. 3.6. Рабочий орган кусторeза
с системой подачи арборицидной смеси: *1*, *2* – пильные диски;
3, *4* – насечки; *5*, *6* – верхний и нижний фланцы;
7, *12* – болтовые соединения; *8* – приводной вал;
9 – фиксирующая гайка; *10* – отверстие; *11* – уплотнение;
13 – кожух; *14* – замыкающий элемент; *15* – винт;
16 – пружинная пластина; *17* – жидкостная магистраль;
18 – воздушная магистраль

Устройство работает следующим образом. При подаче рабочего оборудования происходит врезание зубьев пильных дисков *1* и *2* в срезаемый ствол. При дальнейшем заглублении пильных дисков в пропил замыкающий элемент *14* входит в контакт с поверхностью образуемого пня и вжимается внутрь пильных дисков *1* и *2*, освобождая тем самым проток для ар-

борицидной смеси, которая под действием

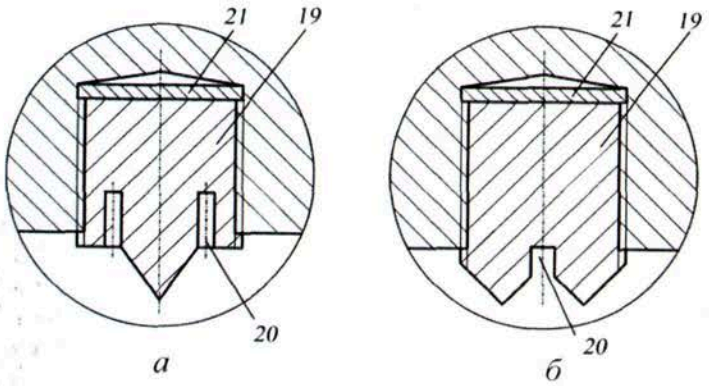


Рис. 3.8. Варианты заостренных зубцов: *19* – заостренные зубцы; *20* – пазы; *21* – регулировочные шайбы

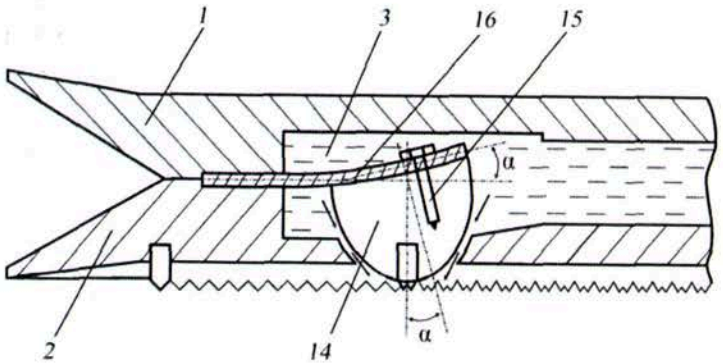


Рис. 3.9. Функциональная схема рабочего органа кусторeза: *1*, *2* – пильные диски; *3* – насечка; *14* – замыкающий элемент; *15* – винт; *16* – пружинная пластина

По мере износа зубьев возможна корректировка их высоты путем подкладки регулировочных шайб *21*.

В процессе срезания растительности заостренные зубцы *19*, расположенные рядом с зубьями нижнего пильного диска *2*, воздействуют на поверхность пня, придавая ей шероховатость. Таким образом поступающая через клапан арборицидная смесь лучше внедряется в тело пня. Для предотвращения

сглаживания и уплотнения поверхности пней замыкающий элемент *14* также снабжен заостренными зубцами *19*, причем ось зубцов отклонена относительно оси замыкающего элемента на угол α, соответствующий углу наклона пружинной пластины (см. рис. 3.9).

Извлечение зубцов *19* для заточки осуществляют различными инструментами через пазы *20*. По мере износа зубцов *19* подкладываются регулировочные шайбы *21*.

Рабочий орган кусторeза с зубцами позволяет повысить эффективность использования арборицидной смеси за счет лучшего ее проникновения в структуру пня, сократить расход дорогостоящего арборицида путем снижения вносимой дозы и тем самым сделать работы по срезанию кустарника экологически безопасными.

3.1.2. Конструкции кусторезов, предназначенных для работы на бермах и откосах каналов

Одна из первых конструкций универсальных кусторезов для работы на оросительных каналах КН-1(СГАУ) была разработана, изготовлена и внедрена в 1998–1999 гг. на каналах Энгельсского филиала ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» [10, 35, 252]. На данную конструкцию кусторeза получен *патент РФ на изобретение № 2161399 «Кусторез»* [189].

При разработке учитывалось, что необходима машина, обладающая следующими параметрами: рабочий орган, полностью срезающий растительность диаметром до 20 см; регулируемая высота срезания кустарника; прямолинейная подача рабочего органа; возможность срезания растительности как на берме, так и на прилегающей к ней верхней части откоса канала (если канал в земляном русле); наибольший вылет стрелы с регулированием в процессе работы; агрегатирование с распространенными тракторами.

Конструктивная схема машины, имеющей навесное рабочее оборудование к трактору ДТ-75М, представлена на рис. 3.10.

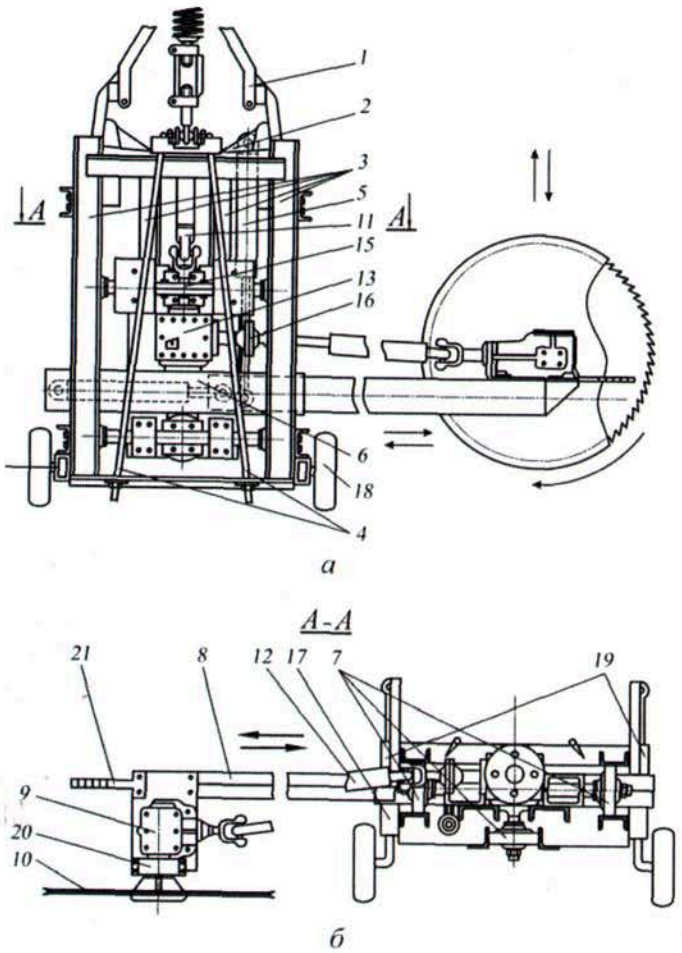


Рис. 3.10. Кусторез КН-1(СГАУ) с механическим приводом:
а – вид сверху; *б* – сечение *А–А*: *1* – система навески трактора;
2 – рама навески; *3* – направляющие брусья; *4* –тяги;
5 – гидроцилиндр; *6* – тележка; *7* – катки; *8* – стрела;
9 – редуктор; *10* – дисковый пильный рабочий орган;
11, *12* – телескопические карданные передачи;
13 – промежуточный редуктор; *15* – упругая муфта;
16 – предохранительная муфта; *17* – направляющие втулки;
18 – опорные колеса; *19* – гидроцилиндры; *20* – кожух;
21 – пружинная лапка

Кусторез состоит из рамы, закрепленной на системе навески *1* трактора, включающей в себя раму навески *2*, а также жестко крепящиеся к ней направляющие брусья *3*. В верхней части рамы кустореза устанавливают тяги *4* в виде шпилек. Они обеспечивают дополнительную прочность конструкции и защищают механизм привода от падающего кустарника. Внутри рамы с возможностью возвратно-поступательного движения посредством гидроцилиндра *5* установлена тележка *6* с катками *7*. К тележке *6* шарнирно, с возможностью поворота в транспортное положение, крепится стрела *8* с размещенным на ее краю редуктором *9* привода дискового пильного рабочего органа *10*. Привод редуктора рабочего органа может осуществляться как от вала отбора мощности трактора через две телескопические карданные передачи *11*, *12* и промежуточный редуктор *13* (см. рис. 3.10), так и от гидромотора *14*, монтируемого на стреле *8* (рис. 3.11).

Механический привод предусматривает наличие упругой *15* и предохранительной *16* муфт. Можно использовать телескопическую карданную передачу *12* с предохранительной муфтой, расположенной внутри передачи.

В задней части рамы кустореза, в направляющих втулках *17*, устанавливают опорные колеса или лыжи *18* с возможностью изменения высоты срезания кустарника гидроцилиндрами *19*. Для предотвращения наматывания ветвей низкорослого кустарника на приводной вал служит кожух *20*. Рабочий орган снабжен пружинной лапкой *21*, которая нажимает на спиливаемый куст и сбрасывает его с диска пилы.

При гидравлическом приводе дисковой пилы можно устанавливать рабочее оборудование шарнирно на стреле *8*. Это обеспечит наклон пильного диска *10* на необходимый угол посредством гидроцилиндра *22*, монтируемого на стреле *8*, и позволит опускать рабочий орган в каналы при очистке их от кустарника.

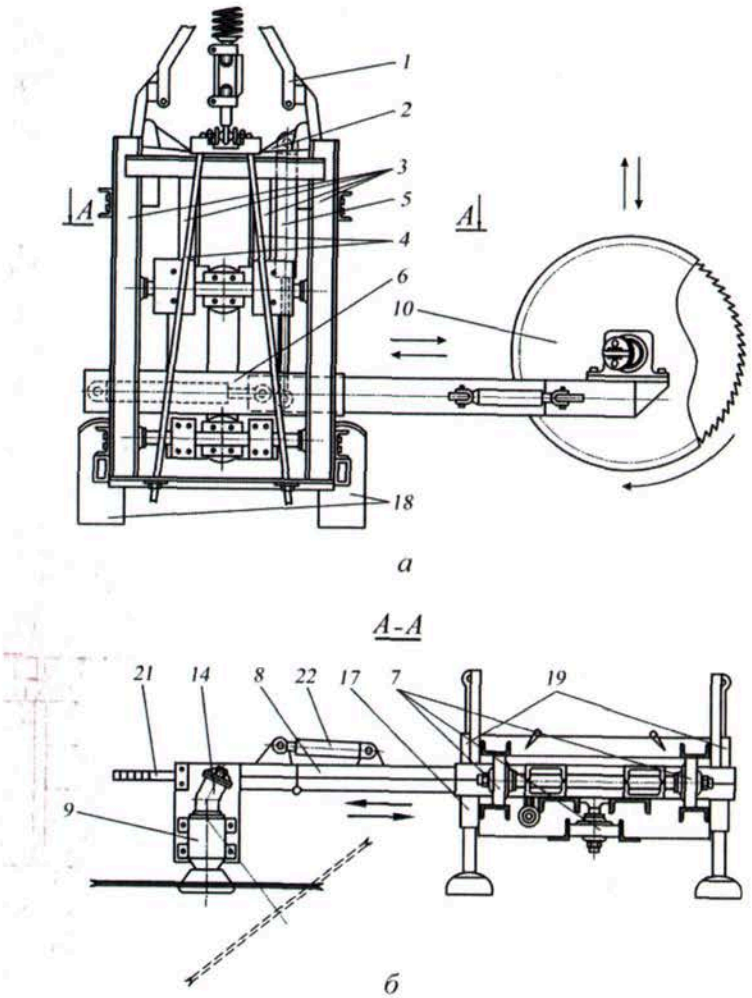


Рис. 3.11. Кусторез КН-1(СГАУ) с гидравлическим приводом:
а – вид сверху; *б* – сечение А–А: *1* – система навески трактора;
2 – рама навески; *3* – направляющие брусья; *4* – тяги;
5 – гидроцилиндр; *6* – тележка; *7* – катки; *8* – стрела;
9 – редуктор; *10* – дисковый пильный рабочий орган;
14 – гидромотор; *17* – направляющие втулки;
18 – опорные лыжи; *19, 22* – гидроцилиндры;
21 – пружинная лапка

Кусторез работает следующим образом. Машинист предварительно устанавливает гидроцилиндрами *19* высоту срезания кустарника, а затем включает привод дискового рабочего органа *10*. При этом вращение передается от вала отбора мощности трактора через телескопическую карданную передачу *11* и упругую муфту *15* к валу промежуточного редуктора *13*, установленного на тележке *6*. Данный конический редуктор передает вращение через предохранительную муфту *16* и вторую съемную карданную передачу *12* редуктора *9* привода дискового пильного рабочего органа *10*.

Срезание мелкорослого кустарника осуществляется движением трактора. При срезании крупного кустарника машинист останавливает трактор в непосредственной близости от куста, устанавливает раму кустореза гидроцилиндрами *19* на необходимую высоту и включает привод рабочего органа. При этом подача дисковой пилы *10* осуществляется гидроцилиндром *5*, установленным для перемещения тележки *6* с катками *7* по направляющим брусьям *3*. Подача рабочего органа может осуществляться как в направлении к трактору, так и от него. Срезав кустарник, машинист переводит тележку *6* в исходное положение. При следующем совмещении дискового пильного рабочего органа *10* со срезаемым кустарником процесс повторяется.

При срезании кустарника в каналах кусторезом, оборудованным гидравлическим приводом, машинист предварительно опускает рабочий орган гидроцилиндром *22* в канал на необходимый угол.

Кусторез КН-1(СГАУ) можно применять для валки деревьев, если использовать дополнительные толкающие средства и приспособления, а также для скашивания травяной растительности вдоль каналов и дорог. При этом можно установить на стреле последовательно два пильных диска.

Рассмотрим еще одну конструкцию кустореза КН-2(СГАУ), на которую нами был получен *патент РФ на изобретение № 2258354 «Кусторез»* [195].

Данная конструкция с механическим приводом рабочего органа разработана, изготовлена и испытана на оросительных каналах Ершовского филиала ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз».

Кусторез (рис. 3.12, 3.13) состоит из закрепленной на системе навески трактора рамы навески *1* шарнирно с ней соединенной поворотной рамы *2*. На поворотной раме *2* при помощи двух пальцев *3* установлена телескопическая стрела *4*. Внутри поворотной рамы *2* размещен механизм подъема и опускания *5* телескопической стрелы *4*, который состоит из гидроцилиндра *6*, соединенного со сдвоенной тягой *7*, которые в свою очередь шарнирно установлены на поворотной раме *2*, и винтовой тяги *8*, одним концом соединенной со сдвоенной тягой *7*, а другим концом – с телескопической стрелой *4*. На конце телескопической стрелы *4* смонтированы два конических редуктора *9* для привода дисковых пильных рабочих органов *10*. Привод дисковых пильных рабочих органов *10* осуществляется от вала отбора мощности трактора через коническую передачу *11*, клиноременную передачу *12*, промежуточный конический редуктор *13*, установленный на телескопической стреле *4*, и телескопический карданный вал *14*, проходящий внутри телескопической стрелы *4*. Возвратно-поступательное движение телескопической стрелы *4* осуществляется гидроцилиндром *15*. Для уменьшения нагрузки на систему навески трактора и установки высоты срезания на телескопической стреле *4* установлена регулируемая по высоте опорная лыжа *16*.

Механизм поворота (рис. 3.13) представляет собой коническую передачу, состоящую из зубчатого колеса *17*, верхней *18* и нижней *19* шестерен. Зубчатое колесо *17*, имеющее нарезанные с верхней и нижней стороны эвольвентные зубья, шарнирно установлено на ось *20*, которая жестко соединена с рамой навески *1*. Верхняя шестерня *18* входит в зацепление с верхней эвольвентой зубчатого колеса *17* и соединена со шкивом ременной передачи *12* (см. рис. 3.12), нижняя шестерня *19* входит в зацепление с нижней эвольвентой зубчатого колеса *17* и соединена с валом отбора мощности трактора. В нижней части поворотной рамы *2* установлена звездочка *21* цепной передачи *22*. Концы цепной передачи соединены с гидроцилиндрами *23*.

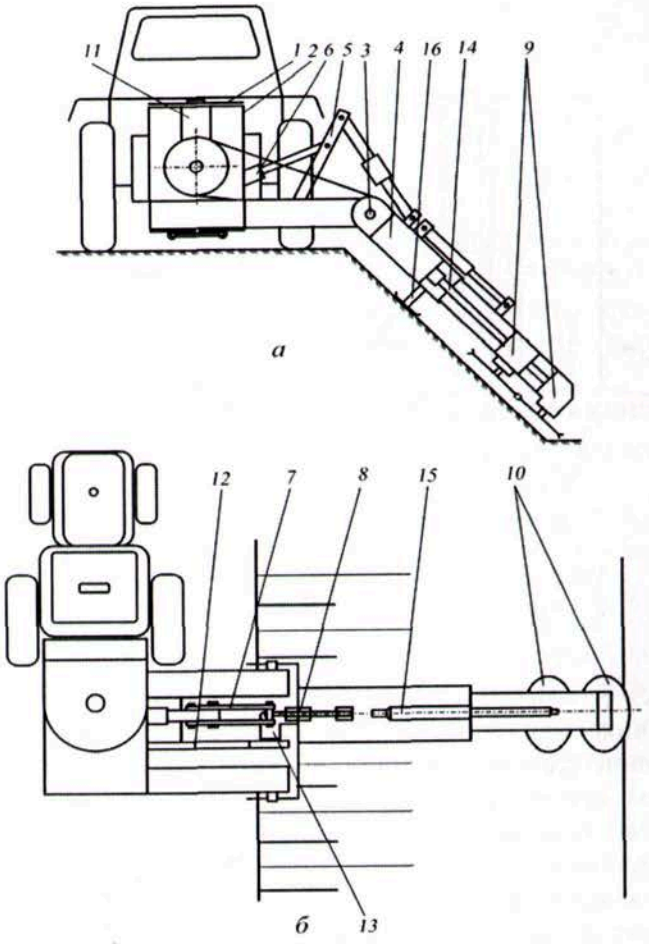


Рис. 3.12. Принципиальная схема кусторeза КН-2(СГАУ):
а – общий вид; *б* – вид сверху: *1* – система навески трактора;
2 – рама; *3* – пальцы; *4* – телескопическая стрела;
5 – механизм подъема и опускания телескопической стрелы;
6 – гидроцилиндр; *7* – сдвоенная тяга; *8* – винтовая тяга;
9 – конические редукторы; *10* – дисковые пильные рабочие органы;
11 – коническая передача; *12* – клиноременная передача;
13 – промежуточный конический редуктор;
14 – телескопический карданный вал; *15* – гидроцилиндр;
16 – опорная лыжа

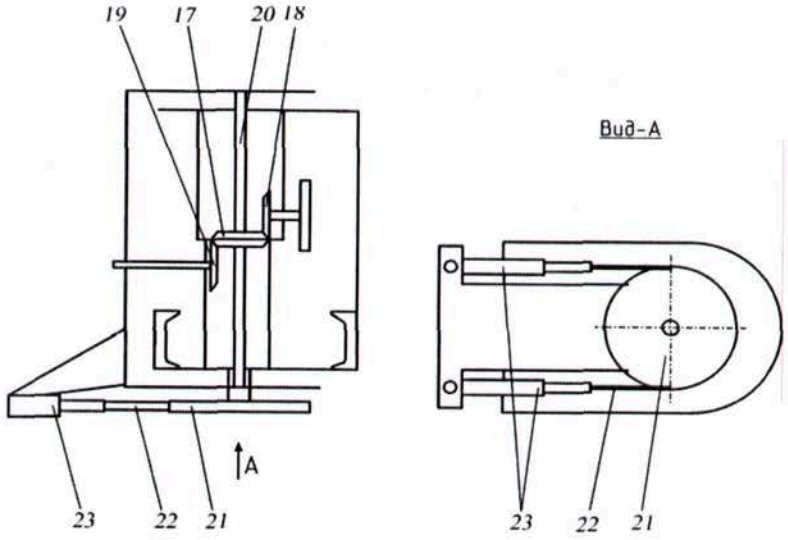


Рис. 3.13. Механизм поворота: *17* – зубчатое колесо; *18*, *19* – верхняя и нижняя шестерни; *20* – ось; *21* – звездочка; *22* – цепная передача; *23* – гидроцилиндры

Кусторез работает следующим образом. Для срезания кустарника машинист устанавливает поворотной рамой *2* положение рабочего органа. Поворот осуществляют таким образом: при выключенном вале отбора мощности трактора включают один из гидроцилиндров *23*, соединенный с цепной передачей *22*, который начинает вращать звездочку *21*, поворачивающую поворотную раму *2*. При этом верхняя шестерня *18* начинает обкатывать зубчатое колесо *17* по верхней эвольвенте и кусторез поворачивается на 180°. Высоту срезания кустарника устанавливают с помощью регулируемой опорной лыжи *16*. Затем механизмом подъема и опускания *5* телескопической стрелы машинист опускает стрелу *4* на откос канала или дороги до соприкосновения опорной лыжи *16* с поверхностью откоса и включает привод дисковых пильных рабочих органов *10*. Вращение дисковых пильных рабочих органов *10* осуществляется от вала отбора мощности трактора через коническую *11* и клиноременную

12 передачи, промежуточный конический редуктор *13*, установленный на телескопической стреле *4*, телескопический карданный вал *14* и два конических редуктора *9*.

Срезание мелкорослого кустарника осуществляют движением трактора. При этом опорная лыжа *16* копирует рельеф откоса или бермы. При срезании крупного кустарника машинист останавливает трактор в непосредственной близости от куста и выдвижением телескопической стрелы *4* кусторeза при помощи гидроцилиндра *15* срезает кустарник. При этом, если необходимо, трактор может продолжать движение с выдвинутой стрелой *4*.

Для перевода кусторeза в транспортное положение телескопическую стрелу *4* поднимают вертикально механизмом подъема *5* при помощи гидроцилиндра *6* и фиксируют.

Данную конструкцию кусторeза можно применять также для обрезки деревьев и срезания травяной растительности.

Следующая конструкция – одна из последних и перспективных моделей универсальных кусторезов. Рабочее оборудование является сменным оборудованием к одноковшовому экскаватору и позволяет эффективно работать как на бермах, так и на откосах каналов. На данную конструкцию получен *патент РФ на изобретение № 2309579 «Кусторез для работы на каналах»* [200].

Предлагаемый кусторез (рис. 3.14) содержит базовый трактор *1*, на котором установлен гидроманипулятор, снабженный приводом поворота вокруг вертикальной оси *2*. Гидроманипулятор состоит из стрелы *3* и рукояти *4*. Стрела *3* управляется гидроцилиндром *5*, а рукоять *4* – гидроцилиндрами *6*. На свободном конце рукояти *4* шарнирно закреплена телескопическая стрела *7* с телескопом *8*, который выдвигается гидроцилиндром *9* (рис. 3.15). Телескопическая стрела *7* шарнирно соединена со штоком гидроцилиндра *10*, корпус которого шарнирно закреплен на рукояти *4*. При этом на свободном конце телескопа *8* установлен гидромотор *11*, на выходном валу которого, вращающемся в подшипниковом блоке *12*, крепится рабочий орган (рис. 3.15, 3.16).

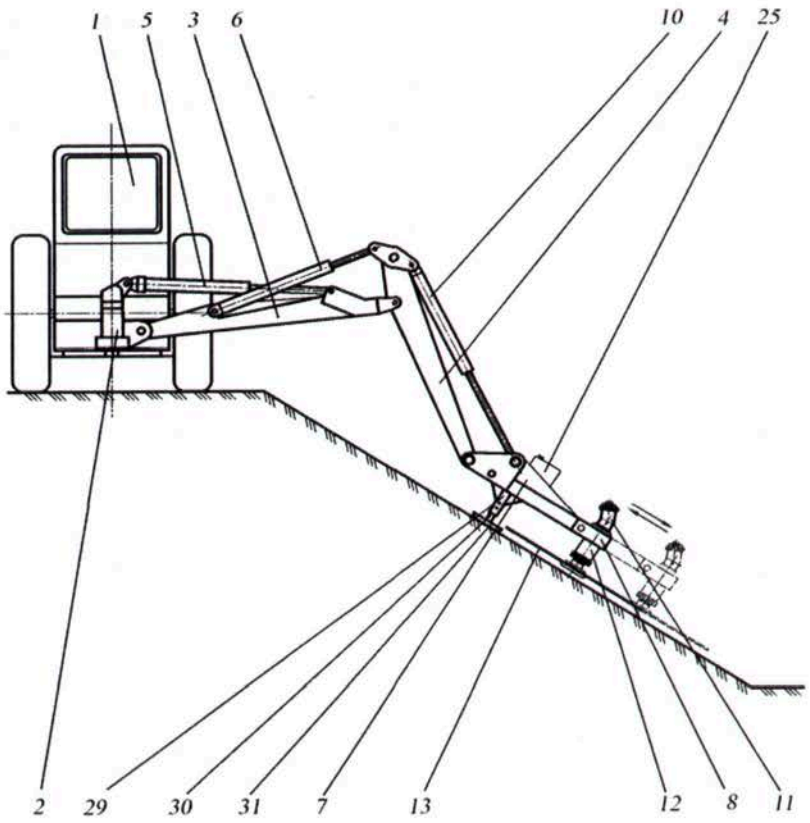


Рис. 3.14. Общий вид кусторeза
на базе одноковшового экскаватора: *1* – базовый трактор;
2 – привод поворота гидроманипулятора; *3* – стрела; *4* – рукоять;
5, *6*, *10* – гидроцилиндры; *7* – телескопическая стрела;
8 – телескоп; *11* – гидромотор; *12* – подшипниковый блок;
13 – дисковая пила; *25* – емкость для арборицидной смеси;
29 – опорная стойка; *30* – направляющая; *31* – лыжа

В рабочем органе кусторeза (рис. 3.17) смонтирована центральная система смазывания арборицидной смесью поверхностей пней, включающая дисковую пилу *13*, в которой симметрично выполнены два паза, в каждом из которых жестко зафиксирована внешняя трубка *14* (рис. 3.18).

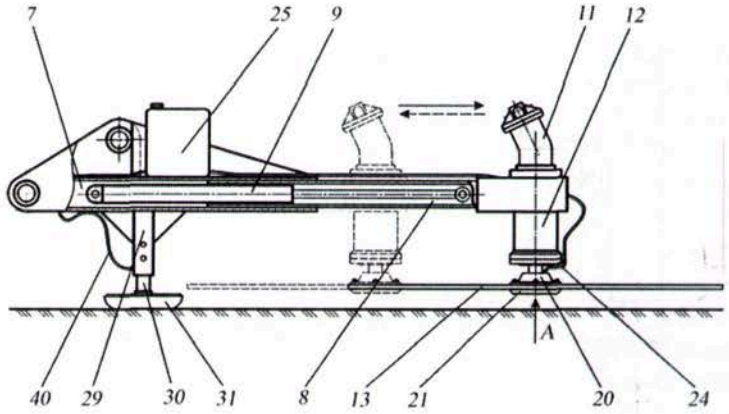


Рис. 3.15. Рабочее оборудование кусторeза
на базе одноковшового экскаватора, вид сбоку:
7 – телескопическая стрела; *8* – телескоп; *9* – гидроцилиндр;
11 – гидромотор; *12* – подшипниковый блок; *13* – дисковая пила;
20 – кожух; *21* – фланец; *24* – трубопровод; *25* – емкость
для арборицидной смеси; *29* – опорная стойка;
30 – направляющая; *31* – лыжа; *40* – гибкий трубопровод

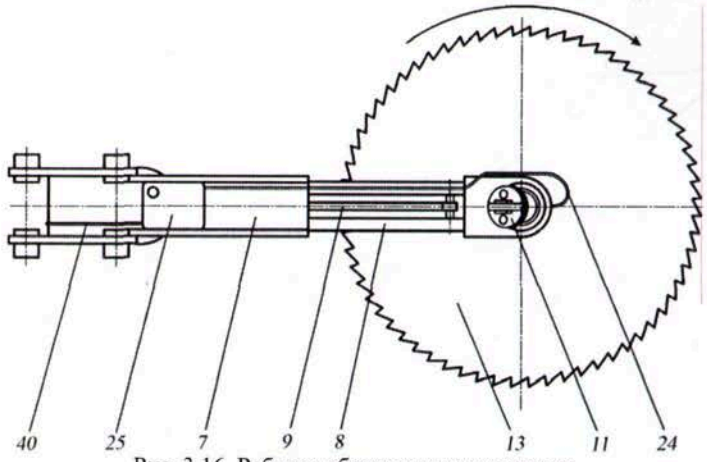


Рис. 3.16. Рабочее оборудование кусторeза
на базе одноковшового экскаватора, вид сверху:
7 – телескопическая стрела; *8* – телескоп; *9* – гидроцилиндр;
11 – гидромотор; *13* – дисковая пила; *24* – трубопровод;
25 – емкость для арборицидной смеси; *40* – гибкий трубопровод

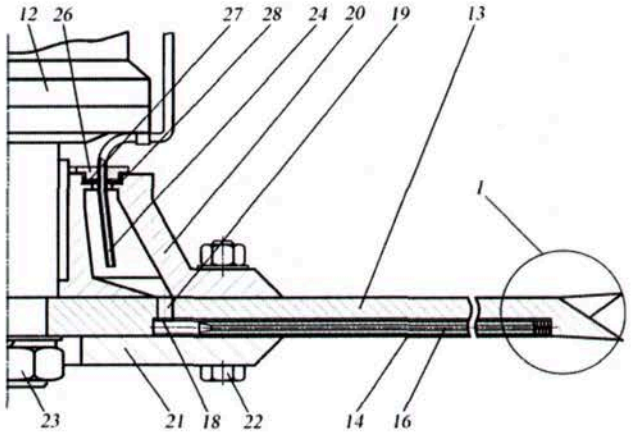


Рис. 3.17. Рабочий орган кусторeза
на базе одноковшового экскаватора:
12 – подшипниковый блок; *13* – дисковая пила;
14, *16* – внешняя и внутренняя трубки;
18, *19* – отверстия; *20* – кожух; *21* – фланец;
22 – болтовое соединение; *23* – гайка; *24* – трубопровод;
26 – кольцо; *27*, *28* – уплотнительные манжеты

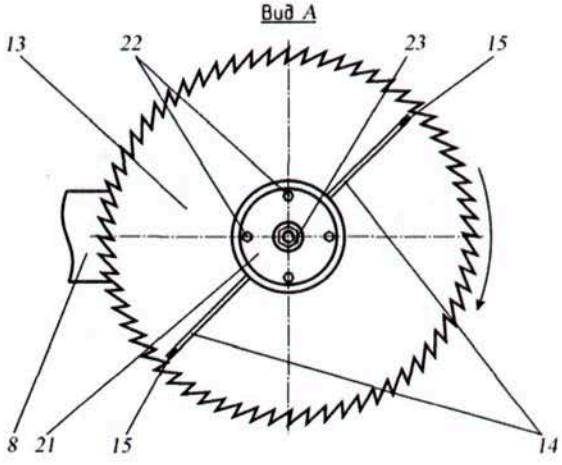


Рис. 3.18. Вид *А* на рисунке 3.15:
8 – телескоп; *13* – дисковая пила; *14* – внешние трубки;
15 – капиллярные отверстия; *21* – фланец;
22 – болтовые соединения; *23* – гайка

Причем на одном конце внешней трубки *14*, находящемся рядом с зубьями дисковой пилы *13*, выполнены капиллярные отверстия *15*. В полости внешней трубки *14* размещена с возможностью перемещения внутренняя трубка *16*, которая подпружинена посредством пружины *17*, расположенной также в полости внешней трубки *14* со стороны капиллярных отверстий *15* (рис. 3.19). Для поступления арборицидной смеси в полость внешней трубки *14* в ней выполнено отверстие *18*, совмещенное с отверстием *19* в дисковой пиле *13*, которое в свою очередь сообщается с полостью кожуха *20*. Дисковая пила *13* установлена между кожухом *20* и фланцем *21*, которые стягивают между собой болтовыми соединениями *22* и фиксируют на валу гидромотора *11* посредством гайки *23*. Полость кожуха *20* через трубопровод *24* соединена с емкостью для арборицидной смеси *25*, установленной на телескопической стреле *7*. Причем трубопровод *24* закреплен на подшипниковом блоке *12*. Для предотвращения вытекания жидкости из полости кожуха *20* на трубопроводе *24* жестко фиксируют неподвижное кольцо *26*. При этом между неподвижным кольцом *26* и стенками кожуха *20* устанавливают две кольцевые уплотнительные манжеты *27* и *28*.

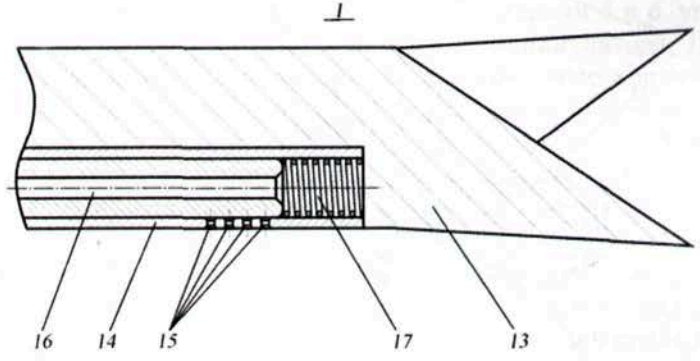


Рис. 3.19. Узел *I* на рисунке 3.17: *13* – дисковая пила;
14 – внешняя трубка; *15* – капиллярные отверстия;
16 – внутренняя трубка; *17* – пружина

Также рабочее оборудование кусторeза оснащено копирующей лыжей (рис. 3.20), в которой размещена вторая дополни-

тельная система смазывания арборицидной смесью поверхностей пней, служащая для повышения эффективности обработки пней большого диаметра и увеличения зоны обработки. Она включает жестко соединенную с телескопической стрелой *7* опорную стойку *29* с зафиксированной на ней направляющей *30*. При этом основание лыжи *31* жестко соединено с крышкой *32*, установленной на направляющей *30* с возможностью перемещения по ней. На вертикальных стенках крышки *32* закреплена кольцевая мембрана *33*. В основании лыжи *31* выполнены канавки *34*, в нижней части которых расположены капиллярные отверстия *35* (рис. 3.21), закрытые шарообразными элементами *36*, закрепленными на концах упругих пластин *37*, жестко присоединенных к нижней части направляющей *30*. Между основанием лыжи *31* и направляющей *30* установлена возвратная пружина *38*, при этом внутри направляющей *30* расположена перегородка, в центре которой установлен обратный клапан *39* и выполнен канал, соединенный посредством гибкого трубопровода *40* с емкостью для арборицидной смеси *25*.

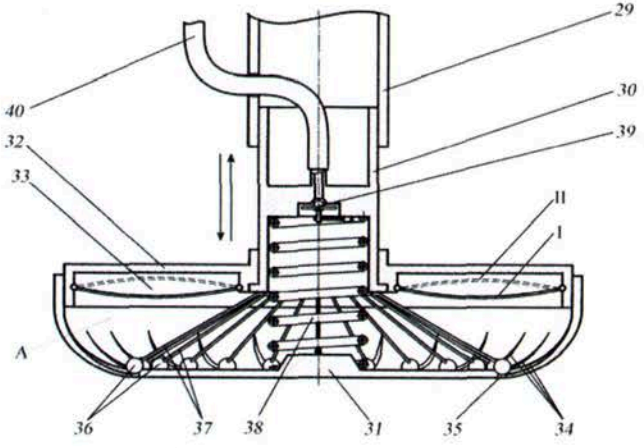


Рис. 3.20. Копирующая лыжа, вид сбоку: *29* – опорная стойка; *30* – направляющая; *31* – основание лыжи; *32* – крышка; *33* – кольцевая мембрана; *34* – канавки; *35* – капиллярные отверстия; *36* – шарообразные элементы; *37* – упругие пластины; *38* – возвратная пружина; *39* – обратный клапан; *40* – гибкий трубопровод

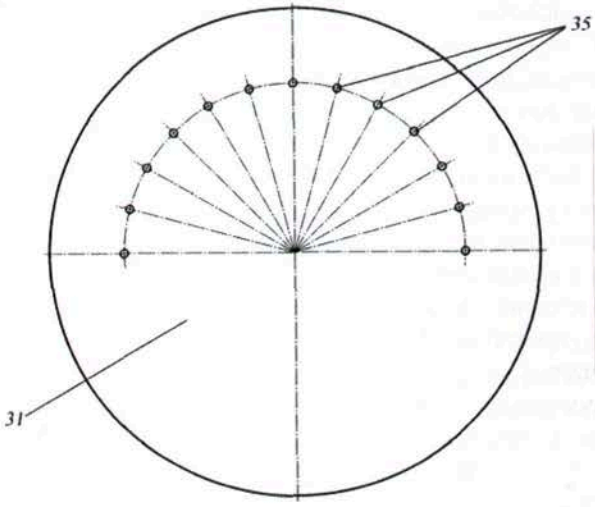


Рис. 3.21. Копирующая лыжа, вид сверху: *31* – основание лыжи; *35* – капиллярные отверстия

Кусторез работает следующим образом. Рабочее оборудование кусторeза подается к месту расположения древесно-кустарниковой растительности гидроцилиндрами *5* и *6*, управляющими стрелой *3* и рукоятью *4* гидроманипулятора. Далее гидроцилиндром *10* производят поворот телескопической стрелы *7* вокруг ее шарнирного крепления с рукоятью *4* до контакта основания лыжи *31* с поверхностью откоса канала. Затем включают гидромотор *11*, приводящий во вращение рабочий орган кусторeза.

Срезку кустарника на откосах осуществляют двумя способами: крупные стволы кустарника срезают посредством подачи рабочего органа телескопом *8*, выдвигаемым гидроцилиндром *9*, а более мелкий кустарник срезают при движении базового трактора *1* по берме вдоль оси канала, с одновременным возвратно-поступательным движением телескопа *8*.

В процессе работы кусторeза включаются центральная и дополнительная системы смазывания арборицидной смесью поверхностей пней, образующихся при срезке. Включение центральной системы смазывания пней происходит при вращении

рабочего органа. При этом полость кожуха *20* заполнена арборицидной смесью, поступающей в нее из емкости для арборицидной смеси *25* по трубопроводу *24*. Под действием центробежной силы внутренние трубки *16* перемещаются в сторону зубьев дисковой пилы *13* и сжимают пружины *17*, перекрывая капиллярные отверстия *15* во внешних трубках *14* (см. рис. 3.19). Одновременно с этим в процессе смещения внутренних трубок *16* открываются отверстия *18*, сообщающиеся с полостью кожуха *20*, и при этом под действием центробежных сил полости внешних трубок *14* и внутренних трубок *16* заполняются арборицидной смесью.

При врезании дисковой пилы *13* в ствол кустарника уменьшается частота вращения рабочего органа, в результате чего происходит снижение действия центробежных сил на внутренние трубки *16* (которые под воздействием пружин *17* смещаются к оси вращения рабочего органа, открывая при этом капиллярные отверстия *15*) и поступающей через них на нижнюю поверхность дисковой пилы *13* арборицидной смесью смазывается торцевая поверхность образующегося пня.

По окончании срезки ствола кустарника частота вращения рабочего органа возрастает и под воздействием вновь возросших центробежных сил внутренние трубки *16*, сжимая пружины *17*, занимают свое прежнее положение, перекрывая капиллярные отверстия *15*.

После остановки рабочего органа внутренние трубки *16* занимают под действием пружин *17* исходное положение, закрывая отверстия *18*, в результате чего прекращается доступ арборицидной смеси в полость внешних *14* и внутренних *16* трубок.

Дополнительная система смазывания арборицидной смесью поверхностей пней служит для повышения эффективности обработки пней большого диаметра и увеличения зоны обработки и работает следующим образом.

Предварительно из емкости *25* арборицидная смесь по трубопроводу *40* через обратный клапан *39* заполняет полость *А*, ограниченную основанием лыжи *31*, крышкой *32* с кольцевой мембраной *33* и внутренними стенками направляющей *30* (см. рис. 3.20).

Включение дополнительной системы смазки происходит при контакте основания лыжи *31* с пнем. При этом основание

лыжи *31* с крышкой *32* перемещаются вверх по направляющей *30*, сжимая возвратную пружину *38*. Давление в полости *А* повышается и происходит закрытие обратного клапана *39*. Под действием возрастающего давления кольцевая мембрана *33* переходит из положения *I* в положение *II*, стабилизируя давление в полости *А*. Одновременно с этим происходит перемещение по канавкам *34* шарообразных элементов *36*, закрепленных на упругих пластинах *37*, в результате чего открываются капиллярные отверстия *35* и поступающей через них арборицидной смесью смазывается поверхность пня.

После выхода основания лыжи *31* из контакта с пнем под действием возвратной пружины *38* основание лыжи *31* вместе с крышкой *32* занимают исходное положение, и шарообразные элементы *36* под действием упругих пластин *37* вновь перекрывают капиллярные отверстия *35*. Одновременно с этим происходит открытие обратного клапана *39* и возврат кольцевой мембраны *33* в положение *I*.

Предлагаемый кусторез позволяет одновременно со срезкой кустарника производить смазывание арборицидной смесью поверхностей пней, образующихся при срезке, что дает возможность использовать данный кусторез в ветреную погоду и осуществлять срезку кустарника с одновременным угнетением пней на откосах каналов в непосредственной близости от транспортируемой по ним воды. Также системы смазывания арборицидной смесью поверхностей пней обеспечивают более экономичный расход смеси и повышают экологическую безопасность производства работ в целом.

Также на базе рабочего оборудования одноковшового экскаватора нами разработана конструкция кустореза с устройством для регулирования высоты срезания, защищенная *патентом РФ на изобретение № 2316206 «Кусторез»* [201].

Предлагаемый кусторез (рис. 3.22) содержит базовый трактор *1*, на котором установлен гидроманипулятор, состоящий из стрелы *2* и рукояти *3* и снабженный приводом поворота вокруг вертикальной оси *4*. Стрела *2* управляется гидроцилиндром *5*, а рукоять *3* – гидроцилиндрами *6*. На свободном конце рукояти *3* шарнирно закреплена телескопическая стрела *7* с телескопом *8*,

который выдвигается гидроцилиндром *9* (рис. 3.23). Телескопическая стрела *7* шарнирно соединена со штоком гидроцилиндра *10*, корпус которого шарнирно закреплен на рукояти *3*. При этом на свободном конце телескопа *8* установлен гидромотор *11*, на выходном валу которого закреплен рабочий орган со смонтированным в нем устройством для регулирования высоты срезания (рис. 3.24), включающим дисковую пилу *12*, установленную между цилиндрическим корпусом *13* и фланцем *14*, которые стягиваются между собой болтовыми соединениями *15*. Также цилиндрический корпус *13* жестко связан с крышкой *16*, закрепленной на валу гидромотора *11*. В цилиндрическом корпусе *13* симметрично выполнены два паза *17*, в которых установлены направляющие фиксаторы *18*, жестко соединенные с основанием *19*, размещенным с возможностью перемещения внутри цилиндрического корпуса *13*. Между основанием *19* и крышкой *16* установлена возвратная пружина *20*.

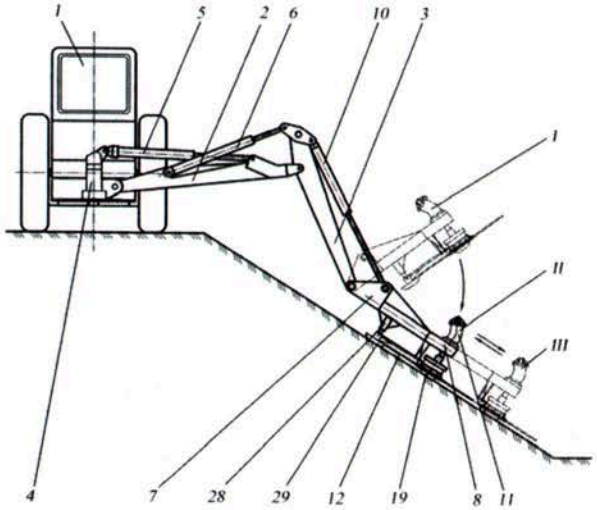


Рис. 3.22. Общий вид кусторeза с устройством для регулирования высоты срезания: *1* – базовый трактор; *2* – стрела; *3* – рукоять; *4* – привод поворота гидроманипулятора; *5*, *6*, *10*, *28* – гидроцилиндры; *7* – телескопическая стрела; *8* – телескоп; *11* – гидромотор; *12* – дисковая пила; *19* – основание; *29* – тарельчатое основание

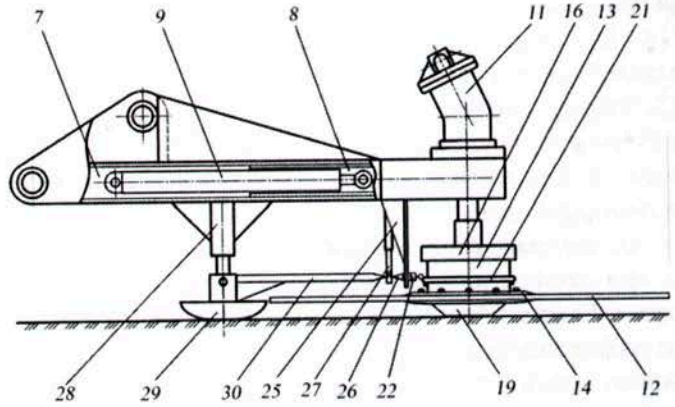


Рис. 3.23. Рабочее оборудование кусторeза с устройством для регулирования высоты срезания, вид сбоку: *7* – телескопическая стрела; *8* – телескоп; *9*, *28* – гидроцилиндры; *11* – гидромотор; *12* – дисковая пила; *13* – цилиндрический корпус; *14* – фланец; *16* – крышка; *19* – основание; *21* – кольцо; *22* – концевой электрический выключатель; *25* – стойка; *26*, *30* – указатели; *27* – линейка; *29* – тарельчатое основании

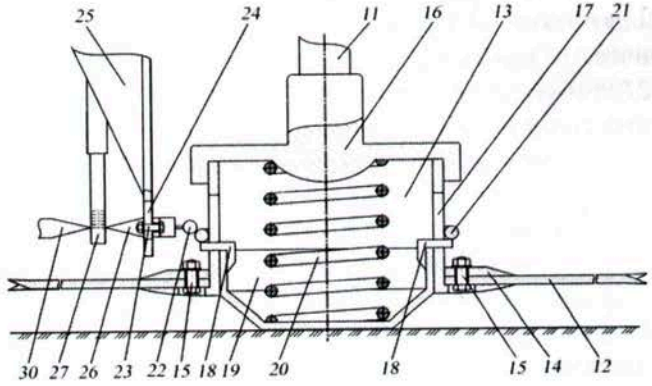


Рис. 3.24. Рабочий орган кусторeза с устройством для регулирования высоты срезания: *11* – гидромотор; *12* – дисковая пила; *13* – цилиндрический корпус; *14* – фланец; *15* – болтовые соединения; *16* – крышка; *17*, *24* – пазы; *18* – направляющие фиксаторы; *19* – основание; *20* – пружина; *21* – кольцо; *22* – концевой электрический выключатель; *23* – болтовое соединение; *25* – стойка; *26*, *30* – указатели; *27* – линейка

Снаружи цилиндрического корпуса *13* расположено кольцо *21*, зафиксированное на направляющих фиксаторах *18* и взаимодействующее с концевым электрическим выключателем *22*, закрепленным с возможностью перемещения посредством болтового соединения *23* в пазу *24* стойки *25*, жестко соединенной с телескопом *8*. При этом на концевом электрическом выключателе *22* закреплен указатель *26*, который показывает на линейке *27*, установленной на стойке *25*, высоту срезки при данном положении концевого электрического выключателя *22* на стойке *25*. Также на телескопической стреле *7* жестко зафиксирован гидроцилиндр *28*, на штоке которого закреплено тарельчатое основание *29* с указателем *30*, который при втянутом положении телескопа *8* также показывает на линейке *27* высоту срезки.

Кусторез работает следующим образом. Перед началом работы кустореза предварительно устанавливают высоту срезки, для чего ослабляют болтовое соединение *23*, которое затем вместе с концевым электрическим выключателем *22* перемещают по пазу *24*, выполненному на стойке *25*. Перемещение производят таким образом, чтобы закрепленный на концевом электрическом выключателе *22* указатель *26* показывал на линейке *27* требуемую высоту срезки, после чего концевой электрический выключатель *22* фиксируют в данном положении на стойке *25* посредством затягивания болтового соединения *23*. Далее включают гидроцилиндр *28*, шток которого вместе с тарельчатым основанием *29* и указателем *30* перемещают таким образом, чтобы указатель *30* показывал на линейке *27* ту же высоту срезки, что и указатель *26*. После чего гидроцилиндр *28* переводят в запертое положение.

По окончании установки высоты срезки рабочее оборудование кустореза подается к месту расположения древесно-кустарниковой растительности гидроцилиндрами *5* и *6*, управляющими стрелой *2* и рукоятью *3* гидроманипулятора (см. рис. 3.22, положение *I*). Далее гидроцилиндром *10* производят поворот телескопической стрелы *7* вокруг ее шарнирного крепления с рукоятью *3*. После контакта тарельчатого основания *29* с поверхностью очищаемого участка гидроцилиндры *6* управления рукоятью *3* переводят в плавающее положение. При дальнейшем выдвижении штока гидроцилиндра *10* происходит контакт основания *19* с поверхностью участка. При этом основание *19* начинает перемещаться внутри цилиндрического корпуса *13*, сжимая возвратную пружину *20*. Вместе с основанием *19* вверх по пазам *17* перемещаются направляющие фиксаторы *18* с зафиксированным на них кольцом *21*. Как только кольцо *21* касается концевого электрического выключателя *22*, шток гидроцилиндра *10* останавливается и гидроцилиндр *10* и гидроцилиндры 6 переводятся в запертое положение (см. рис. 3.22, положение *II*). Таким образом, дисковая пила *12* размещается на установленной высоте срезки в плоскости, параллельной поверхности очищаемого участка. Затем производят включение гидромотора *11*, приводящего во вращение рабочий орган кустореза.

Срезку кустарника на откосах осуществляют двумя способами: крупный кустарник срезают посредством подачи рабочего органа телескопом *8*, выдвигаемым гидроцилиндром *9* (см. рис. 3.22, положение *III*), более мелкий – при движении базового трактора *1* по берме вдоль оси канала с одновременным возвратно-поступательным движением телескопа *8*.

Предлагаемый кусторез позволяет регулировать высоту срезки, благодаря чему можно значительно уменьшить высоту образующихся при срезке пней и обеспечить тем самым беспрепятственный проход косилок при последующем окашивании откосов. Кроме того, наличие у кустореза устройства для регулирования высоты срезки позволяет обеспечить лучшие условия резания за счет того, что дисковая пила располагается при срезке в плоскости, параллельной поверхности очищаемого участка, и предотвратить контакты дисковой пилы с поверхностью участка при опускании кустореза в рабочее положение. Данную конструкцию кустореза можно использовать для срезки кустарника как на откосах, так и на берме канала.

3.1.3. Теоретическое обоснование конструкций кусторезов с дисковыми рабочими органами

Эффективное выполнение технологических операций неразрывно связано с их техническим обеспечением. В разработанных ресурсосберегающих технологиях очистки каналов основной операцией является срезание древесно-кустарниковой растительности. При этом используют в основном кусторезы с дисковыми пильными рабочими органами и применяют распространенные в деревообработке дисковые пилы.

С целью совершенствования технологических режимов работы кусторезов на каналах и минимизации энергозатрат на пиление в ходе проведенных теоретических изысканий нами систематизированы существующие теоретические исследования использования кусторезов с дисковыми пильными рабочими органами и разработана комплексная теория процесса работы кусторезов.

3.1.3.1. Кинематические параметры процесса срезания древесно-кустарниковой растительности

Технологический процесс работы кусторезов с дисковым рабочим органом на оросительных каналах характеризуется двумя режимами работы:

- срезание мелкого кустарника с подачей рабочего органа движением трактора;
- срезание крупных стволов при остановке базовой машины путем подачи самого рабочего органа.

Анализируя разработанные конструкции кусторезов, можно выделить несколько основных технологических схем подачи дисковой пилы (рис. 3.25). Необходимо отметить, что для повышения производительности работ на каналах наиболее приемлемы комбинированные способы подачи пильного рабочего органа, предусматривающие увеличенную зону обработки, а наиболее целесообразной, с учетом производственного опыта, является схема, представленная рис. 3.25, *д*.

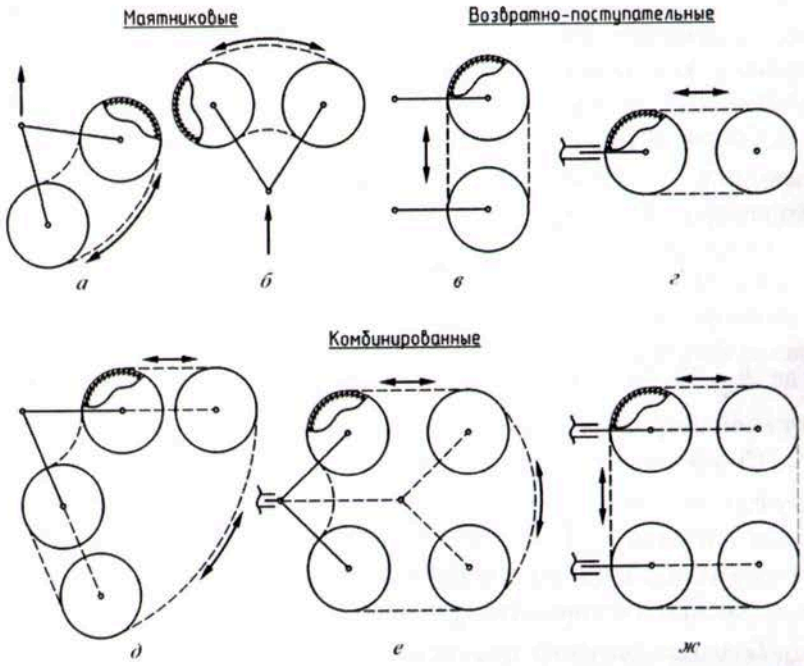


Рис. 3.25. Технологические схемы подачи дискового пильного рабочего органа кустореза

Большое значение имеет теоретическое обоснование способа подачи дисковой пилы с учетом снижения энергозатрат и установления оптимальных режимов работы.

В процессе срезания древесно-кустарниковой растительности рабочий орган совершает одновременно вращательное и переносное поступательное или маятниковое (вместе со стрелой) движение. Поступательное движение определяет величину подачи рабочего органа при срезании кустарника. Зуб пилы при этом описывает траекторию, вид которой зависит от соотношения скоростей резания v и подачи u, а также от положения оси диска относительно обрабатываемого материала.

Рассматривая кинематику дисковых пил, следует отметить, что важным вопросом является определение рабочей зоны

взаимодействия зуба пилы с древесиной, которая влияет на процесс взаимодействия стволов с рабочим органом и выбор направления вращения пилы.

Скорость резания v_e при пилении круглой пилой вычисляют как геометрическую сумму скорости подачи u и окружной скорости v [152]:

$$v_e = \sqrt{v^2 + u^2 + 2vu\cos\theta_{ср}}\,, \qquad (3.1)$$

где $\theta_{ср}$ – угол между направлениями скорости подачи и окружной скорости (средний кинематический угол встречи).

При этом вектор скорости резания v_e по величине и направлению практически не отличается от вектора окружной скорости пилы v. В расчетах их обычно принимают равными, допуская при этом незначительную погрешность [152]. То есть в дальнейшем принимаем $v_e \approx v$.

Большое значение при эксплуатации кусторeза имеет выбор направления вращения дисковой пилы. В деревообработке различают пиление со встречной подачей, когда проекция скорости резания v на направление подачи и вектор скорости подачи рабочего оборудования u направлены навстречу друг другу, и с попутной подачей, когда они совпадают по направлению [308]. При продольном пилении древесины в деревообрабатывающих станках попутная подача используется редко, однако при поперечном пилении неподвижной заготовки она нашла большое распространение [39, 54, 55].

Процесс срезания древесно-кустарниковой растительности можно рассматривать как поперечное или смешанное пиление с попутной или встречной подачей. Что касается выбора направления вращения дисковой пилы, то с позиции снижения энергоемкости предпочтительна встречная подача. При попутной подаче мощность, расходуемая на пиление, примерно на 20 % выше, чем при встречной [290]. Однако окончательный выбор направления вращения можно сделать, проанализировав взаимодействие стволов срезаемого кустарника с дисковой пилой. Решающее значение в этом вопросе будет иметь направление падения срезанных стволов.

В кусторезах телескопического типа прямолинейная подача пильного диска в зону резания осуществляется за счет выдвижения телескопа, следовательно, ход телескопа является весьма важным конструктивным и технологическим параметром, от величины которого зависят, прежде всего, основные геометрические размеры кусторeза и параметры его привода. Таким образом, выбор рациональной величины хода телескопа является весьма важной задачей.

Согласно исследованиям [93, 221], минимальный путь надвигания дискового рабочего органа $L_н$, необходимый для срезки ствола, можно определить по формуле:

$$L_н = \sqrt{(R_п + d_{ст}/2)^2 - l_с^{\,2}} - \sqrt{(R_п - d_{ст}/2)^2 - l_с^{\,2}}\,, \qquad (3.2)$$

где $d_{ст}$ – диаметр ствола древесно-кустарниковой растительности, м; $l_с$ – расстояние от оси вращения дисковой пилы до центра ствола, м.

Вполне очевидно, что при разработке кусторeза в зависимости от различных условий устанавливают максимально допустимый диаметр ствола $d_{ст}^{max}$, с которым он может взаимодействовать.

При этом анализ графика (рис. 3.26), построенного по формуле (3.6), показывает, что будет существовать предельное значение эксцентриситета, при котором еще возможна полная срезка ствола.

Зная максимальный диаметр ствола $d_{ст}^{max}$, с которым будет работать кусторез, определим предельную величину эксцентриситета (рис. 3.27):

$$l_с^{пр} = R_п - d_{ст}^{max}/2\,. \qquad (3.3)$$

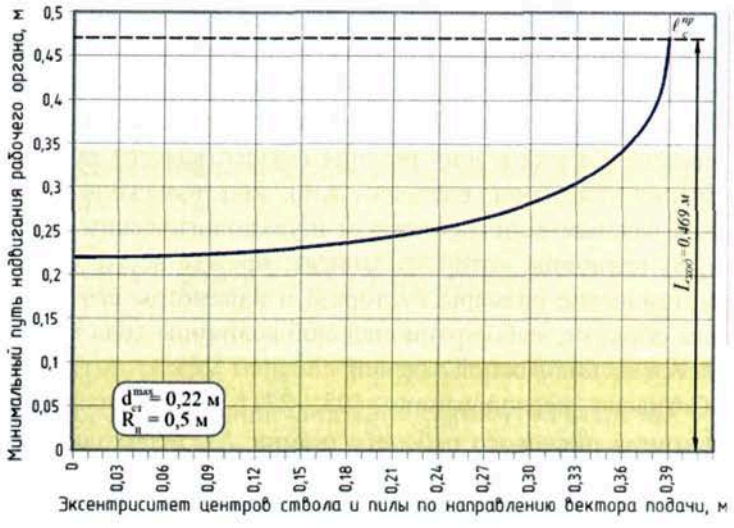


Рис. 3.26. Изменение минимального пути надвигания рабочего органа в зависимости от эксцентриситета центров ствола и пилы по направлению вектора подачи

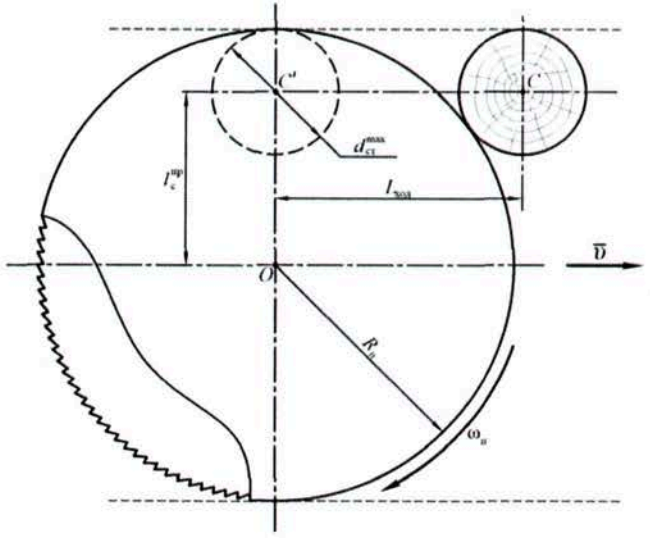


Рис. 3.27. Схема для определения величины хода телескопа кусторeза

Для того чтобы определить величину хода телескопа $L_{ход}$, достаточную для срезки ствола, подставим равенство (3.3) в формулу (3.2):

$$L_{ход} = \sqrt{\left(R_п + d_{ст}^{max}/2\right)^2 - \left(R_п - d_{ст}^{max}/2\right)^2} - \sqrt{\left(R_п - d_{ст}^{max}/2\right)^2 - \left(R_п - d_{ст}^{max}/2\right)^2}, \quad (3.4)$$

после всех преобразований окончательно получим:

$$L_{ход} = \sqrt{2R_п d_{ст}^{max}}. \quad (3.5)$$

Таким образом, приняв максимальный диаметр ствола $d_{ст}^{max}$ = 0,22 м (при $R_п$ = 0,5 м) и подставив его в формулу (3.5), получим рациональную величину хода телескопа $L_{ход}$ = 0,469 м, что полностью соответствует графической зависимости, представленной на рис. 3.26.

Следовательно, используя данные формулы и зная размерные характеристики срезаемой растительности, можно определить рациональные параметры телескопа и соответственно выбрать оптимальную величину хода гидроцилиндра телескопического устройства.

При пилении важно установить рациональное соотношение между скоростью резания и скоростью подачи в зависимости от размеров распиливаемых лесоматериалов, шага и прочности зубьев и объемов межзубовых пространств (впадин) [283]. Основное кинематическое соотношение при пилении круглыми пилами с учетом формул (1.2) и (1.3) имеет вид:

$$\frac{u}{v} = \frac{60u_z nz}{2 \cdot 60\pi R_п n} = \frac{u_z}{t_з}, \quad (3.6)$$

где u_z – подача на 1 зуб, м/зуб; $t_з$ – окружной шаг зубьев, м.

3.1.3.2. Теоретическое обоснование способа подачи дисковой пилы

Технологический процесс работы кусторeза с активным рабочим органом зависит, прежде всего, от способа подачи режущего инструмента в зону резания. В настоящий момент среди большого разнообразия конструкций кусторезов, оснащенных дисковыми пилами, можно выделить два основных способа подачи рабочего органа – прямолинейный и угловой (у маятниковых кусторезов).

При проектировании новых конструкций кусторезов выбранный способ подачи дисковой пилы определяет их основные конструктивные и технологические параметры. Причем выбор того или иного способа подачи нужно осуществлять с учетом размерных характеристик срезаемой растительности и перегрузок, которые могут возникнуть в процессе резания.

На каналах, как правило, произрастают смешанные насаждения, состоящие из мелкой и средней кустарниковой поросли, в которой также встречаются и отдельные крупные стволы. Учитывая такую особенность зарастания каналов, проанализируем существующие способы подачи дисковой пилы и на основе этого выберем наиболее рациональное решение.

Рассмотрим прямолинейный и угловой способы подачи рабочего органа с позиции их влияния на кинематику зуба дисковой пилы и возможности обеспечения оптимальных условий резания [255].

При прямолинейной подаче зуб пилы описывает траекторию удлиненной циклоиды (рис. 3.28).

При этом движение точки режущего элемента (зуба) описывается системой параметрических уравнений [41]:

$$\begin{cases} x = \dfrac{u_z z \omega_{\text{п}} t}{2\text{p}} - R_{\text{п}} \sin \omega_{\text{п}} t, \\ y = R_{\text{п}} \cos \omega_{\text{п}} t, \end{cases} \qquad (3.7)$$

где u_z – подача на зуб, м/зуб; z – число зубьев дисковой пилы, шт.; $\omega_{\text{п}}$ – угловая скорость дисковой пилы, град./с; t – время, с; $R_{\text{п}}$ – радиус дисковой пилы, м.

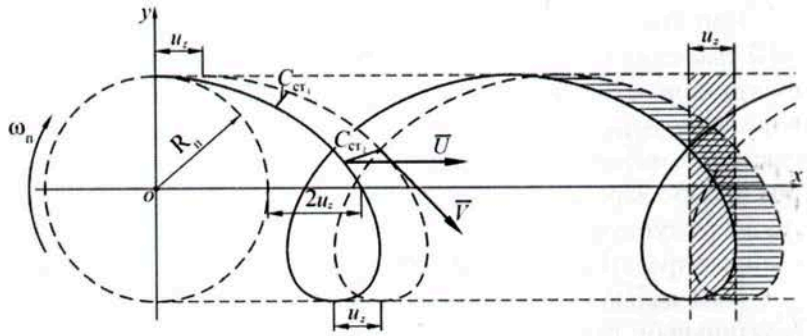


Рис. 3.28. Траектория движения зуба дисковой пилы при прямолинейной подаче рабочего органа

При прямолинейной подаче рабочего органа для обеспечения оптимальных условий резания диск пилы в каждый момент времени должен перемещаться на определенную величину. Данной величиной является подача на зуб u_z, причем увеличение или уменьшение этой величины неизбежно ведет к увеличению энергозатрат.

Таким образом, для обеспечения в течение всего процесса резания оптимальных условий необходимо, чтобы подача на зуб оставалась величиной постоянной, то есть приращение аргумента по времени должно быть постоянным $\dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \text{const}$.

С технической точки зрения данное условие может быть выполнено с помощью механического или гидравлического привода, обеспечивающего равномерную подачу рабочего органа.

Обеспечение оптимальных условий в течение всего процесса резания наиболее значимо при спиливании крупных стволов, так как это позволяет избежать перегрузок, ведущих к увеличению энергозатрат и преждевременному износу режущего инструмента.

Однако кусторезы с прямолинейной подачей уступают по производительности маятниковым кусторезам, так как за счет движения маятниковой стрелы пильный диск может перекрыть значительно большую площадь очищаемой от кустарника поверхности.

При этом зуб маятниковой пилы движется по более сложной траектории, которая зависит как от направления движения маятниковой стрелы, так и от направления вращения пильного диска, которые в свою очередь могут осуществляться как по часовой стрелке, так и против ее хода. С учетом этого возможны четыре варианта траекторий, по которым может двигаться точка режущего инструмента (зуба) у маятникового кусторeза. Данные траектории представлены на рис. 3.29. Из схем видно, что чем дальше расположена зона резания от оси вращения маятниковой стрелы, тем большая подача на зуб будет в ней осуществляться, при одном и том же угле поворота маятниковой стрелы. Таким образом, наибольшие перегрузки в процессе резания будут возникать в наиболее удаленной зоне резания. Причем данной зоной будет являться дуга окружности с радиусом $r_д$, здесь $r_д$ – это радиус действия маятникового кусторeза:

$$r_д = R_п + l_м, \tag{3.8}$$

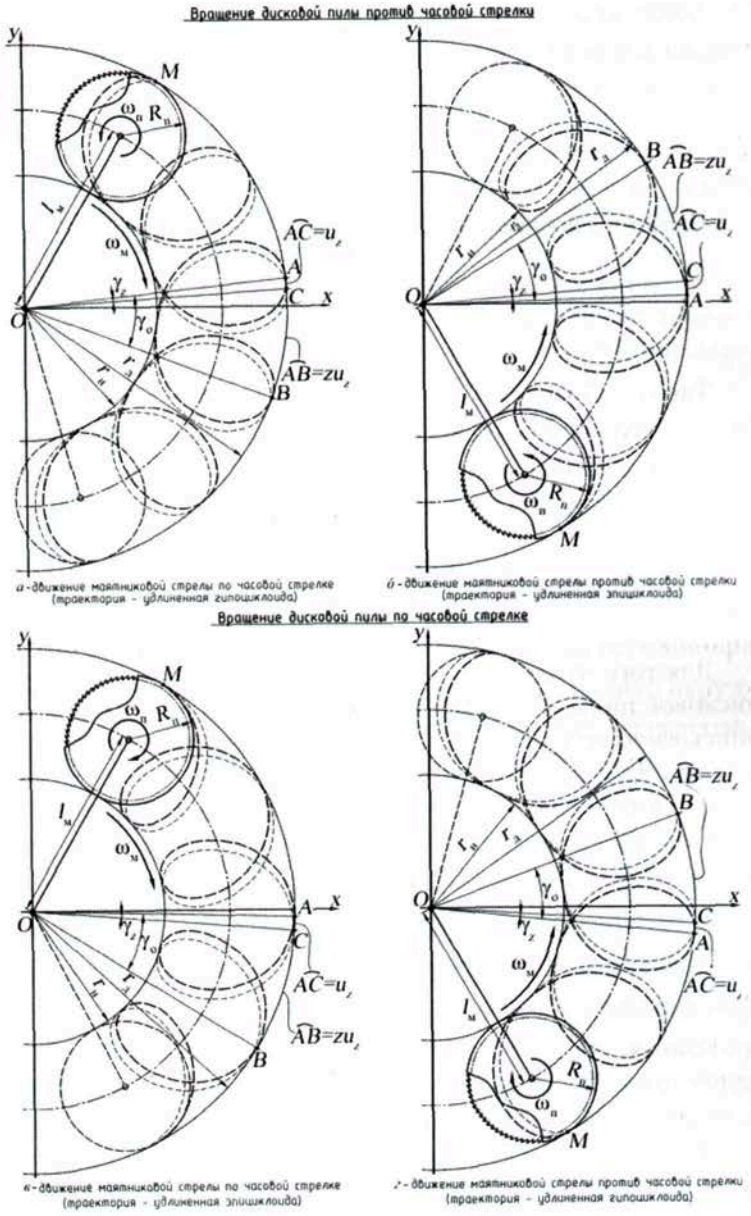
где $l_м$ – длина маятниковой стрелы (расстояние от оси вращения маятниковой стрелы до оси вращения дисковой пилы), м.

Следовательно, чтобы избежать возникновения перегрузок, нужно создать оптимальные условия резания именно для данной зоны, установив для нее рациональную подачу на зуб.

При этом, чтобы обеспечить необходимую подачу на зуб в наиболее удаленной зоне резания, введем такой параметр (применительно к маятниковым кусторезам), как угловая подача на зуб $г_z$ (град./зуб), которую можно определить по формуле:

$$г_z = \frac{180 u_z}{р(R_п + l_м)}, \tag{3.9}$$

где u_z – подача на зуб, при которой обеспечиваются оптимальные условия резания, м/зуб.



а - движение маятниковой стрелы по часовой стрелке (траектория - удлиненная гипоциклоида)
б - движение маятниковой стрелы против часовой стрелки (траектория - удлиненная эпициклоида)
в - движение маятниковой стрелы по часовой стрелке (траектория - удлиненная эпициклоида)
г - движение маятниковой стрелы против часовой стрелки (траектория - удлиненная гипоциклоида)

Рис. 3.29. Траектории движения зуба маятникового кусторeза

Тогда за один оборот дисковой пилы привод маятниковой стрелы должен повернуть ее на угол γ_o:

$$\gamma_o = \frac{180 u_z z}{\pi(R_п + l_м)}. \qquad (3.10)$$

Время, за которое пила совершает один оборот, составляет:

$$t_o = \frac{360}{\omega_п}. \qquad (3.11)$$

Таким образом, угловую скорость маятниковой стрелы $\omega_м$, с которой она должна двигаться для того чтобы обеспечить оптимальные условия резания в наиболее удаленной зоне резания, можно определить по формуле:

$$\omega_м = \frac{\gamma_o}{t_o} = \frac{180 u_z z}{\pi(R_п + l_м)} \frac{\omega_п}{360} = \frac{u_z z \omega_п}{2\pi(R_п + l_м)}. \qquad (3.12)$$

Для того чтобы иметь полное представление о кинематике дисковой пилы маятникового кустореза, определим уравнения, описывающие движение зуба пилы для случаев, представленных на рис. 3.29.

Рассматривая схемы *а* и *г* (см. рис. 3.29), замечаем, что траекторию движения зуба в этих случаях можно построить путем перекатывания со скольжением окружности радиуса $R_п$ по внутренней части окружности радиуса $r_д$. Причем величина проскальзывания окружности с радиусом $R_п$ будет напрямую зависеть от угловой подачи на зуб γ_z.

Кривая, которая получается в результате перекатывании одной окружности по внутренней части другой с постоянной величиной скольжения, является удлиненной гипоциклоидой, которая принадлежит к плоским кривым 6-го порядка.

На рис. 3.29 нетрудно заметить, что если направление вращения дисковой пилы и маятниковой стрелы совпадают, то

траектория зуба пилы будет иметь вид удлиненной эпициклоиды, а когда дисковая пила и маятниковая стрела вращаются в разных направлениях, то траектория зуба пилы имеет вид удлиненной гипоциклоиды.

Далее определим траекторию движения зуба пилы для схемы, представленной на рис. 3.29, *а*. Также для вывода уравнений движения зуба воспользуемся схемой, изображенной на рис. 3.30.

Уравнение удлиненной гипоциклоиды для случая, представленного на рис. 3.30, с учетом угла захвата маятникового кустореза может быть представлено в виде системы параметрических уравнений:

$$\begin{cases} x = (R_г - r_г)\cos\left(\frac{\alpha}{2} - m t_п\right) + h\cos\left(\frac{\alpha}{2} + t_п - m t_п\right), \\ y = (R_г - r_г)\sin\left(\frac{\alpha}{2} - m t_п\right) + h\sin\left(\frac{\alpha}{2} + t_п - m t_п\right). \end{cases} \qquad (3.13)$$

где $R_г$ и $r_г$ – радиусы окружностей, являющихся основой при построении удлиненной гипоциклоиды, м ($R_г$ – радиус окружности, по внутренней части которой происходит перекатывание (без скольжения), $r_г$ – радиус перекатываемой окружности); m – отношение радиусов рассматриваемых окружностей ($m = r_г / R_г$); h – расстояние от центра перекатываемой окружности радиуса $r_г$ до точки, образующей искомую траекторию при перекатывании, $h > r_г$, м (при $h = r_г$ получается обыкновенная гипоциклоида, а при $h < r_г$ – укороченная; для рассматриваемого на рис. 3.30 случая $h = O_п M = R_п$); α – угол захвата маятникового кустореза, град.; $t_п$ – центральный угол, образующийся при вращении диска пилы, град.

Величина центрального угла $t_п$ может быть рассчитана по формуле:

$$t_п = \omega_п t. \qquad (3.14)$$

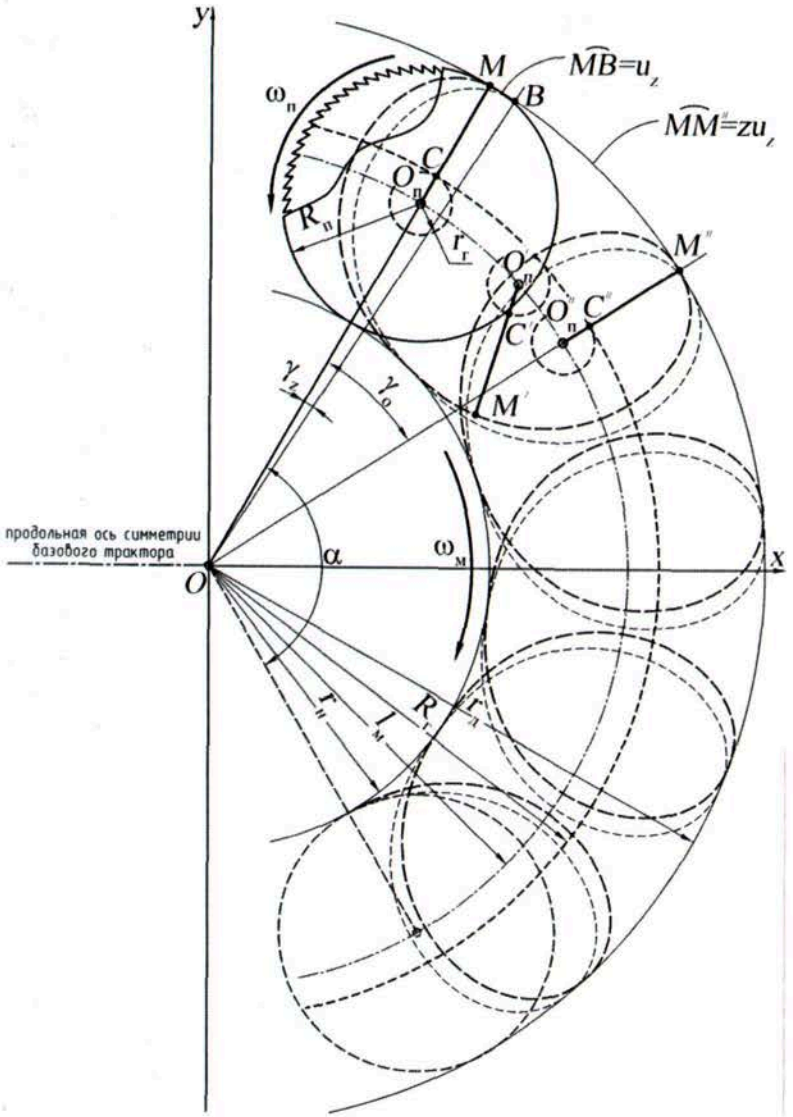


Рис. 3.30. Схема для определения траектории движения зуба пилы маятникового кусторeза

С учетом равенства (3.14) система уравнений (3.13) будет иметь вид:

$$\begin{cases} x = (R_г - r_г)\cos\left(\dfrac{\alpha}{2} - m\omega_п t\right) + \\ + R_п \cos\left(\dfrac{\alpha}{2} + \omega_п t - m\omega_п t\right), \\ y = (R_г - r_г)\sin\left(\dfrac{\alpha}{2} - m\omega_п t\right) + \\ + R_п \sin\left(\dfrac{\alpha}{2} + \omega_п t - m\omega_п t\right). \end{cases} \quad (3.15)$$

В системе уравнений (3.15) остаются неизвестными величины радиусов $R_г$ и $r_г$, определив которые можно вывести уравнения, описывающие траекторию движения зуба пилы.

При этом необходимо отметить, что окружности с радиусами $R_г$ и $r_г$ не являются случайными и не представляют собой какие-либо материальные окружности, однако они связаны с конструктивными параметрами кусторeза и напрямую зависят от угловой подачи на зуб.

Для определения величины радиусов $R_г$ и $r_г$ воспользуемся схемой, представленной на рис. 3.30. Центр окружности радиуса $R_г$ (по которой происходит перекатывание) совпадает с осью вращения маятниковой стрелы. Центр перекатываемой окружности с радиусом $r_г$ всегда должен совпадать с центром дисковой пилы, причем при перекатывании данная окружность будет вращаться вокруг своего центра с той же угловой скоростью, что и диск пилы $\omega_п$. Таким образом, можно записать следующее равенство:

$$R_г = l_м + r_г. \quad (3.16)$$

Чем больше величина отношения $\frac{h}{r_г}=\frac{O_п M}{r_г}=\frac{R_п}{r_г}$, тем большую величину проскальзывания можно имитировать при условном перекатывании диска пилы, имеющего радиус $R_п$, по внутренней части окружности радиуса $r_д$. Чтобы заложить постоянную величину скольжения диска пилы по внутренней части окружности радиуса $r_д$, окружность радиуса $r_г$ должна перекатываться по внутренней части окружности радиуса $R_г$ без скольжения. В рассматриваемом случае траектория зуба пилы образуется точкой M, принадлежащей отрезку $O_п M$, который жестко соединен с центром перекатываемой окружности радиуса $r_г$ и с самой окружностью в точке C. Благодаря этому при перекатывании окружности радиуса $r_г$ по внутренней части окружности радиуса $R_г$ отрезок $O_п M$ будет вращаться вокруг центра окружности $O_п$, а точка M будет очерчивать искомую траекторию.

Величины радиусов $R_г$ и $r_г$ напрямую зависят от угловой подачи на зуб. Если известна угловая подача на зуб γ_z, то за один оборот дисковой пилы маятниковая стрела должна повернуться на угол γ_o. При этом, так как центр перекатываемой окружности радиуса $r_г$ должен совпадать с центром пилы и она имеет ту же угловую скорость, что и пила, то данная окружность также сделает один оборот, перекатываясь по дуге CC'', принадлежащей окружности радиуса $R_г$. Следовательно, длина дуги CC'' будет равна длине окружности с радиусом $r_г$. Запишем это равенство. Длина дуги CC'' составляет $L_{CC''}=\frac{\pi R_г}{180}\gamma_o$, длина окружности радиуса $r_г$ – $L_{r_г}=2\pi r_г$ откуда:

$$2\pi r_г=\frac{\pi R_г}{180}\gamma_o. \qquad (3.17)$$

На основе определенных зависимостей запишем систему уравнений, используя выражения (3.16) и (3.17):

$$\begin{cases} R_г = l_м + r_г, \\ 2\pi r_г = \frac{\pi R_г}{180}\gamma_o. \end{cases} \qquad (3.18)$$

Из системы уравнений (3.18) выразим радиус $r_г$, подставив во второе уравнение системы выражение (3.10):

$$r_г=\frac{l_м u_z z}{2\pi(R_п+l_м)-u_z z}. \qquad (3.19)$$

Далее подставим полученное выражение (3.19) в первое уравнение системы (3.18) и определим величину радиуса $R_г$:

$$R_г=l_м+\frac{l_м u_z z}{2\pi(R_п+l_м)-u_z z}. \qquad (3.20)$$

На основе полученных уравнений (3.19) и (3.20) определим соотношение между радиусами $r_г$ и $R_г$:

$$m=\frac{u_z z}{2\pi(R_п+l_м)}. \qquad (3.21)$$

Для получения системы параметрических уравнений, описывающей траекторию движения зуба пильного диска маятникового кустореза, подставим выражения (3.19), (3.20) и (3.21) в систему уравнений (3.15) и преобразуем ее:

$$\begin{cases} x = l_{\text{м}} \cos\left(\dfrac{\alpha}{2} - \dfrac{u_z z}{2\pi(R_{\text{п}} + l_{\text{м}})}\omega_{\text{п}} t\right) + \\ + R_{\text{п}} \cos\left(\dfrac{\alpha}{2} + \omega_{\text{п}} t - \dfrac{u_z z}{2\pi(R_{\text{п}} + l_{\text{м}})}\omega_{\text{п}} t\right), \\ y = l_{\text{м}} \sin\left(\dfrac{\alpha}{2} - \dfrac{u_z z}{2\pi(R_{\text{п}} + l_{\text{м}})}\omega_{\text{п}} t\right) + \\ + R_{\text{п}} \sin\left(\dfrac{\alpha}{2} + \omega_{\text{п}} t - \dfrac{u_z z}{2\pi(R_{\text{п}} + l_{\text{м}})}\omega_{\text{п}} t\right). \end{cases} \quad (3.22)$$

Для проверки правильности полученной системы уравнений прибегнем к аналитическому способу определения данной траектории методом прямоугольных треугольников в декартовой системе координат, для чего воспользуемся схемой, изображенной на рис. 3.31.

Для вывода уравнений движения зуба пилы вначале рассмотрим наиболее характерную точку траектории (точку M), которая на начальный момент времени (то есть при $t = 0$) лежит на одной прямой с маятниковой стрелой. Согласно схеме, представленной на рис. 3.31, определим аргумент и ординату точки M:

$$\begin{cases} x_M = l_{\text{м}} \cos\dfrac{\alpha}{2} + R_{\text{п}} \cos\dfrac{\alpha}{2}, \\ y_M = l_{\text{м}} \sin\dfrac{\alpha}{2} + R_{\text{п}} \sin\dfrac{\alpha}{2}. \end{cases} \quad (3.23)$$

Через некоторый момент времени t маятниковая стрела сместится на угол $\omega_{\text{м}} t$, а диск пилы при этом повернется на угол $\omega_{\text{п}} t$, в результате чего точка M переместится в точку M'. Определим текущие координаты данной точки:

$$\begin{cases} x_{M'} = l_{\text{м}} \cos\left(\dfrac{\alpha}{2} - \omega_{\text{м}} t\right) + R_{\text{п}} \cos\left(\dfrac{\alpha}{2} - \omega_{\text{м}} t + \omega_{\text{п}} t\right), \\ y_{M'} = l_{\text{м}} \sin\left(\dfrac{\alpha}{2} - \omega_{\text{м}} t\right) + R_{\text{п}} \sin\left(\dfrac{\alpha}{2} - \omega_{\text{м}} t + \omega_{\text{п}} t\right). \end{cases} \quad (3.24)$$

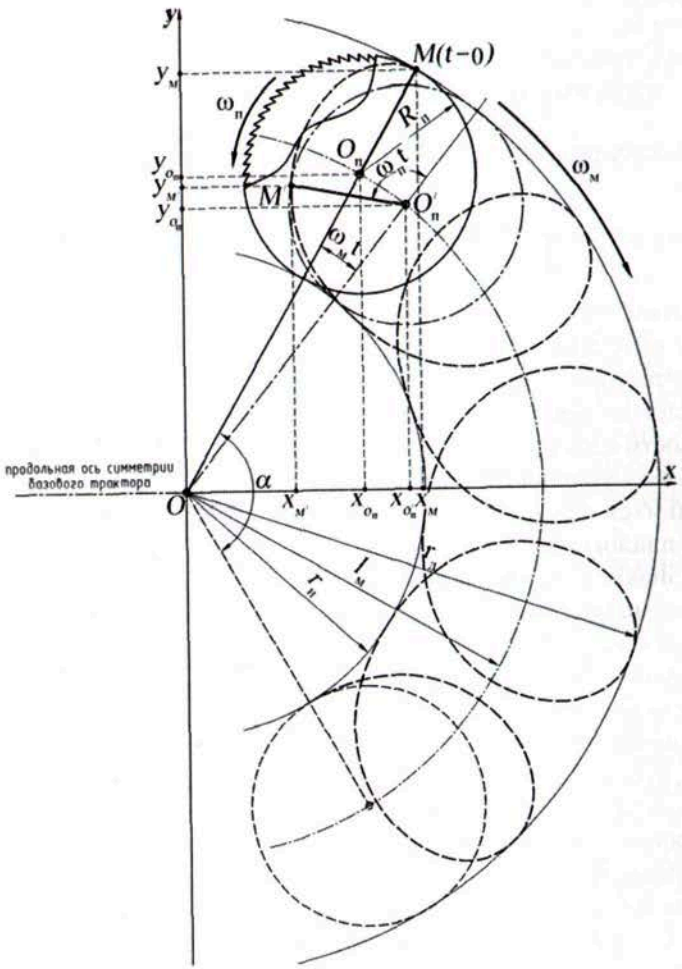


Рис. 3.31. Схема для вывода уравнений, описывающих траекторию движения зуба пилы маятникового кусторeза

Подставим в полученную систему уравнений (3.24) выражение (3.12) и преобразуем ее:

$$\begin{cases} x_{M'} = l_{\text{м}} \cos\left(\dfrac{\alpha}{2} - \dfrac{u_z z}{2\pi\left(R_{\text{п}} + l_{\text{м}}\right)}\omega_{\text{п}} t\right) + \\ + R_{\text{п}} \cos\left(\dfrac{\alpha}{2} + \omega_{\text{п}} t - \dfrac{u_z z}{2\pi\left(R_{\text{п}} + l_{\text{м}}\right)}\omega_{\text{п}} t\right), \\ y_{M'} = l_{\text{м}} \sin\left(\dfrac{\alpha}{2} - \dfrac{u_z z}{2\pi\left(R_{\text{п}} + l_{\text{м}}\right)}\omega_{\text{п}} t\right) + \\ + R_{\text{п}} \sin\left(\dfrac{\alpha}{2} + \omega_{\text{п}} t - \dfrac{u_z z}{2\pi\left(R_{\text{п}} + l_{\text{м}}\right)}\omega_{\text{п}} t\right). \end{cases} \quad (3.25)$$

Таким образом, система уравнений (3.25) полностью совпадает с выведенной ранее системой уравнений (3.22), описывающей траекторию движения зуба пилы, а система уравнений (3.23) вытекает из нее, являясь частным случаем, что говорит о правильности сделанных ранее предположений.

Вывод уравнений движения точки режущего элемента для оставшихся случаев, представленных на рис. 3.29, производится аналогично, в полученных уравнениях будут изменяться лишь знаки, а составляющие останутся прежними.

Рассмотрев угловой способ подачи дисковой пилы, можно сделать следующее заключение. В большинстве конструкций кусторезов для привода маятниковой стрелы используют гидроцилиндр или систему рычагов, приводимую в действие гидроприводом, которые не могут обеспечить движение маятниковой стрелы с постоянной угловой скоростью и давать тем самым необходимую угловую подачу на зуб. Кроме того, даже если решить технически эту задачу и добиться передвижения маятниковой стрелы с постоянной угловой скоростью, то подача на зуб будет зависеть от того, насколько удалена зона резания от оси вращения маятниковой стрелы. Следовательно, использовать маятниковые кусторезы наиболее целесообразно при срезке стволов кустарника небольшого диаметра, так как возникающий при этом перерасход энергии будет незначи-

тельным, а производительность кустореза будет оставаться на достаточно высоком уровне.

Таким образом, для работы на каналах эффективно использовать кусторезы с комбинированным способом подачи дисковой пилы. Комбинированный способ подачи придает кусторезу универсальность, так как за счет маятникового движения обеспечивается высокопроизводительная срезка мелкой и средней кустарниковой поросли, а прямолинейная подача позволяет срезать крупные стволы без возникновения значительных нагрузок.

3.1.3.3. Геометрия зубьев пил и срезаемой стружки при поперечной распиловке

При работе кусторезов на каналах характерно поперечное и смешанное пиление (см. рис. 1.28), для чего используют косую заточку зубьев пил. Параметры косой заточки и геометрии резцов у главной кромки зуба являются основополагающими при выборе оптимальных условий резания [67]. Как уже отмечалось при классификации процессов пиления, в зависимости от ориентации поверхности пропила различают поперечную, продольную и смешанную распиловки. Продольное резание ничего общего не имеет с продольной распиловкой, а поперечное резание – с поперечной распиловкой.

С учетом поперечного и смешанного пиления рассмотрим геометрию зубьев пил с косой заточкой.

При продольной распиловке происходит сложное отделение стружки, причем передняя кромка производит торцевой рез, а боковые – поперечный [67]. При поперечной распиловке наблюдается сложное резание, при котором передняя грань производит поперечное сдвигание слоев, перерезанных в торец боковыми кромками. В соответствии с этим различают зубья пил для продольной и поперечной распиловки. У пил продольной распиловки контурные углы резания являются действительными углами резания, в отличие от пил для поперечного пиления. Для последних характерна косая заточка, где главная кромка не перпендикулярна вектору скорости.

Если для поперечной распиловки использовать зубья пил с прямой заточкой, то будет происходить отрыв неперерезанных волокон (или отжим неотделенной древесины) передней гранью

зуба. При этом значительно возрастают энергозатраты на отрыв за счет сопротивления со стороны всех неперерезанных волокон. В результате древесина сминается и происходит не срезание, а вырывание волокон у стенок пропила. То есть использование на кусторезах пил для продольной распиловки приводит к неоправданно большим затратам энергии. Кроме того, для таких пил очень выражен эффект самозатягивания в пропил. Рассмотрим его с теоретической точки зрения [246].

Эффект самозатягивания достигает своего максимума, когда равнодействующая от сил, действующих со стороны отделяемого материала на переднюю грань зуба, лежит на оси симметрии пильного диска и направлена в противоположную сторону от центра пилы (рис. 3.32). А это в свою очередь возможно только когда угол при вершине зуба (или угол заострения), расположенный между передней и задней гранью, равен:

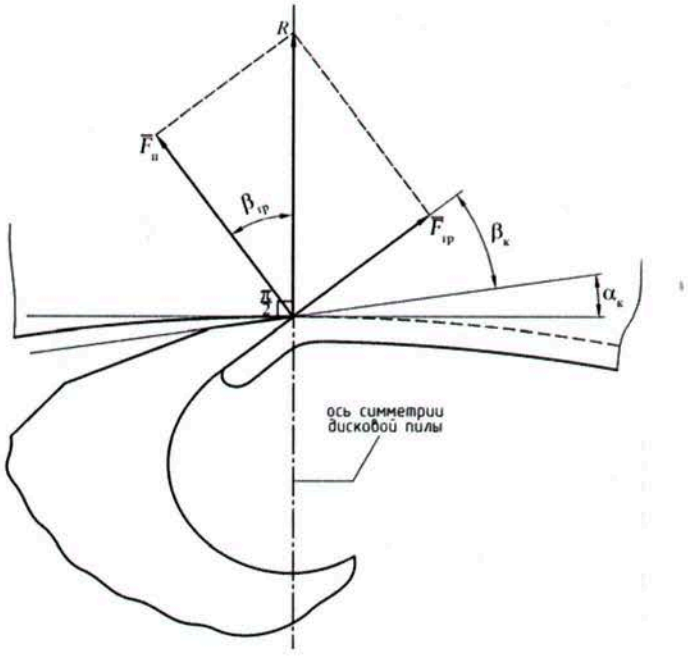


Рис. 3.32. Схема для определения угла заострения при максимальном эффекте самозатягивания

$$в_к = 90^\circ - (б_к + (90^\circ - в_{тр})), \quad (3.26)$$

где $б_к$ – задний угол, заключенный между задней гранью и касательной, проведенной к дну пропила в точке контакта древесины с вершиной зуба, град.; $в_{тр}$ – угол трения, град.

Задний угол $б_к$ должен обеспечивать минимальное трение задней поверхности зуба об дно пропила. Согласно экспериментальным исследованиям Ю. В. Гуляева [99], задний угол следует выбирать исходя из условия $б_к \geq 8^\circ$.

Далее, используя схему, представленную на рис. 3.32, определим величину угла трения:

$$\operatorname{tg}(в_{тр}) = \frac{F_{тр}}{F_п}, \quad (3.27)$$

где $F_{тр}$ – сила трения отделяемого слоя древесины о переднюю грань зуба, Н; $F_п$ – нормальная реакция, действующая со стороны отделяемого слоя древесины на переднюю грань зуба, Н.

Силу трения определяют по формуле:

$$F_{тр} = f_{тр} F_п, \quad (3.28)$$

где $f_{тр}$ – коэффициент трения древесины по стали, $f_{тр} = 0{,}3...0{,}6$.

Подставив формулу (3.28) в выражение (3.27), получим:

$$\operatorname{tg}(в_{тр}) = \frac{f_{тр} F_п}{F_п} = f_{тр}, \quad (3.29)$$

откуда:

$$в_{тр} = \operatorname{arctg}(f_{тр}). \quad (3.30)$$

С учетом равенства (3.30) формула (3.26) примет вид:

$$в_к = 90^\circ - \{б_к - [90^\circ - \operatorname{arctg}(f_{тр})]\}, \quad (3.31)$$

Для поперечной и смешанной распиловки используют такую форму зуба, чтобы он перерезал слои древесины с боков, а затем отводил их от поверхности раздела. Пилы для поперечной распиловки имеют зубчатый венец (см. рис. 1.29). При работе пилы боковая кромка *1–3* производит резание в торец, формируя стенку пропила и производя основную работу. Короткая режущая кромка *1–4* производит поперечно-торцевое резание, формируя дно пропила. Каждая режущая кромка имеет свои угловые величины, характеризующие условия резания.

Боковые кромки с углом боковой заточки $\delta_1 > 90°$ работают как лезвие ножа. По мере пиления зубья все глубже и глубже входят в древесину. Скошенная передняя поверхность зуба давит с силой $P_к$ (рис. 3.33) на среднюю часть древесины, скалывая ее то вправо, то влево вдоль волокон по мере углубления боковых резцов в древесину и создает хрупкую стружку, рассыпающуюся в опилки [67]. Так как часть дна пропила меньше его ширины, то стружка и опилки не сжимаются боковыми стенками пропила, как при продольном пилении.

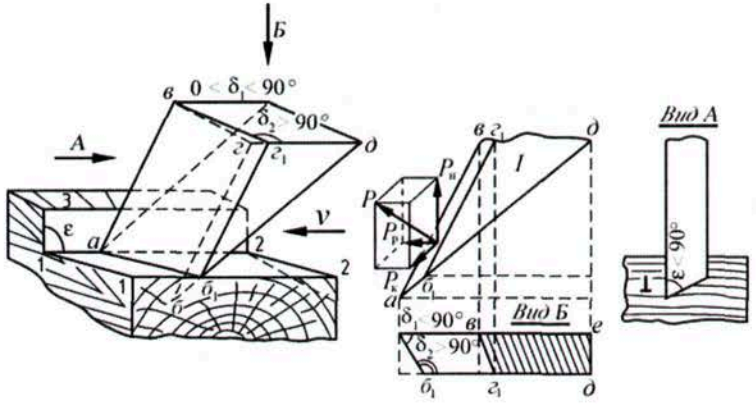


Рис. 3.33. Взаимодействие зуба пилы для поперечной распиловки с древесиной

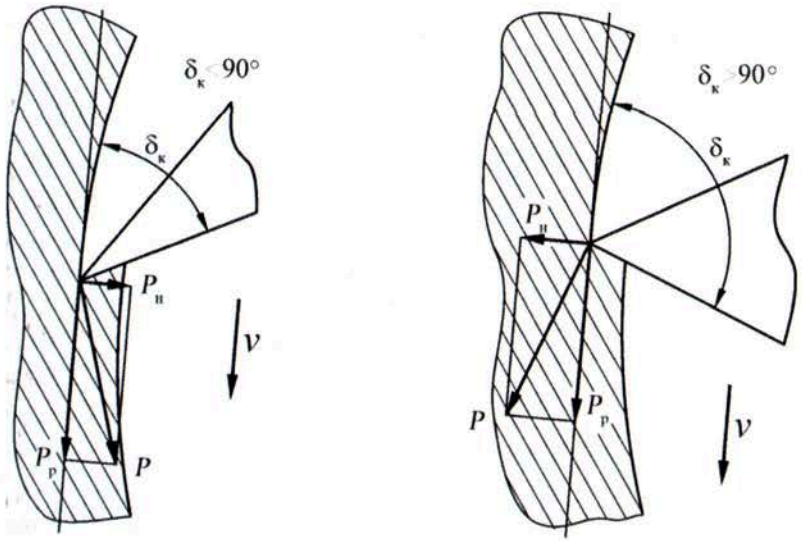
Для сдвига внутренней части пропила вдоль волокон необходимо, чтобы зуб с косой заточкой значительно внедрился в древесину и образовалось соответствующее боковое давление $P_к$ со стороны передней поверхности резца [67]. Опытами установлено [240], что $P_к$ достигает значения, достаточного для сдвига древесины от дна пропила, лишь при углублении резца до 0,8 мм. Некоторого снижения мощности, затрачиваемой на пиление, можно добиться, *используя пилы со скалывающими зубьями*.

Для уменьшения трения и предотвращения зажимов полотна пилы в пропиле зубьям пил придается развод. При этом трение боковой грани зуба о стенку пропила сводится к минимуму.

Проанализируем влияние угловых параметров зуба при поперечной распиловке на процесс пиления.

Профиль пилы, показанный на рис. 1.40, *б*, применяемый в пилах (ГОСТ 980–80), предусматривает возможность работы пилы в обе стороны. Контурный угол резания $\delta_к > 90°$. В этом случае передняя грань зуба *1–3–6–4* (см. рис. 1.30), режущая кромка и короткая режущая кромка прижимают волокна к нижележащему слою древесины (рис. 3.34, *б*). Волокна при этом не отрываются, и пропил получается чистым. Однако такая форма зуба приводит к увеличению усилия резания.

Если же использовать пилы с $\delta_к > 90°$ (рис. 3.34, *а*), короткая режущая кромка и передняя грань зуба наряду с резанием отрывают волокна от нижележащего слоя древесины, в результате чего снижается усилие резания древесины, но получается мшистый пропил [283]. Пиление в этом случае можно производить только в одну сторону. Поэтому угол $\delta_к$ желательно задавать как можно меньшим. При конструировании зубьев пил необходимо учитывать, что при положительном угле γ возможно самозатягивание пилы в пропил [265]. При работе кустореза это будет способствовать подаче древесины срезаемой растительности.



а *б*

Рис. 3.34. Профиль зуба с различным контурным углом резания:
а – при $\delta_к < 90°$; *б* – при $\delta_к > 90°$

В деревообрабатывающих станках, где необходимым условием является чистота поверхности, используют зубья с симметричным профилем. Однако в нашем случае наибольшую важность имеет снижение энергозатрат, поэтому необходимо использовать зубья с $\delta_к > 90°$. В этом случае улучшается удаление опилок со дна пропила, так как передняя грань зуба не прижимает их ко дну, а наоборот отводит.

Контурный угол заострения зуба $\beta_к$ принимают, исходя из условия прочности зубьев, равным 50…60°.

На процесс поперечной распиловки большое влияние оказывает угол наклона передней грани φ_1. По ГОСТ 980–80 он составляет для мягкой древесины 45°, для твердой – 55°. Уменьшение данного угла характеризуется снижением усилия резания [67].

Для дисковых пил при срезании древесно-кустарниковой растительности наиболее оптимальным является выбор следующих угловых параметров: контурный угол резания $\delta_к$ = 75…80°, контурный угол заострения $\beta_к$ = 50…55°, угол наклона передней грани φ_1 = 50…60°.

Данные угловые параметры отличаются от угловых параметров пил, рекомендуемых ГОСТ 980–80 [96], так как условия пиления при работе с кусторезом отличаются от станочных.

3.1.3.4. Динамика дискового рабочего органа кусторeза

При работе кустореза на рабочий орган действуют реактивные силы сопротивления резанию и силы, тормозящие рабочий орган от вертикальной нагрузки спиливаемых и спиленных стволов.

Рассмотрим по отдельности все силы, действующие на рабочий орган кустореза при срезании древесно-кустарниковой растительности.

Сила сопротивления резанию древесины

В процессе пиления со стороны зубьев на древесину действуют силы резания, а со стороны древесины на зубья – реактивные силы сопротивления резанию. При пилении круглыми пилами различают силу резания, приходящуюся на один зуб, и окружную силу резания, равную векторной сумме сил резания для отдельных одновременно режущих зубьев [265].

Так как сила резания P – равнодействующая сила, то ее можно разложить на 3 составляющие (см. рис. 3.33): $P_р$ – касательную (тангенциальную), $P_н$ – нормальную (радиальную) и $P_к$ – боковую (осевую).

Сила $P_н$ перпендикулярна касательной и может быть положительной (сила отжима) или отрицательной (сила затяги-

вания). Боковая сила $P_к$ обусловлена неоднородной плотностью годичных слоев древесины, разводом зубьев, их косой заточкой и т. д. [265].

Наибольшая из этих трех составляющих сил – касательная сила $P_р$, совпадающая по направлению с движением резания. Учитывая, что равнодействующая сила ненамного различается с касательной, иногда условно касательную силу $P_р$ называют силой резания.

Существует несколько методов определения касательной силы резания $P_р$ [152]. Наиболее часто используют объемную формулу:

$$P_р = Kbc_{ст}, \qquad (3.32)$$

где K – удельное сопротивление резанию при пилении, Н/мм^2; b – ширина пропила, мм; $c_{ст}$ – толщина срезаемого слоя стружки, мм, определяемая по формуле:

$$c_{ст} = u_z \sin\theta_{ср}. \qquad (3.33)$$

Условия резания и стружкообразования при пилении учитываются значением K. Для расчетов режимов пиления поперечной распиловки обычно применяют формулу [84, 94, 283]:

$$K = K'a_п a_w a_ρ a_т, \qquad (3.34)$$

где K' – удельное сопротивление резанию при пилении воздушно-сухой древесины сосны острой пилой, зависящее от способа распиловки, ширины пропила, подачи на зуб, Н/мм^2; $a_п$, a_w, $a_ρ$, $a_т$ – коэффициенты, учитывающие соответственно породу, влажность, степень затупления зубьев и температуру.

Значения данных коэффициентов и K' приведены в справочной литературе по деревообработке [39, 84, 283].

С учетом формулы (3.34) выражение (3.32) примет вид:

$$P_р = K'a_п a_w a_ρ a_т b u_z \sin\theta_{ср}. \qquad (3.35)$$

Анализируя данную формулу, можно заметить, что она не учитывает угловые параметры зубьев. Поэтому, если использовать пилы с различными углами боковой заточки и углами резания, то в формулу (3.35) необходимо добавить коэффициент, учитывающий данные углы – $a_{δ,φ}$.

Для расчета средней касательной силы резания $P_р$ на дуге контакта зуба с древесиной в разработанных ЦНИИМОД и УЛТИ руководящих технических материалах [221] для поперечного пиления рекомендована формула:

$$P_р = 24\pi a_п a_w a_{δ,φ} a_ρ u_z^{0.85} b^{0.5} \sin\theta_{ср}. \qquad (3.36)$$

Применительно для рабочего органа кустореза необходимо в формулу (3.36) вводить коэффициент $a_т$:

$$P_р = 24\pi a_п a_w a_{δ,φ} a_ρ a_т u_z^{0.85} b^{0.5} \sin\theta_{ср}. \qquad (3.37)$$

Тогда с учетом формулы (3.32) удельное сопротивление резанию K, Н/мм^2 можно рассчитать по формуле:

$$K = \frac{24\pi a_п a_w a_{δ,φ} a_ρ a_т u_z^{0.85} b^{0.5} \sin\theta_{ср}}{bc_{ст}}. \qquad (3.38)$$

При поперечной распиловке, по опытным данным [84], скорость резания, высота пропила и угол встречи между векторами u и v не влияют на удельное сопротивление резанию K. Это объясняется тем, что снимаемая стружка меньше ширины пропила и боковая кромка находится в условиях нормального резания [68].

В процессе пиления происходит взаимодействие с древесиной всех зубьев пилы, находящихся в пропиле. Средняя окружная касательная сила на дуге контакта зуба с древесиной $P_{\text{р.ср}}$, Н,:

$$P_{\text{р.ср}} = nP_{\text{р}}, \qquad (3.39)$$

где n – число зубьев в пропиле, шт.

Число зубьев, одновременно находящихся в пропиле при работе кустореза – величина переменная. Она определяется по формуле:

$$n = l_{\text{к}} / t_{\text{з}}, \qquad (3.40)$$

где $l_{\text{к}}$ – длина дуги контакта зуба с древесиной, м; $t_{\text{з}}$ – окружной шаг зубьев, м.

Результаты теоретических расчетов для удельного сопротивления резанию K, определенные нами по формуле (3.38), представлены на рис. 3.35.

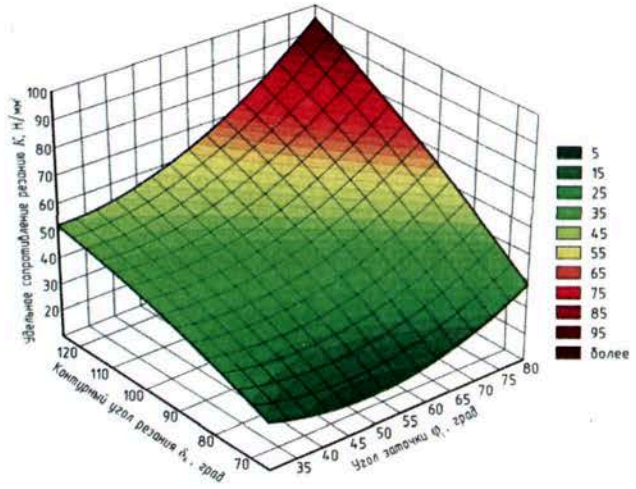


Рис. 3.35. Поверхность отклика, характеризующая показатель удельного сопротивления резанию при пилении твердой древесины в зависимости от угловых параметров зубьев, определенная теоретически (при $b = 6$ мм, $\theta_{\text{ср}} = 0$, $W = 50$–60 %)

Более точные данные при определении удельного сопротивления резанию можно получить только опытным путем [82, 308].

Нормальная сила резания $P_{\text{н}}$ направлена перпендикулярно касательной силе резания $P_{\text{р}}$ и определяется, согласно теоретическим расчетам [123], по формуле:

$$P_{\text{н}} = a_{\text{о}} P_{\text{р}}, \qquad (3.41)$$

где a_o – коэффициент, зависящий от величины угла $\delta_{\text{к}}$ (см. рис. 1.40) и от степени затупления зубьев пилы.

При $\delta_{\text{к}} = 115°$, $\quad a_o \cong 0{,}2a_{\text{р}}^2 \qquad (3.42)$

При $\delta_{\text{к}} < 115°$, a_o уменьшается, а при $\delta_{\text{к}} < 90°$ он может оказаться отрицательным.

Нормальную силу резания на зубе при поперечном пилении определяют через касательную составляющую $P_{\text{р}}$.

Для тупых зубьев $P_{\text{н}} \approx P_{\text{р}}$ [93, 123, 283].

Для острых зубьев, по рекомендациям А.Л. Бершадского [68]:

$$\left.\begin{aligned} P_{\text{н}} &= 0{,}5P_{\text{р}} \quad \text{при} \quad 110° \le \delta_{\text{к}} \le 125°, \\ P_{\text{н}} &= 0{,}4P_{\text{р}} \quad \text{при} \quad 90° \le \delta_{\text{к}} \le 110°, \\ P_{\text{н}} &= 0{,}36P_{\text{р}} \quad \text{при} \quad 80° \le \delta_{\text{к}} \le 90°, \end{aligned}\right\} \text{при} \quad \beta_1 = 45°. \qquad (3.43)$$

По аналогии с формулой (3.24), средняя окружная нормальная сила на дуге контакта зуба с древесиной $P_{\text{н.ср}}$ определяется:

$$P_{\text{н.ср}} = n P_{\text{н}} = \frac{l_{\text{к}} P_{\text{н}}}{t_{\text{з}}}. \qquad (3.44)$$

Через значения $P_{\text{р.ср}}$ и $P_{\text{н.ср}}$ рассчитывают силы сопротивления отдельных стволов подаче рабочего органа кустореза.

Элементы теории резания для кусторезов с прямолинейной подачей диска пилы

В процессе пиления происходит взаимодействие с древесиной всех зубьев пилы, находящихся в пропиле, при этом среднюю окружную касательную силу резания $P_{\text{р.ср}}$ на дуге контакта зубьев со стволом определяют с учетом зависимостей (3.37), (3.39) и (3.40) по формуле:

$$P_{\text{р.ср}} = 24\pi a_{\text{п}} a_{w} a_{\delta,\varphi} a_{\rho} a_{\tau} u_z^{\,0,85} b^{0,5} \sin\theta_{\text{ср}} \frac{l_{\text{к}}}{t_{\text{з}}}. \qquad (3.45)$$

Длина дуги контакта диска пилы со стволом $l_{\text{к}}$, входящая в формулу (3.51), является динамически изменяющейся во времени величиной, которая в процессе резания увеличивается от нуля до максимума, а затем снова убывает до нуля. Таким образом, длина дуги контакта является функцией, зависящей от времени $l_{\text{к}} = f(t)$, следовательно, выявив данную зависимость, можно установить, как изменяется средняя окружная касательная сила резания в процессе пиления, а это в свою очередь позволит определить энергию, затрачиваемую на резание ствола [265].

Для определения функции $l_{\text{к}} = f(t)$ вначале установим, чему равна длина дуги контакта в определенный момент времени. Для этого рассмотрим схему, представленную на рис. 3.36. Согласно схеме, длина дуги контакта зависит от трех параметров – радиусов пилы и ствола, а также расстояния между их центрами, то есть $l_{\text{к}} = f(R_{\text{п}}, r_{\text{с}}, S_C)$. Введем в данную схему декартову систему координат, при этом примем за начало системы координат центр пилы, а положительное направление оси абсцисс как совпадающее с направлением подачи дисковой пилы. Таким образом, в данной системе координат центр ствола будет расположен в точке C, имеющей координаты x_C и y_C ($C(x_C; y_C)$).

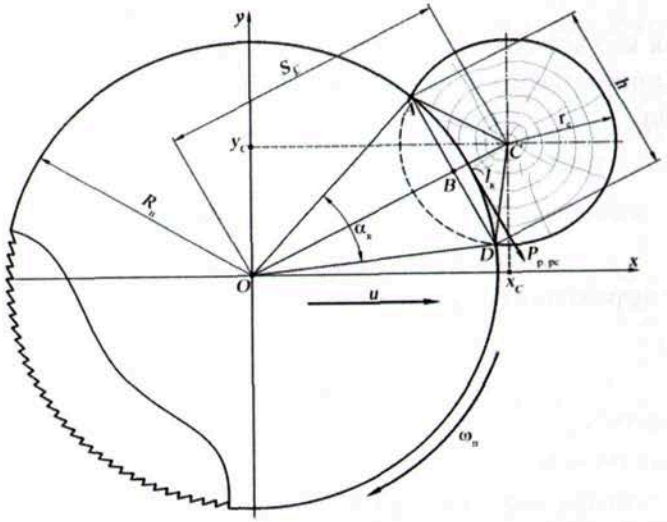


Рис. 3.36. Схема к определению длины дуги контакта дисковой пилы со стволом

Далее соединим прямыми линиями центр пилы с крайними точками пропила и получим угол $\alpha_{\text{к}}$, зная градусную меру которого можно определить длину дуги контакта диска пилы со стволом:

$$l_{\text{к}} = \frac{\pi R_{\text{п}}}{180} \alpha_{\text{к}}, \qquad (3.46)$$

где $R_{\text{п}}$ – радиус дисковой пилы, м; $\alpha_{\text{к}}$ – угол контакта пилы со стволом, заключенный между прямыми линиями, соединяющими центр пилы с крайними точками пропила, град.

Для того чтобы определить значение угла $\alpha_{\text{к}}$, соединим прямыми линиями крайние точки пропила с центром ствола и получим треугольник ΔOAC. Затем, используя схему, представленную на рис. 3.37, определим, чему равны стороны данного треугольника $R_{\text{п}} = OA$, $r_{\text{с}} = AC$, $S_C = OC$, здесь $r_{\text{с}}$ – радиус ствола, м.

Так как все стороны треугольника ΔOAC известны, то на основании теоремы косинусов можно записать следующее равенство:

$$r_{\text{с}}^{\,2} = R_{\text{п}}^{\,2} + S_C^{\,2} - 2R_{\text{п}}S_C\cos\frac{\alpha_{\text{к}}}{2}. \qquad (3.47)$$

Из выражения (3.47) определим угол $\alpha_{\text{к}}$:

$$\alpha_{\text{к}} = 2\arccos\left(\frac{R_{\text{п}}^{\,2} + S_C^{\,2} - r_{\text{с}}^{\,2}}{2R_{\text{п}}S_C}\right). \qquad (3.48)$$

Подставим выражение (3.48) в формулу (3.46) и преобразуем ее:

$$l_{\text{к}} = \frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\arccos\left(\frac{R_{\text{п}}^{\,2} + S_C^{\,2} - r_{\text{с}}^{\,2}}{2R_{\text{п}}S_C}\right). \qquad (3.49)$$

Тогда, с учетом выражений (3.45) и (3.49), среднюю окружную касательную силу резания можно определить по формуле:

$$P_{\text{р.ср}} = 24\pi a_{\text{п}}a_w a_{\delta,\varphi}a_{\rho}a_{\tau}u_z^{\,0,85}b^{0,5}\times$$
$$\times\sin\theta_{\text{ср}}\left(\left(\frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\arccos\left(\frac{R_{\text{п}}^{\,2} + S_C^{\,2} - r_{\text{с}}^{\,2}}{2R_{\text{п}}S_C}\right)\right)\Big/t_{\text{з}}\right). \qquad (3.50)$$

Анализ составляющих формулы (3.49) показывает, что единственным параметром, изменяющимся в процессе прямолинейной подачи дисковой пилы, является расстояние между центрами пилы и ствола, так как радиусы пилы и ствола являются постоянными величинами ($R_{\text{п}} = \text{const}$, $r_{\text{с}} = \text{const}$). Следовательно, определив функцию, описывающую изменение расстояния между центрами пилы и ствола во времени

$S_C = f(t)$, можно установить, как изменяется длина дуги контакта в процессе резания.

Если допустить, что в процессе резания центр ствола будет перемещаться относительно центра пилы, то через некоторый промежуток времени Δt расстояние между ними составит $S_C - \Delta S_C = \sqrt{(x_C - \Delta x)^2 + y_C^{\,2}}$. При этом, учитывая, что $\Delta x/\Delta t = u$, функция $S_C = f(t)$ будет иметь вид:

$$S_C(t) = \sqrt{(x_C - tu)^2 + y_C^{\,2}}. \qquad (3.51)$$

где x_C – координата центра ствола по оси x, м; y_C – координата центра ствола по оси y, м; t – время, с; u – скорость подачи дисковой пилы, м/с.

Подставив выражение (3.51) в формулу (3.49), получим уравнение, описывающее изменение длины дуги контакта дисковой пилы со стволом во времени:

$$l_{\text{к}}(t) = \frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\arccos\left(\frac{R_{\text{п}}^{\,2} - r_{\text{с}}^{\,2} + y_C^{\,2} + x_C^{\,2} - 2x_C tu + t^2u^2}{2R_{\text{п}}\sqrt{y_C^{\,2} + x_C^{\,2} - 2x_C tu + t^2u^2}}\right). \qquad (3.52)$$

Графическое отображение полученной зависимости (3.52) представлено на рис. 3.37.

При одновременной срезке сразу нескольких стволов суммарную длину дуги контакта в любой момент времени можно определить по формуле:

$$l_{\text{к}}^{\text{сум}}(t) = \frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\sum_{i=1}^{n}\arccos\left(\frac{R_{\text{п}}^{\,2} - r_{\text{с}_i}^{\,2} + y_{C_i}^{\,2} + x_{C_i}^{\,2} - 2x_{C_i}tu + t^2u^2}{2R_{\text{п}}\sqrt{y_{C_i}^{\,2} + x_{C_i}^{\,2} - 2x_{C_i}tu + t^2u^2}}\right). \qquad (3.53)$$

где n – число одновременно срезаемых стволов, шт.; $r_{\text{с}_i}$ – радиус i-го ствола, м; x_{C_i} – координата центра i-го ствола по оси x, м; y_{C_i} – координата центра i-го ствола по оси y, м.

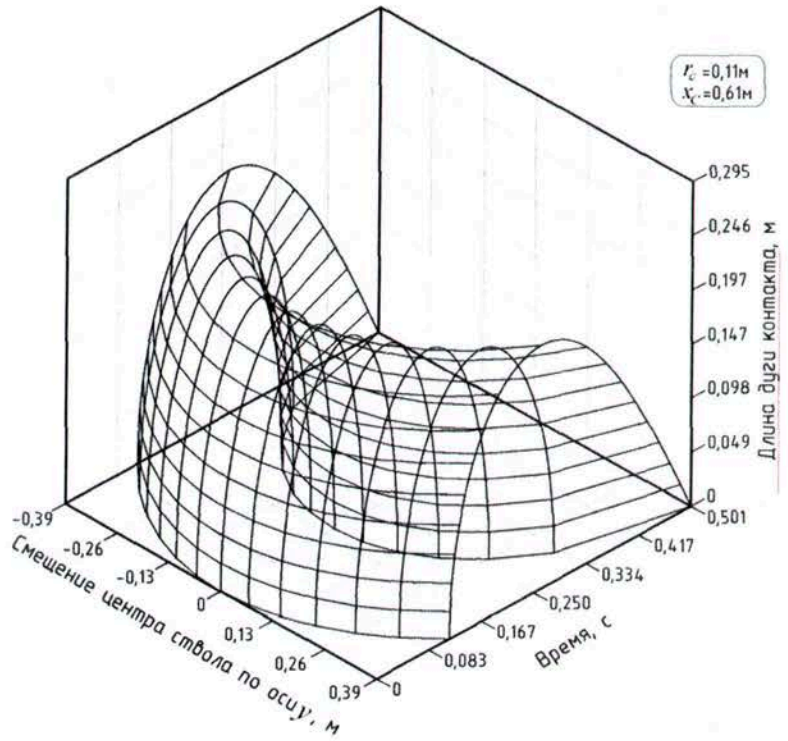


Рис. 3.37. Изменение длины дуги контакта дисковой пилы со стволом в процессе резания

Согласно формулам (3.36) и (3.50), касательная сила резания $P_{\text{р}}$ и средняя окружная касательная сила резания $P_{\text{р.ср}}$ в большей степени зависят от угла $\theta_{\text{ср}}$, величина которого также изменяется в процессе резания. Таким образом, чтобы установить, как изменяются при пилении ствола силы $P_{\text{р}}$ и $P_{\text{р.ср}}$, необходимо выявить функцию, описывающую изменение среднего кинематического угла встречи во времени $\theta_{\text{ср}} = f(t)$.

Для нахождения данной функции воспользуемся схемой, представленной на рис. 3.38. Предположим, что в какой-то момент

времени нам становится известно расстояние между центрами пилы и ствола, а также место расположения центра ствола относительно центра пилы (то есть, известны координаты точки C). Тогда средний кинематический угол встречи $\theta_{\text{ср}} = \angle OCA$, следовательно $\cos\theta_{\text{ср}} = \dfrac{CA}{OC} = \dfrac{y_C}{S_C} = \dfrac{y_C}{\sqrt{x_C{}^2 + y_C{}^2}}$, откуда:

$$\theta_{\text{ср}} = \arccos\left(\frac{y_C}{S_C}\right) = \arccos\left(\frac{y_C}{\sqrt{x_C{}^2 + y_C{}^2}}\right). \qquad (3.54)$$

Затем определим, как изменяется средний кинематический угол встречи во времени, подставив выражение (3.51) в формулу (3.54):

$$\theta_{\text{ср}}(t) = \arccos\left(\frac{y_C}{S_C(t)}\right) = \arccos\left(\frac{y_C}{\sqrt{(x_C - tu)^2 + y_C{}^2}}\right). \qquad (3.55)$$

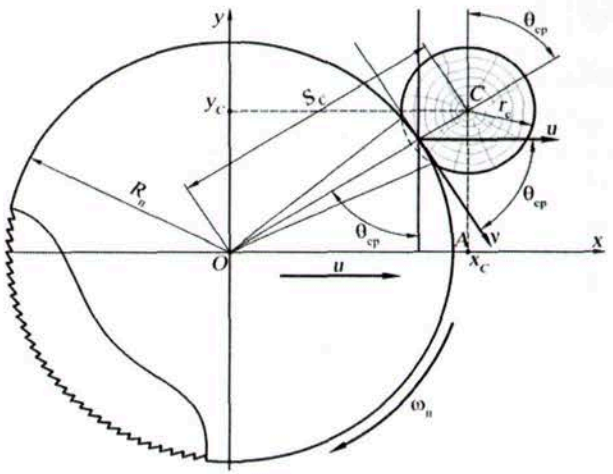


Рис. 3.38. Схема к определению среднего кинематического угла встречи

Построенные по функции (3.55) графики (рис. 3.39) свидетельствуют о том, что чем больше мы отклоняемся от лобового резания, тем меньшие значения принимает средний кинематический угол встречи.

Подставив формулу (3.55) в выражение (3.37), получим зависимость, позволяющую определить касательную силу резания в любой момент срезки ствола:

$$P_{\text{р}}(t) = 24\pi a_{\text{п}} a_w a_{\delta,\varphi} a_{\rho} a_{\text{т}} u_z{}^{0,85} b^{0,5} \times \sin\left(\arccos\left(\frac{y_C}{\sqrt{(x_C - tu)^2 + y_C{}^2}}\right)\right). \quad (3.56)$$

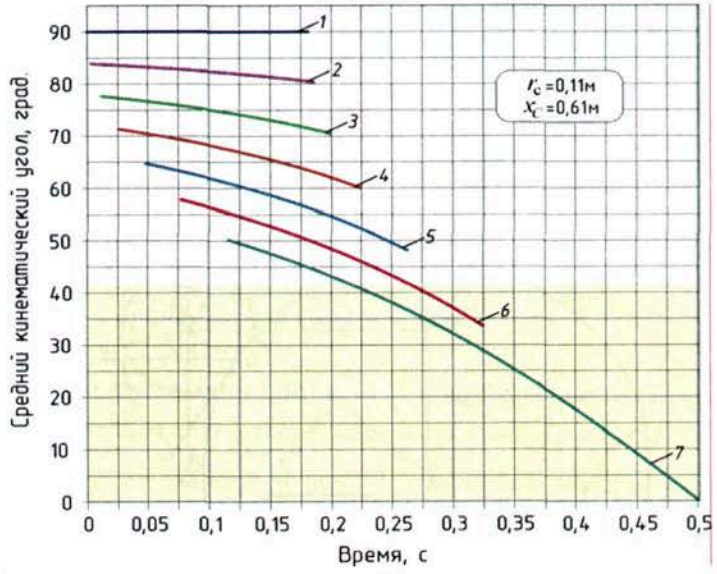


Рис. 3.39. Изменение среднего кинематического угла встречи во времени в зависимости от смещения центра ствола по оси y:
1 – при $y_C = 0$; *2* – при $y_C = 0{,}065$ м; *3* – при $y_C = 0{,}13$ м;
4 – при $y_C = 0{,}195$ м; *5* – при $y_C = 0{,}26$ м;
6 – при $y_C = 0{,}325$ м; *7* – при $y_C = 0{,}39$ м

Далее определим, как изменяется средняя окружная касательная сила резания во времени в случае срезки единичного ствола:

$$P_{\text{р.ср}}(t) = \frac{l_{\text{к}}(t)}{t_{\text{з}}} P_{\text{р}}(t). \quad (3.57)$$

Подставив формулы (3.52) и (3.56) в выражение (3.57), получим:

$$P_{\text{р.ср}}(t) = 24\pi a_{\text{п}} a_w a_{\delta,\varphi} a_{\rho} a_{\text{т}} u_z{}^{0,85} b^{0,5} \times \sin\left(\arccos\left(\frac{y_C}{\sqrt{(x_C - tu)^2 + y_C{}^2}}\right)\right) \times \left(\left(\frac{\pi R_{\text{п}}}{90} \arccos\left(\frac{R_{\text{п}}{}^2 - r_{\text{с}}{}^2 + y_C{}^2 + x_C{}^2 - 2x_C tu + t^2u^2}{2R_{\text{п}}\sqrt{y_C{}^2 + x_C{}^2 - 2x_C tu + t^2u^2}}\right)\right) \Big/ t_{\text{з}}\right). \quad (3.58)$$

Анализируя графики на рис. 3.40, построенные по формуле (3.58), можно сделать следующие выводы:

- во-первых, при лобовом резании будут наблюдаться максимальные перегрузки, и при срезании крупных стволов возможен чрезмерный перегрев пильного диска, однако сам процесс срезания займет достаточно короткий промежуток времени;
- во-вторых, чем больше мы отклоняемся от лобового резания в ту или иную сторону, тем меньшими становятся усилия резания, а сам процесс срезания ствола становится более длительным (так как уменьшается толщина срезаемой стружки).

При одновременной срезке сразу нескольких стволов суммарную среднюю окружную касательную силу резания в любой момент времени можно определить по формуле:

$$P_{\text{р.ср}}^{\text{сум}}(t)=\sum_{i=1}^{n}24\pi a_{\text{п}}a_{w}a_{\delta,\varphi}a_{\rho}a_{\text{т}}u_{z}^{\;0,85}b^{0,5}\times$$

$$\times\sin\left(\arccos\left(\frac{y_{C_i}}{\sqrt{\left(x_{C_i}-tu\right)^2+y_{C_i}^{\;2}}}\right)\right)\times$$

$$\times\left(\left(\frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\arccos\left(\frac{R_{\text{п}}^{\;2}-r_{c_i}^{\;2}+y_{C_i}^{\;2}+x_{C_i}^{\;2}-2x_{C_i}tu+t^2u^2}{2R_{\text{п}}\sqrt{y_{C_i}^{\;2}+x_{C_i}^{\;2}-2x_{C_i}tu+t^2u^2}}\right)\right)\Big/t_{\text{з}}\right). \quad (3.59)$$

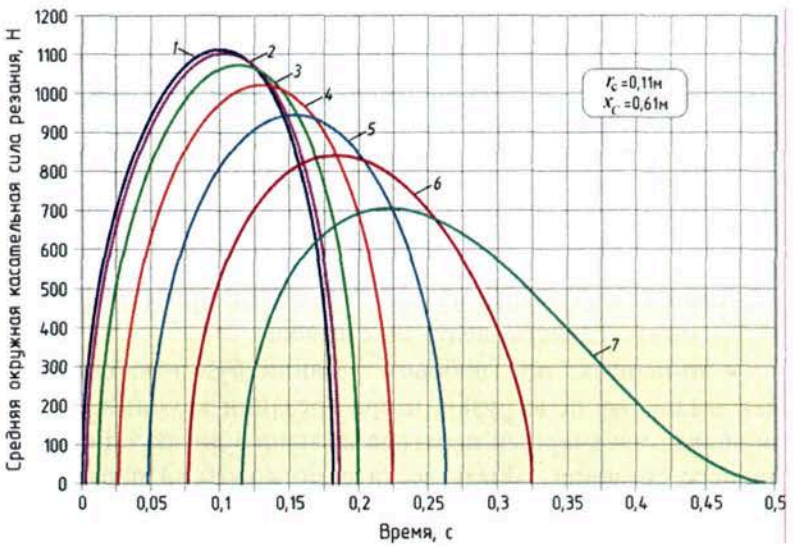


Рис. 3.40. Изменение средней окружной касательной силы резания во времени в зависимости от смещения центра ствола по оси y:
1 – при $y_C = 0$; *2* – при $y_C = 0{,}065$ м; *3* – при $y_C = 0{,}13$ м;
4 – при $y_C = 0{,}195$ м; *5* – при $y_C = 0{,}26$ м; *6* – при $y_C = 0{,}325$ м;
7 – при $y_C = 0{,}39$ м

Так как процесс срезки ствола ограничен во времени, выражения (3.52), (3.55), (3.56) и (3.58) имеют смысл для времени t, взятого из интервала от $t_{\text{к}}$ до t_B, то есть для $t\in(t_K;t_B)$,

где $t_{\text{к}}$ – время возникновения контакта диска пилы со стволом, а t_B – время завершения срезки ствола, которые в свою очередь зависят от первоначального положения центра ствола по отношению к центру пилы.

Для того чтобы определить время $t_{\text{к}}$ и t_B, рассмотрим схему, представленную на рис. 3.41.

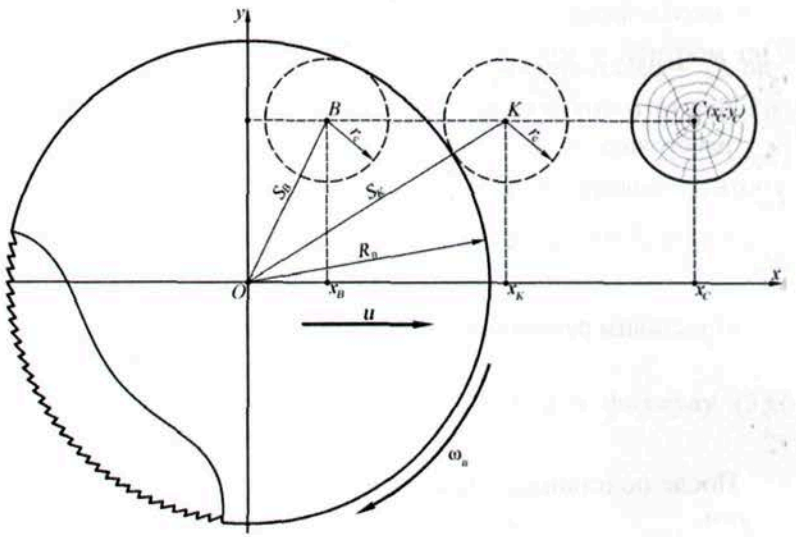


Рис. 3.41. Схема для определения времени возникновения контакта пилы со стволом и времени завершения срезки ствола

Согласно рассматриваемой схеме, в начальный момент времени (при $t=0$) центр ствола находится в точке $C(x_C;y_C)$.

В процессе работы кусторeза за счет прямолинейной подачи рабочего органа расстояние между центрами пилы и ствола постепенно сокращается, и когда центр ствола перемещается в точку K, зубья дисковой пилы вступают в контакт со стволом и начинается процесс резания.

Таким образом, время возникновения контакта пилы со стволом можно определить по формуле:

$$t_{\text{к}} = \frac{x_C - x_K}{u}, \qquad (3.60)$$

где x_K – координата точки K по оси абсцисс x, м.

При этом координата точки K по оси x составляет:

$$x_K = \sqrt{S_K{}^2 - y_C{}^2}, \qquad (3.61)$$

где S_K – расстояние между центром пилы и точкой K, м.

Для того чтобы начался процесс резания ствола с радиусом $r_{\text{с}}$, расстояние между его центром и центром пилы должно соответствовать следующему равенству:

$$S_K = R_{\text{п}} + r_{\text{с}}. \qquad (3.62)$$

Подставим равенство (3.62) в выражение (3.61):

$$x_K = \sqrt{(R_{\text{п}} + r_{\text{с}})^2 - y_C{}^2}. \qquad (3.63)$$

После подстановки выражения (3.63) в формулу (3.60) получим:

$$t_{\text{к}} = \frac{x_C - \sqrt{(R_{\text{п}} + r_{\text{с}})^2 - y_C{}^2}}{u}. \qquad (3.64)$$

Далее определим время окончания процесса срезания ствола: оно наступит, когда центр ствола будет находиться в точке B. Следовательно, время завершения срезания ствола составит:

$$t_B = \frac{x_C - x_B}{u}, \qquad (3.65)$$

где x_B – координата точки B по оси абсцисс x, м.

Координату точки B определим с помощью следующего выражения:

$$x_B = \sqrt{S_B{}^2 - y_C{}^2}, \qquad (3.66)$$

где S_B – расстояние между центром пилы и точкой B, м.

Процесс резания ствола с радиусом $r_{\text{с}}$ завершается в момент, когда расстояние между его центром и центром пилы будет соответствовать следующему равенству:

$$S_B = R_{\text{п}} - r_{\text{с}}. \qquad (3.67)$$

Подставив в выражение (3.66) равенство (3.67), получим:

$$x_B = \sqrt{(R_{\text{п}} - r_{\text{с}})^2 - y_C{}^2}. \qquad (3.68)$$

После подстановки выражения (3.68) в формулу (3.65) имеем:

$$t_B = \frac{x_C - \sqrt{(R_{\text{п}} - r_{\text{с}})^2 - y_C{}^2}}{u}. \qquad (3.69)$$

Согласно формулам (3.64) и (3.69), длительность процесса резания ствола составит:

$$t_{\text{рез}} = t_B - t_{\text{к}} = \frac{\sqrt{(R_{\text{п}} - r_{\text{с}})^2 - y_C{}^2} + \sqrt{(R_{\text{п}} + r_{\text{с}})^2 - y_C{}^2}}{u}. \qquad (3.70)$$

Зная, как изменяется средняя окружная касательная сила резания во времени, и определив временной интервал срезки ствола, можно получить значение энергии, затрачиваемой на резание единичного ствола:

$$E_{\text{р}} = \int_{t_{\text{к}}}^{t_B} P_{\text{р.ср}}(t) R_{\text{п}} \omega_{\text{п}} dt \,, \qquad (3.71)$$

где $\omega_{\text{п}}$ – угловая скорость дисковой пилы, рад/с.

Подставив выражение (3.58) в формулу (3.71), получим:

$$E_{\text{р}} = R_{\text{п}} \omega_{\text{п}} 24\pi a_{\text{п}} a_w a_{\delta,\varphi} a_{\rho} a_{\text{т}} u_z^{\,0.85} b^{0.5} \times$$

$$\times \int_{t_{\text{к}}}^{t_B} \left(\sin\left(\arccos\left(\frac{y_C}{\sqrt{y_C^{\,2} + x_C^{\,2} - 2x_C tu + t^2 u^2}} \right) \right) \right) \times$$

$$\times \left(\left(\frac{\pi R_{\text{п}}}{90} \arccos\left(\frac{R_{\text{п}}^{\,2} - r_{\text{с}}^{\,2} + y_C^{\,2} + x_C^{\,2} - 2x_C tu + t^2 u^2}{2R_{\text{п}} \sqrt{y_C^{\,2} + x_C^{\,2} - 2x_C tu + t^2 u^2}} \right) \right) \Big/ t_{\text{з}} \right) dt \,. \qquad (3.72)$$

На основании графиков, отражающих изменения силы резания во времени (см. рис. 3.40), можно сделать следующее заключение: на резание стволов одинакового диаметра затрачивается равное количество энергии, однако, в зависимости от смещения центра ствола по оси *y*, энергозатраты будут поразному распределяться во времени.

Далее определим потребляемую на резание мощность для условий максимальных перегрузок.

При расчете необходимой мощности для привода рабочего органа кусторeза нужно ориентироваться на максимальные усилия, возникающие в процессе резания.

С учетом формулы (3.50), наибольшие перегрузки в процессе резания возникают, когда угол $\theta_{\text{ср}} = 90°$, так как при этом $\sin\theta_{\text{ср}} = 1$. Кроме того, в данном случае в процессе пиления ствола суммарная средняя окружная касательная сила резания достигает своего максимального значения при максимальной длине дуги контакта дисковой пилы со стволом. А это происходит, когда хорда, стягивающая крайние точки пропила, становится равной диаметру ствола $h = d_{\text{с}} = 2r_{\text{с}}$ (рис. 3.42).

С учетом этого максимальная длина дуги контакта составит:

$$l_{\text{к}}^{\max} = \frac{\pi R_{\text{п}}}{180} \alpha_{\text{к}}^{\max} \,, \qquad (3.73)$$

где $\alpha_{\text{к}}^{\max}$ – максимальное значение угла, заключенного между прямыми линиями, соединяющими центр пилы с крайними точками пропила, град.

Для определения значения угла $\alpha_{\text{к}}^{\max}$ воспользуемся схемой, представленной на рис. 3.42. Соединив крайние точки пропила между собой, а затем и с центром пилы, мы получим равнобедренный треугольник ΔOAB, состоящий из двух прямоугольных треугольников ΔOAC и ΔOCC.

Затем определим стороны треугольника ΔOAC: $OA = R_{\text{п}}$, $AC = d_{\text{с}}/2 = r_{\text{с}}$, $OC = \sqrt{OA^2 - AC^2} = \sqrt{R_{\text{п}}^{\,2} - r_{\text{с}}^{\,2}}$, здесь $d_{\text{с}}$ – диаметр ствола в плоскости среза, м.

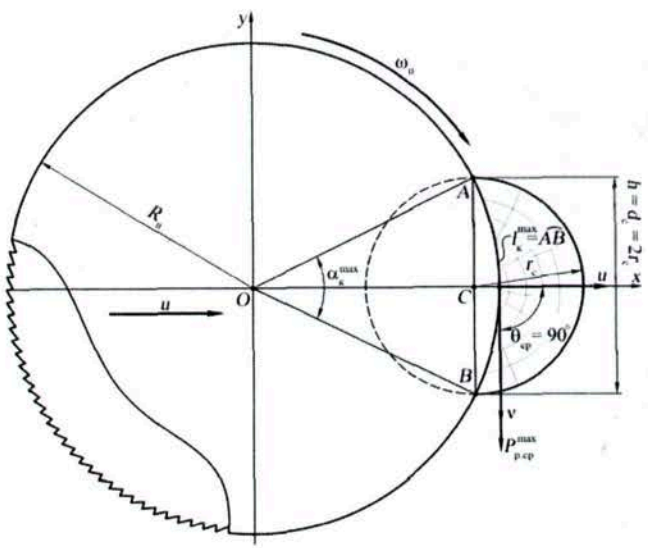


Рис. 3.42. Схема для определения максимальной длины дуги контакта дисковой пилы со стволом

Следовательно, можно записать $\cos\left(\alpha_{\text{к}}^{\max}/2\right)=\sqrt{R_{\text{п}}{}^2-r_{\text{с}}{}^2}\,/R_{\text{п}}$, откуда:

$$\alpha_{\text{к}}^{\max}=2\arccos\left(\frac{\sqrt{R_{\text{п}}{}^2-r_{\text{с}}{}^2}}{R_{\text{п}}}\right). \qquad (3.74)$$

Подставив выражение (3.74) в формулу (3.73), получим:

$$l_{\text{к}}^{\max}=\frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\arccos\left(\frac{\sqrt{R_{\text{п}}{}^2-r_{\text{с}}{}^2}}{R_{\text{п}}}\right). \qquad (3.75)$$

Таким образом, максимальное значение средней окружной касательной силы резания для данного случая составит (с учетом того, что $\sin\theta_{\text{ср}}=1$):

$$P_{\text{р.ср}}^{\max}=24\pi a_{\text{п}}a_{\text{и}}a_{\delta,\varphi}a_{\rho}a_{\text{т}}u_z{}^{0,85}b^{0,5}\times$$
$$\times\left(\left(\frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\arccos\left(\frac{\sqrt{R_{\text{п}}{}^2-r_{\text{с}}{}^2}}{R_{\text{п}}}\right)\right)\Big/t_{\text{з}}\right). \qquad (3.76)$$

Тогда в рассматриваемом случае мощность, необходимая для резания единичного ствола диаметром $d_{\text{с}}$, должна составлять:

$$N_{\text{р}}=P_{\text{р.ср}}^{\max}R_{\text{п}}\omega_{\text{п}}. \qquad (3.77)$$

После подстановки уравнения (3.76) в формулу (3.77) получаем:

$$N_{\text{р}}=24R_{\text{п}}\omega_{\text{п}}\pi a_{\text{п}}a_{\text{и}}a_{\delta,\varphi}a_{\rho}a_{\text{т}}u_z{}^{0,85}b^{0,5}\times$$
$$\times\left(\left(\frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\arccos\left(\frac{\sqrt{R_{\text{п}}{}^2-r_{\text{с}}{}^2}}{R_{\text{п}}}\right)\right)\Big/t_{\text{з}}\right). \qquad (3.78)$$

Далее аналитическим методом определим мощность, потребляемую на резание, для всех остальных случаев:

$$N_{\text{р}}(t)=P_{\text{р.ср}}(t)V(t), \qquad (3.79)$$

где $V(t)$ – относительная окружная скорость, которая является суммой вектора окружной скорости и проекций вектора скорости подачи на касательную, по которой направлен вектор окружной скорости:

$$V(t)=\nu+u\cos\left(\theta_{\text{ср}}(t)\right), \qquad (3.80)$$

где ν – окружная скорость дисковой пилы, м/с.

Формула (3.80) будет верна как для встречного резания, так и для попутного, так как косинус для угла $\pi>\theta_{\text{ср}}(t)>\pi/2$ будет принимать отрицательные значения.

Далее с использованием схемы, представленной на рис. 3.43, определим функцию $\cos\left(\theta_{\text{ср}}(t)\right)$:

$$\cos\left(\theta_{\text{ср}}(t)\right)=\frac{y_C}{S_C(t)}=\frac{y_C}{\sqrt{y_C{}^2+x_C{}^2-2x_Ctu+t^2u^2}}. \qquad (3.81)$$

Окружную скорость определяют по формуле:

$$\nu=\omega_{\text{п}}R_{\text{п}}. \qquad (3.82)$$

После подстановки выражений (3.81) и (3.82) в формулу (3.80) получаем:

$$V(t)=\omega_{\text{п}}R_{\text{п}}+\frac{uy_C}{\sqrt{y_C{}^2+x_C{}^2-2x_Ctu+t^2u^2}}. \qquad (3.83)$$

Подставив в формулу (3.79) выражения (3.58) и (3.83), имеем:

$$N_{\text{р}}(t) = 24\pi a_{\text{п}} a_w a_{\delta,\varphi} a_\rho a_{\text{т}} u_z^{\,0,85} b^{0,5} \times$$
$$\times \sin\left(\arccos\left(\frac{y_C}{\sqrt{{y_C}^2 + {x_C}^2 - 2x_C tu + t^2u^2}}\right)\right) \times$$
$$\times \left(\left(\frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\arccos\left(\frac{{R_{\text{п}}}^2 - {r_{\text{с}}}^2 + {y_C}^2 + {x_C}^2 - 2x_C tu + t^2u^2}{2R_{\text{п}}\sqrt{{y_C}^2 + {x_C}^2 - 2x_C tu + t^2u^2}}\right)\right) \Big/ t_{\text{з}}\right) \times \quad (3.84)$$
$$\times \left(\omega_{\text{п}} R_{\text{п}} + \frac{uy_C}{\sqrt{{y_C}^2 + {x_C}^2 - 2x_C tu + t^2u^2}}\right).$$

Анализ графических зависимостей (рис. 3.43), построенных на основании формулы (3.84), показывает, что с позиции экономии мощности целесообразней применять попутное резание. Этот факт необходимо учитывать при разработке технологического процесса работы кусторeза с дисковым пильным органом.

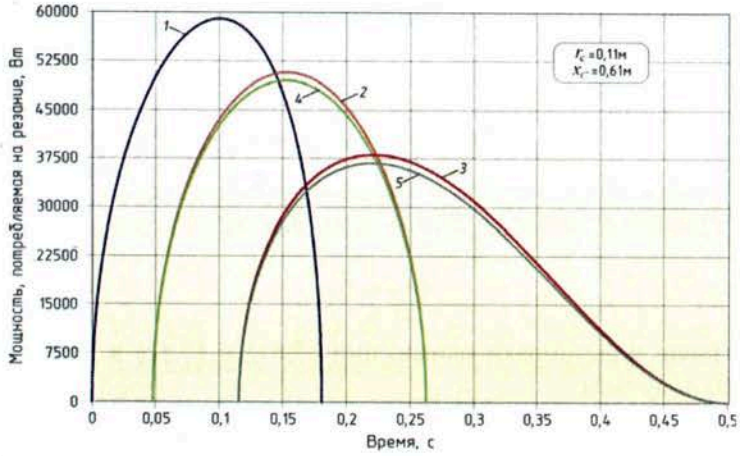


Рис. 3.43. Изменение мощности, потребляемой на резание, во времени в зависимости от смещения центра ствола по оси *y*: *1* – лобовое резание, при $y_C = 0$; *2* – встречное резание, при $y_C = 0{,}26$ м; *3* – встречное резание, при $y_C = 0{,}39$ м; *4* – попутное резание, при $y_C = -0{,}26$ м; *5* – попутное резание, при $y_C = -0{,}39$ м

Кроме того, определив первую и вторую производную функций $P_{\text{р.ср}}(t)$ и $N_{\text{р}}(t)$, можно узнать, в какое время данные функции достигают своего максимума, и для данного времени произвести расчет максимально достигаемой в процессе пиления ствола силы резания и потребляемой мощности. С учетом данных расчетов можно подобрать соответствующий привод для рабочего органа кусторeза.

Также проведенный теоретический анализ позволяет сделать еще один весьма интересный вывод, суть которого заключается в следующем. При использовании пил с одинаковой геометрией зубьев, но с разным их числом, на резание стволов одинакового диаметра будет затрачиваться одна и та же энергия, которая при этом, в зависимости от числа зубьев, будет по-разному распределяться во времени. Применяя пилы с малым числом зубьев, мы увеличим длительность процесса срезки, при этом усилия резания будут сравнительно небольшими и для привода рабочего органа кусторeза потребуется двигатель малой мощности. При использовании же пил с большим числом зубьев длительность процесса срезки будет сокращаться, однако при этом силы резания возрастут и для привода такой пилы потребуется двигатель гораздо большей мощности.

Элементы теории резания для маятникового кусторeза с дисковым рабочим органом

Чтобы иметь представление о процессе резания дисковыми пилами с угловой подачей, необходимо определить, на какой угол нужно повернуть маятниковую стрелу для срезки единичного ствола, имеющего радиус в плоскости резания $r_{\text{с}}$. Для этого рассмотрим схему, представленную на рис. 3.44 [244].

Введем в данную схему полярную систему координат, при этом полюс O совпадет с осью вращения маятниковой стрелы, а полярная ось P будет направлена под прямым углом к продольной оси симметрии базового трактора или рамы кусторeза.

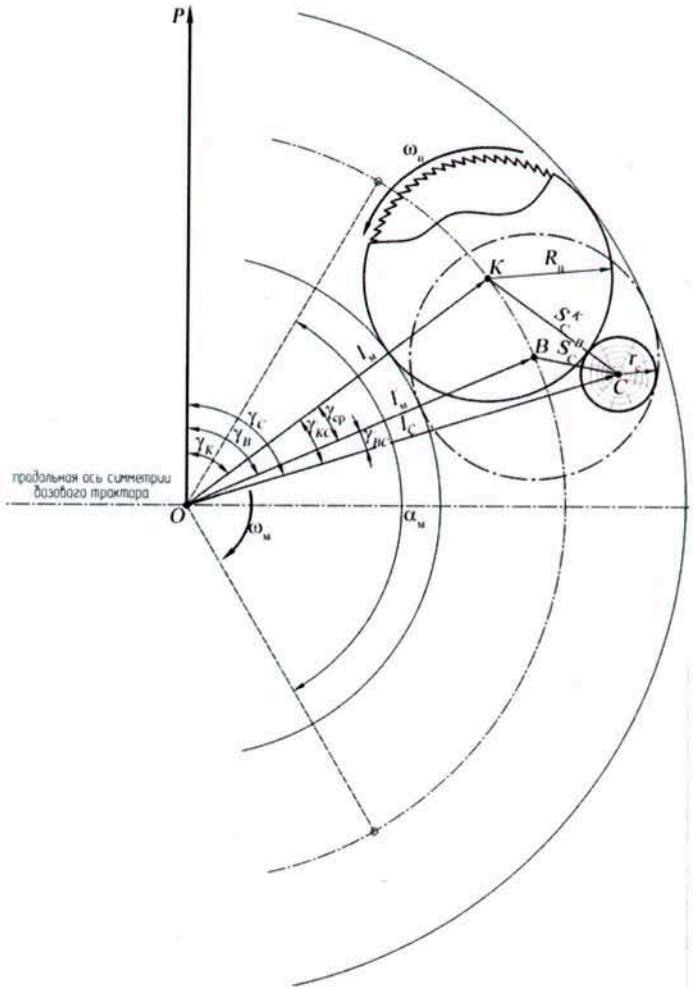


Рис. 3.44. Схема для определения необходимого угла поворота маятниковой стрелы при срезке единичного ствола

Тогда $l_м$ будет являться радиус-вектором точки K, в которой будет располагаться центр пилы в начальный момент срезки ствола, причем $l_м$ – это расстояние от оси вращения маятниковой стрелы до центра пилы.

Центр ствола, расположенный в точке C, будет иметь радиус-вектор l_C, равный расстоянию от оси вращения маятниковой стрелы до центра ствола.

Согласно схеме (см. рис. 3.44), чтобы срезать ствол, центр пилы должен переместиться в точку B за счет поворота маятниковой стрелы на искомый нами угол $\gamma_{ср}$.

Таким образом, можно записать, что необходимая величина угла поворота маятниковой стрелы для срезки ствола с радиусом $r_с$ составит:

$$\gamma_{ср} = \gamma'_{KC} - \gamma'_{BC}, \qquad (3.85)$$

где γ'_{KC} – угол между радиус-векторами $l_м$ и l_C в начальный момент срезки, град.; γ'_{BC} – угол между радиус-векторами $l'_м$ и l_C в конечный момент срезки, град.

Далее определим величины углов γ'_{KC} и γ'_{BC}.

На основании теоремы косинусов запишем следующее равенство для треугольника ΔOKC:

$$S_C^{K\,2} = l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos\gamma'_{KC}, \qquad (3.86)$$

где S_C^K – расстояние между центрами пилы и ствола в начальный момент срезки, м.

Зубья пилы вступят во взаимодействие со стволом, когда расстояние между центрами ствола и пилы сократится до величины:

$$S_C^K = R_п + r_с, \qquad (3.87)$$

где $R_п$ – радиус дисковой пилы, м.

Из выражения (3.86) с учетом равенства (3.87) определим угол γ'_{KC}:

$$\gamma'_{KC} = \arccos\left(\frac{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - (R_п + r_с)^2}{2 l_м l_C}\right). \qquad (3.88)$$

Затем рассмотрим треугольник ΔOBC, для которого по теореме косинусов можно записать следующее равенство:

$$S_C^{B\,2} = l'^{\,2}_м + l_C^{\,2} - 2 l'_м l_C \cos\gamma'_{BC}, \qquad (3.89)$$

где радиус-вектор $l'_м$ равен по модулю радиус-вектору $l_м$, так как расстояние между центром пилы и осью вращения маятниковой стрелы – величина постоянная.

Процесс срезания ствола будет завершен, когда расстояние между центрами ствола и пилы станет S_C^B равным:

$$S_C^B = R_п - r_с. \qquad (3.90)$$

Подставив выражение (3.90) в формулу (3.89) и преобразовав ее, получим:

$$\gamma'_{BC} = \arccos\left(\frac{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - (R_п - r_с)^2}{2 l_м l_C}\right). \qquad (3.91)$$

С учетом выражений (3.87) и (3.90) угол поворота маятниковой стрелы, необходимый для срезки ствола, составит:

$$\gamma_{ср} = \arccos\left(\frac{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - (R_п + r_с)^2}{2 l_м l_C}\right) - \arccos\left(\frac{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - (R_п - r_с)^2}{2 l_м l_C}\right). \qquad (3.92)$$

Длительность процесса срезки ствола при этом можно определить по выражению:

$$t_{ср} = \frac{\gamma_{ср}}{\omega_м} = \left\{\arccos\left[\frac{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - (R_п + r_с)^2}{2 l_м l_C}\right] - \arccos\left[\frac{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - (R_п + r_с)^2}{2 l_м l_C}\right]\right\} / \omega_м, \qquad (3.93)$$

где $\omega_м$ – угловая скорость маятниковой стрелы, град./с.

Далее перейдем к определению силы резания, возникающей в процессе пиления ствола.

Среднюю окружную касательную силу резания на дуге контакта зубьев со стволом $P_{р.ср}$ и силу резания $P_р$ можно определить по формулам (3.45) и (3.37). При угловой подаче пильного диска переменными величинами, входящими в формулу (3.45), будут: длина дуги контакта пилы со стволом, $l_к$; подача на зуб, u_z; средний кинематический угол встречи, $\theta_{ср}$. При этом величины $l_к$ и $\theta_{ср}$ будут изменяться в процессе резания по несколько более сложным зависимостям, чем при прямолинейной подаче.

Кроме того, учитывая, что величина подачи на зуб будет зависеть от того, насколько удалена зона резания от оси вращения маятниковой стрелы, в дальнейшем предлагается рассматривать усредненную величину подачи на зуб $u_z^{ср}$.

Далее определим, как в процессе срезания ствола будет изменяться длина дуги контакта. Воспользуемся для этого схемой, представленной на рис. 3.45.

При рассмотрении прямолинейной подачи пильного диска нами была выявлена зависимость (3.49), в которой изменяющейся во времени величиной является S_C. Следовательно, определив функцию $S_C = f(t)$ для угловой подачи пильного диска, мы сможем для этого же случая определить изменение длины дуги контакта во времени $l_к = f(t)$.

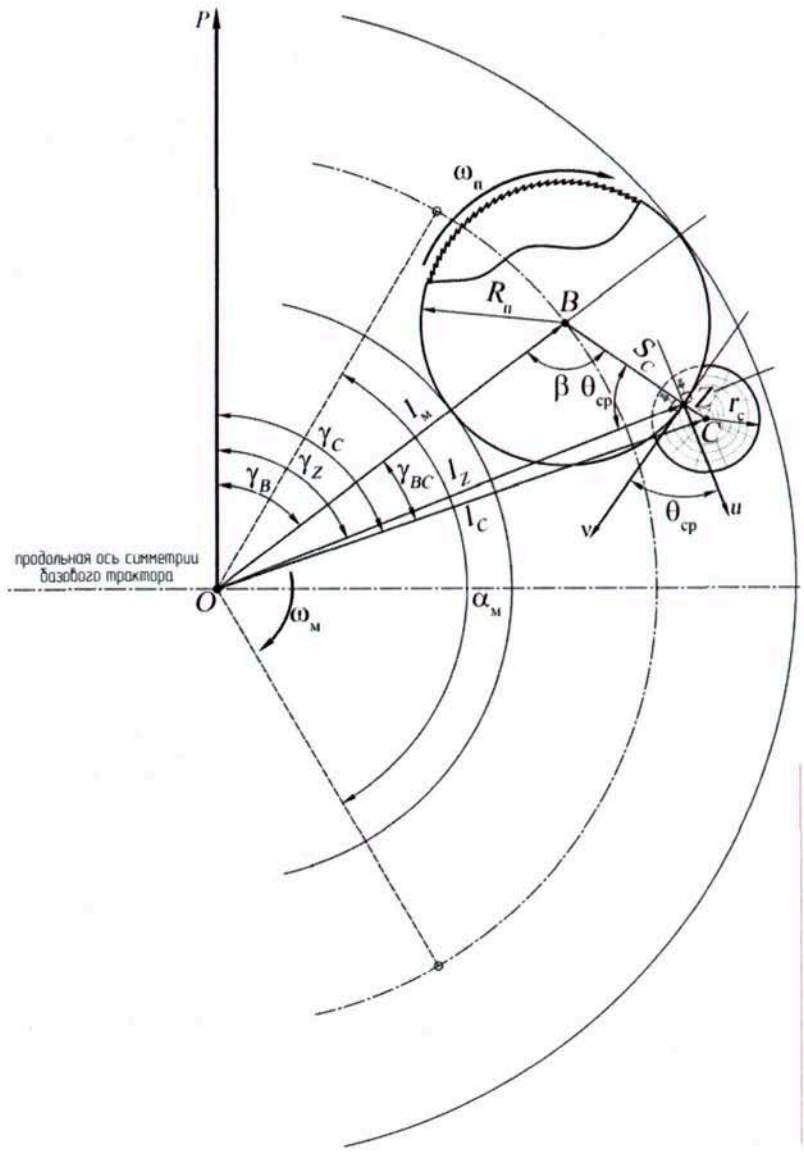


Рис. 3.45. Схема к определению кинематических параметров маятникового кусторeза

Для решения данной задачи введем в схему, изображенную на рис. 3.45, полярную систему координат, в которой полюс O совпадает с осью вращения маятниковой стрелы, а полярная ось P будет направлена под прямым углом к продольной оси симметрии базового трактора или рамы кусторeза.

Тогда точка B, совпадающая с центром пилы, будет иметь координаты $(l_м; \gamma_B)$, здесь $l_м$ – радиус-вектор точки B, γ_B – полярный угол, а центр ствола, расположенный в точке C, будет иметь координаты $(l_C; \gamma_C)$.

Предположим, что в определенный момент процесса пиления ствола нам становится известным расстояние между центрами ствола и пилы S_C. Причем в данный момент угол между радиус-векторами составляет:

$$\gamma_{BC} = \gamma_C - \gamma_B . \qquad (3.94)$$

В треугольнике ΔOBC, согласно теореме косинусов:

$$S_C = \sqrt{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos \gamma_{BC}} . \qquad (3.95)$$

Таким образом, длина дуги контакта в данный момент, с учетом выражения (3.55), составит:

$$l_к = \frac{\pi R_п}{90} \arccos\left(\frac{R_п^{\,2} + l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos \gamma_{BC} - r_c^{\,2}}{2 R_п \sqrt{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos \gamma_{BC}}} \right). \qquad (3.96)$$

Так как в процессе резания центр пилы будет перемещаться относительно полюса, а центр ствола при этом оставаться неподвижным, то через некоторый промежуток времени Δt расстояние между данными центрами составит:

$$S_C - \Delta S_C = \sqrt{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos(\gamma_{BC} - \Delta\gamma)} . \qquad (3.97)$$

Учитывая, что $\frac{\Delta\gamma}{\Delta t}=\omega_{\text{м}}$, функция $S_C=f(t)$ будет иметь вид:

$$S_C(t)=\sqrt{l_{\text{м}}{}^2+l_C{}^2-2l_{\text{м}}l_C\cos(\gamma_{BC}-\omega_{\text{м}}t)}, \qquad (3.98)$$

где t – время, с.

Подставив выражение (3.98) в формулу (3.49), получим функцию, описывающую изменение длины дуги контакта во времени, для маятникового кусторeза:

$$l_{\text{к}}(t)=\frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\arccos\left(\frac{R_{\text{п}}{}^2+l_{\text{м}}{}^2+l_C{}^2-2l_{\text{м}}l_C\cos(\gamma_{BC}-\omega_{\text{м}}t)-r_{\text{с}}{}^2}{2R_{\text{п}}\sqrt{l_{\text{м}}{}^2+l_C{}^2-2l_{\text{м}}l_C\cos(\gamma_{BC}-\omega_{\text{м}}t)}}\right). \qquad (3.99)$$

При одновременной срезке сразу нескольких стволов суммарную длину дуги контакта в любой момент времени можно определить по формуле:

$$l_{\text{к}}^{\text{сум}}(t)=\frac{\pi R_{\text{п}}}{90}\times$$

$$\times\sum_{i=1}^{n}\arccos\left(\frac{R_{\text{п}}{}^2+l_{\text{м}}{}^2+l_{C_i}{}^2-2l_{\text{м}}l_{C_i}\cos(\gamma_{BC_i}-\omega_{\text{м}}t)-r_{\text{с}_i}{}^2}{2R_{\text{п}}\sqrt{l_{\text{м}}{}^2+l_{C_i}{}^2-2l_{\text{м}}l_{C_i}\cos(\gamma_{BC_i}-\omega_{\text{м}}t)}}\right), \qquad (3.100)$$

где l_{C_i} – радиус-вектор центра i-го ствола, м; γ_{BC_i} – угол между радиус-вектором l_{C_i} и $l_{\text{м}}$, град.; $r_{\text{с}_i}$ – радиус i-го ствола в плоскости среза, м; n – число одновременно срезаемых стволов, шт.

Необходимо учитывать, что ствол будет срезан только при выполнении следующих условий:

$$\begin{cases} l_C \ge l_{\text{м}}-R_{\text{п}}+r_{\text{с}}, \\ l_C \le l_{\text{м}}+R_{\text{п}}-r_{\text{с}}. \end{cases} \qquad (3.101)$$

Далее установим, как в процессе резания маятниковым кусторезом изменяется средняя подача на зуб $u_z^{\text{ср}}$. Для предотвращения высоких перегрузок и обеспечения оптимальных условий резания в наиболее удаленной зоне резания, угловая скорость маятниковой стрелы должна составлять:

$$\omega_{\text{м}}=\frac{u_z z\omega_{\text{п}}}{2\pi(R_{\text{п}}+l_{\text{м}})}, \qquad (3.102)$$

где u_z – подача на зуб, при которой обеспечиваются оптимальные условия резания, м/зуб; z – число зубьев у дисковой пилы, шт.; $\omega_{\text{п}}$ – угловая скорость дисковой пилы, град./с.

Причем сумма $R_{\text{п}}+l_{\text{м}}$ указывает на удаленность зоны резания от оси вращения маятниковой стрелы.

Для определения средней подачи на зуб $u_z^{\text{ср}}$ при резании ствола с радиусом $r_{\text{с}}$ снова вернемся к схеме, представленной на рис. 3.45. Согласно данной схеме, центр зоны резания будет расположен в точке Z, имеющей координаты $(l_Z;\gamma_Z)$, причем модуль радиус-вектора l_Z определяет, насколько удалена зона резания от оси вращения маятниковой стрелы.

Следовательно, среднюю величину подачи на зуб при маятниковом движении пильного диска, исходя из формулы (3.102), можно определить по формуле:

$$u_z^{\text{ср}}=\frac{2\pi\omega_{\text{м}}l_Z}{z\omega_{\text{п}}}, \qquad (3.103)$$

где l_Z – радиус-вектор центра зоны резания, м.

Для треугольника ΔOBZ по теореме косинусов можно записать следующую зависимость:

$$l_Z = \sqrt{l_м^{\,2} + R_п^{\,2} - 2 l_м R_п \cos\beta}\,. \qquad (3.104)$$

Угол в определим из треугольника ΔOBC, по теореме синусов мы имеем:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{l_C \sin\gamma_{BC}}{S_C}\right). \qquad (3.105)$$

После подстановки выражения (3.95) в формулу (3.105) получим:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{l_C \sin\gamma_{BC}}{\sqrt{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos\gamma_{BC}}}\right). \qquad (3.106)$$

Затем подставим формулу (3.106) в равенство (3.105) и получим:

$$l_Z = \sqrt{l_м^{\,2} + R_п^{\,2} - 2 l_м R_п \cos\left(\arcsin\left(\frac{l_C \sin\gamma_{BC}}{\sqrt{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos\gamma_{BC}}}\right)\right)}\,. \qquad (3.107)$$

Сделав подстановку выражения (3.107) в формулу (3.103), имеем:

$$u_z^{ср} = \frac{2\pi\omega_м \sqrt{l_м^{\,2} + R_п^{\,2} - 2 l_м R_п \cos\left(\arcsin\left(\frac{l_C \sin\gamma_{BC}}{\sqrt{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos\gamma_{BC}}}\right)\right)}}{z\omega_п}\,. \qquad (3.108)$$

Анализ формулы (3.106) показывает, что изменение угла β во времени зависит от изменения угла γ_{BC}, который уменьшается по мере поворота маятниковой стрелы, из чего следует, что функция $\beta = f(t)$ будет иметь следующий вид:

$$\beta(t) = \arcsin\left(\frac{l_C \sin(\gamma_{BC} - \omega_м t)}{\sqrt{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos(\gamma_{BC} - \omega_м t)}}\right). \qquad (3.109)$$

Используя формулы (3.103) и (3.104) с учетом выражения (3.109), определим функции $l_Z = f(t)$ и $u_z^{ср} = f(t)$:

$$l_Z(t) = \sqrt{l_м^{\,2} + R_п^{\,2} - 2 l_м R_п \cos\left(\arcsin\left(\frac{l_C \sin(\gamma_{BC} - \omega_м t)}{\sqrt{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos(\gamma_{BC} - \omega_м t)}}\right)\right)}\,; \qquad (3.110)$$

$$u_z^{ср}(t) = \frac{2\pi\omega_м \sqrt{l_м^{\,2} + R_п^{\,2} - 2 l_м R_п \cos\left(\arcsin\left(\frac{l_C \sin(\gamma_{BC} - \omega_м t)}{\sqrt{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - 2 l_м l_C \cos(\gamma_{BC} - \omega_м t)}}\right)\right)}}{z\omega_п}\,. \qquad (3.111)$$

Далее определим, как изменяется в процессе резания средний кинематический угол встречи $\theta_{ср}$, расположенный между векторами окружной скорости пилы и скорости подачи.

При решении данной задачи необходимо учитывать относительность движения точек дисковой пилы. При резании все точки пилы вращаются вокруг ее центра и при этом также совершают вращательное движение относительно оси вращения маятниковой стрелы. Учитывая это, обратимся к схеме, представленной на рис. 3.45. Вектор скорости подачи u будет направлен под прямым углом к радиус-вектору l_Z, который в свою очередь равен стороне OZ треугольника ΔOBZ. А вектор окружной скоро-

сти пилы будет являться перпендикуляром к стороне BZ, которая в свою очередь равна радиусу пилы $R_{\text{п}}$.

В треугольнике ΔOBZ по теореме синусов:

$$\theta_{\text{ср}} = \arcsin\left(\frac{l_{\text{м}} \sin\beta}{l_Z}\right). \qquad (3.112)$$

Из формулы (3.112) следует, что:

$$\sin\beta = \frac{l_C \sin\gamma_{BC}}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + l_C^{\,2} - 2l_{\text{м}} l_C \cos\gamma_{BC}}}. \qquad (3.113)$$

Подставив выражения (3.107) и (3.113) в формулу (3.112), получим:

$$\theta_{\text{ср}} = \arcsin\times$$

$$\times\left\{\frac{l_{\text{м}}\left(\dfrac{l_C \sin\gamma_{BC}}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + l_C^{\,2} - 2l_{\text{м}} l_C \cos\gamma_{BC}}}\right)}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + R_{\text{п}}^{\,2} - 2l_{\text{м}} R_{\text{п}} \cos\left[\arcsin\left(\dfrac{l_C \sin\gamma_{BC}}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + l_C^{\,2} - 2l_{\text{м}} l_C \cos\gamma_{BC}}}\right)\right]}}\right\}. \qquad (3.114)$$

Так как угол γ_{BC} будет изменяться во времени, то функция $\theta_{\text{ср}} = f(t)$ примет вид:

$$\theta_{\text{ср}}(t) = \arcsin\times$$

$$\times\left\{\frac{l_{\text{м}}\left(\dfrac{l_C \sin(\gamma_{BC} - \omega_{\text{м}} t)}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + l_C^{\,2} - 2l_{\text{м}} l_C \cos(\gamma_{BC} - \omega_{\text{м}} t)}}\right)}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + R_{\text{п}}^{\,2} - 2l_{\text{м}} R_{\text{п}} \cos\left[\arcsin\left(\dfrac{l_C \sin(\gamma_{BC} - \omega_{\text{м}} t)}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + l_C^{\,2} - 2l_{\text{м}} l_C \cos(\gamma_{BC} - \omega_{\text{м}} t)}}\right)\right]}}\right\}. \qquad (3.115)$$

Следует отметить, что в случае, когда пила и маятниковая стрела вращаются в разных направлениях, $\theta_{\text{ср}} = 180° - \arcsin\left(\dfrac{l_{\text{м}} \sin\beta}{l_Z}\right)$, следовательно:

$$\theta_{\text{ср}}(t) = 180° - \arcsin\times$$

$$\times\left\{\frac{l_{\text{м}}\left(\dfrac{l_C \sin(\gamma_{BC} - \omega_{\text{м}} t)}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + l_C^{\,2} - 2l_{\text{м}} l_C \cos(\gamma_{BC} - \omega_{\text{м}} t)}}\right)}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + R_{\text{п}}^{\,2} - 2l_{\text{м}} R_{\text{п}} \cos\left[\arcsin\left(\dfrac{l_C \sin(\gamma_{BC} - \omega_{\text{м}} t)}{\sqrt{l_{\text{м}}^{\,2} + l_C^{\,2} - 2l_{\text{м}} l_C \cos(\gamma_{BC} - \omega_{\text{м}} t)}}\right)\right]}}\right\}. \qquad (3.116)$$

Определив $l_{\text{к}}$, $u_z^{\text{ср}}$ и $\theta_{\text{ср}}$, на основании формулы (3.45) можно установить среднюю окружную касательную силу резания маятниковым кусторезом $P_{\text{р.ср.м}}$ для определенного момента срезки ствола:

$$P_{\text{р.ср.м}} = 24\pi a_{\text{п}} a_{w} a_{\delta,\varphi} a_{\rho} a_{\text{т}} b^{0,5} \frac{\left(u_z^{\text{ср}}\right)^{0,85} l_{\text{к}} \sin\theta_{\text{ср}}}{t_{\text{з}}}. \qquad (3.117)$$

Зная функции $l_{\text{к}}(t)$, $u_z^{\text{ср}}(t)$ и $\theta_{\text{ср}}(t)$, можно записать формулу, отражающую изменение силы $P_{\text{р.ср.м}}$ во времени:

$$P_{\text{р.ср.м}}(t) = 24\pi a_{\text{п}} a_{w} a_{\delta,\varphi} a_{\rho} a_{\text{т}} b^{0,5} \frac{\left(u_z^{\text{ср}}(t)\right)^{0,85} l_{\text{к}}(t) \sin\theta_{\text{ср}}(t)}{t_{\text{з}}}. \qquad (3.118)$$

Причем, так как на участке от $\pi/2$ до π будет выполняться равенство $\sin\theta_{\text{ср}} = \sin(180° - \theta_{\text{ср}})$, то формулы (3.117) и (3.118) будут справедливы как для случая, когда направления вращения

маятниковой стрелы и пилы совпадают, так и в случае, когда пила и маятниковая стрела вращаются в разных направлениях.

Анализируя графики (рис. 3.46), построенные по формуле (3.118), можно сделать следующее заключение: чем больше величина радиус-вектора l_C отличается от величины $l_м$, тем меньшей толщины срезается стружка и, соответственно, при этом возникают значительно меньшие усилия резания. Наименьшие силы резания возникают в случае, когда $l_C < l_м$. Данный факт следует учитывать при разработке технологической схемы работы кусторeза.

В случае одновременной срезки нескольких стволов суммарная окружная касательная сила резания $P_{р.ср.м}$ составит:

$$P_{р.ср.м}(t) = 24\pi a_п a_ш a_{\delta,\varphi} a_\rho a_т b^{0,5} \sum_{i=1}^{n} \frac{\left(u_z^{ср}(t)\right)^{0,85} l_к(t) \sin и_{ср}(t)}{t_з}. \quad (3.119)$$

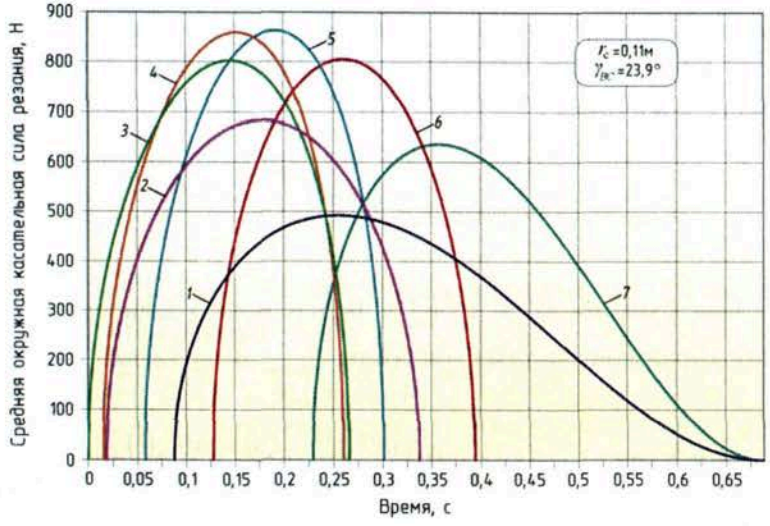


Рис. 3.46. Изменение средней окружной касательной силы резания во времени в зависимости от величины радиус-вектора центра ствола l_C: *1* – при l_C = 1,11 м; *2* – при l_C = 1,24 м; *3* – при l_C = 1,37 м; *4* – при l_C = 1,5 м; *5* – при l_C = 1,63 м; *6* – при l_C = 1,76 м; *7* – при l_C = 1,89 м

Далее определим энергию, затрачиваемую на резание единичного ствола маятниковым кусторезом, по формуле:

$$E_{р.м} = \int_{t_K}^{t_B} P_{р.ср.м}(t) R_п \omega_п dt, \quad (3.120)$$

где t_K и t_B – соответственно время начала процесса резания и время завершения срезки ствола, с.

Определим величины t_K и t_B.

Пусть в начальный момент времени $t = 0$ центр пилы будет иметь координаты (в полярной системе координат) $B(l_м; \gamma_B)$, центр ствола $C(l_C; \gamma_C)$, следовательно угол между радиус-векторами $l_м$ и l_C равен $\gamma_{BC} = \gamma_C - \gamma_B$.

Зубья пилы вступят во взаимодействие со стволом, когда данный угол уменьшится до величины угла γ'_{KC}, который определяется по формуле (3.88).

Таким образом, время, в которое произойдет контакт пилы со стволом, составит:

$$t_к = \frac{\gamma_{BC} - \gamma'_{KC}}{\omega_м}. \quad (3.121)$$

Подставив выражение (3.88) в формулу (3.121), получим:

$$t_к = \frac{\gamma_{BC} - \arccos\left(\dfrac{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - (R_п + r_c)^2}{2 l_м l_C}\right)}{\omega_м}. \quad (3.122)$$

Процесс срезки будет завершен, когда угол между радиус-векторами $l_м$ и l_C станет равен углу γ'_{BC}, который определяется по формуле (3.91), с учетом чего:

$$t_B = \frac{\gamma_{BC} - \gamma'_{BC}}{\omega_м}. \quad (3.123)$$

После подстановки выражения (3.91) в формулу (3.123) имеем:

$$t_B = \frac{\gamma_{BC} - \arccos\left(\dfrac{l_м^{\,2} + l_C^{\,2} - (R_п - r_с)^2}{2 l_м l_C}\right)}{\omega_м}. \qquad (3.124)$$

Определив временные рамки процесса резания, рассчитаем затраты энергии на резание единичного ствола, для чего воспользуемся формулами (3.118) и (3.120):

$$E_{р.м} = 24\pi R_п \omega_п a_п a_w a_{\delta,\varphi} a_ρ a_т b^{0,5} \times \times \int_{t_K}^{t_B} \frac{\left(u_z^{ср}(t)\right)^{0,85} l_к(t) \sin\theta_{ср}(t)}{t_з} dt. \qquad (3.125)$$

Далее перейдем к определению мощности, потребляемой при резании ствола маятниковым кусторезом:

$$N_{р.м}(t) = P_{р.ср.м}(t) V_м(t), \qquad (3.126)$$

где $V_м(t)$ – относительная окружная скорость для маятникового кустореза, м/с.

$$V_м(t) = v + u(t)\cos\theta_{ср}(t), \qquad (3.127)$$

где v – окружная скорость дисковой пилы, м/с; $u(t)$ – окружная скорость подачи, м/с.

Окружную скорость дисковой пилы маятникового кустореза $u(t)$ рассчитывают аналогично скорости кустореза с прямолинейной подачей рабочего органа по формуле (3.88):

$$u(t) = \omega_м l_z(t). \qquad (3.128)$$

Подставив уравнения (3.82) и (3.128) в формулу (3.127), имеем:

$$V_м(t) = \omega_п R_п + \omega_м l_Z(t)\cos\theta_{ср}(t). \qquad (3.129)$$

На основании формул (3.118) и (3.129) получим:

$$N_{р.м}(t) = 24\pi a_п a_и a_{\delta,\varphi} a_ρ a_т b^{0,5} \times \times \frac{\left(u_z^{ср}(t)\right)^{0,85} l_к(t)\sin\theta_{ср}(t)\left(\omega_п R_п + \omega_м l_Z(t)\cos\theta_{ср}(t)\right)}{t_з}. \qquad (3.130)$$

Построенные по функции (3.130) графики (рис. 3.47) указывают на то, что при попутном резании происходит незначительное уменьшение мощности, затрачиваемой на резание.

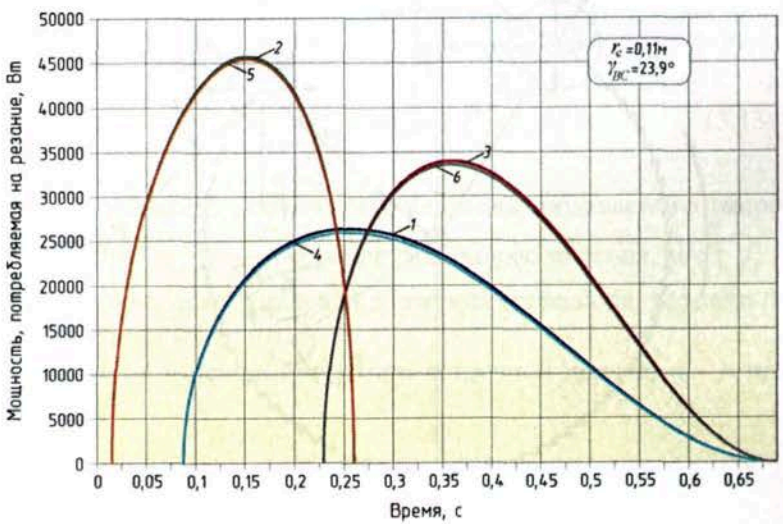


Рис. 3.47. Изменение затрачиваемой на резание мощности во времени в зависимости от величины радиус-вектора центра ствола l_C: встречное резание: *1* – при l_C = 1,11 м; *2* – при l_C = 1,63 м; *3* – l_C = 1,89 м; попутное резание: *4* – при l_C = 1,11 м; *5* – при l_C = 1,63 м; *6* – при l_C = 1,89 м

Определив первую и вторую производную функций $P_{\text{р.ср.м}}(t)$ и $N_{\text{р.м}}(t)$, можно узнать, в какое время данные функции достигают своего максимума, и для данного времени произвести расчет максимально достигаемых в процессе пиления ствола силы резания и потребляемой мощности.

Силы сопротивления подаче рабочего органа

Для расчета усилия подачи необходимо определить силы P_x и P_y (рис. 3.48), действующие по направлению к подаче и нормально к подаче.

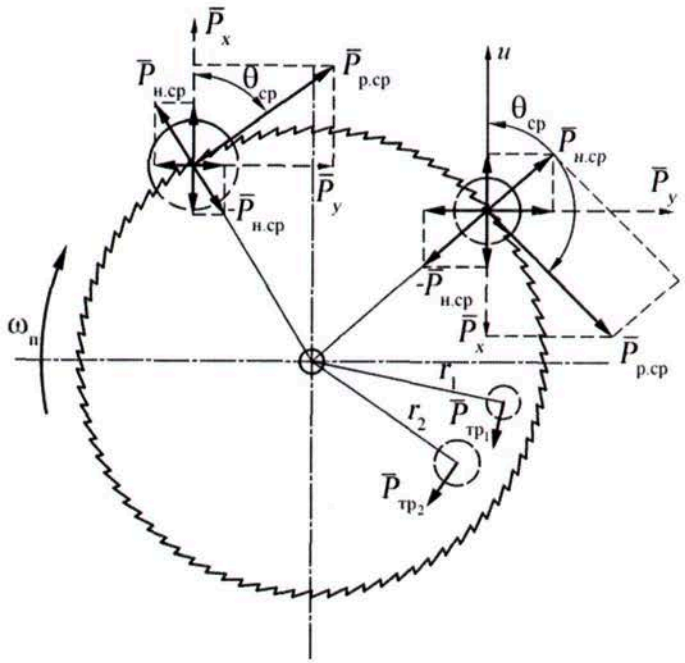


Рис. 3.48. Силы, действующие на рабочий орган кусторeза

При встречной подаче [243, 265] сила P_x, Н, оказывает сопротивление подаче распиливаемого материала:

$$P_x = P_{\text{р.ср}} \cos\theta_{\text{ср}} + P_{\text{н.ср}} \sin\theta_{\text{ср}}. \qquad (3.131)$$

При попутном пилении $\theta_{\text{ср}} > 90°$, $\cos\theta_{\text{ср}}$ отрицателен и сила в большинстве случаев является отрицательной, то есть затягивает распиливаемый материал на пилу (способствует подаче).

В этом случае:

$$P_x = -P_{\text{р.ср}} \cos\theta_{\text{ср}} + P_{\text{н.ср}} \sin\theta_{\text{ср}}. \qquad (3.132)$$

Сила P_y, перпендикулярная подаче при встречном пилении:

$$P_y = P_{\text{р.ср}} \sin\theta_{\text{ср}} - P_{\text{н.ср}} \cos\theta_{\text{ср}}. \qquad (3.133)$$

При надвигании дискового пильного рабочего органа на древесно-кустарниковую растительность сопротивление подаче можно определить, используя формулу [283]:

$$P = P_x + (m_m g \pm P_y) f_n, \qquad (3.134)$$

где m_m – масса рабочего оборудования, подаваемого гидроцилиндром, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; f_n – коэффициент сопротивления движения (телескопа, тележки по направляющим и т. п.).

Знак « + » используется при встречной подаче, « – » при попутной.

Силы сопротивления от зажима диска пилы

При использовании лесозаготовительных машин перед срезанием дерева его зажимают захватами для облегчения работы пилы и предотвращения зажима рабочего органа в пропиле. Валка леса бензопилами и кусторезами предусматривает использование толкающих средств и приспособлений (гидро-

клинья, нажимные балки, толкатели), что также исключает зажим пильного рабочего органа. Процесс пиления без использования толкающих средств и приспособлений (как в случае срезания кустарника с разветвленной кроной) характеризуется таким явлением, как зажим диска пилы стволом срезаемого куста или дерева. Наибольшее влияние при этом будет оказывать угол отклонения ствола дерева от вертикали ν и воздействие ветра [278]. Причем, если ствол наклонен в сторону от оси пилы, то зажима пильного диска не происходит. В этом случае облегчаются условия работы, снижается подача мощности на привод рабочего органа.

Влияние зажима цепного пильного рабочего органа на потребляемую мощность пиления рассмотрено в работе Р.М. Люманова [153]. Установлено, что при спиливании деревьев с корня и зажиме пилы происходит увеличение потребляемой мощности. В ЦНИИМЭ проведены исследования по влиянию силы тяжести спиливаемого дерева и изгибающего момента от осевой нагрузки в зоне пиления на величину удельной работы резания. Получены эмпирические зависимости для определения удельного сопротивления резанию K с учетом этих двух факторов. Однако уравнения эти относятся к пилению цепными пилами древесины ели и березы при установленных диаметрах пропила и не могут быть применимы в наших условиях.

В соответствии с вышеизложенным, рассмотрим пиление стволов дисковой пилой при воздействии на диск силы сопротивления от зажима [245].

Схема взаимодействия срезаемого ствола с дисковой пилой с учетом сопротивления зажима представлена на рис. 3.49. Зажим характеризуется воздействием торцевой поверхности ствола на диск пилы в точке В.

Определим силу сопротивления зажима диска пилы $P_з$, Н, составив сумму моментов всех сил относительно точки A и сделав допущение, что ствол – однородный стержень с центром тяжести в середине. Данное допущение достаточно правомерно, учитывая результаты исследований по определению центра тяжести древесно-кустарниковой растительности [121].

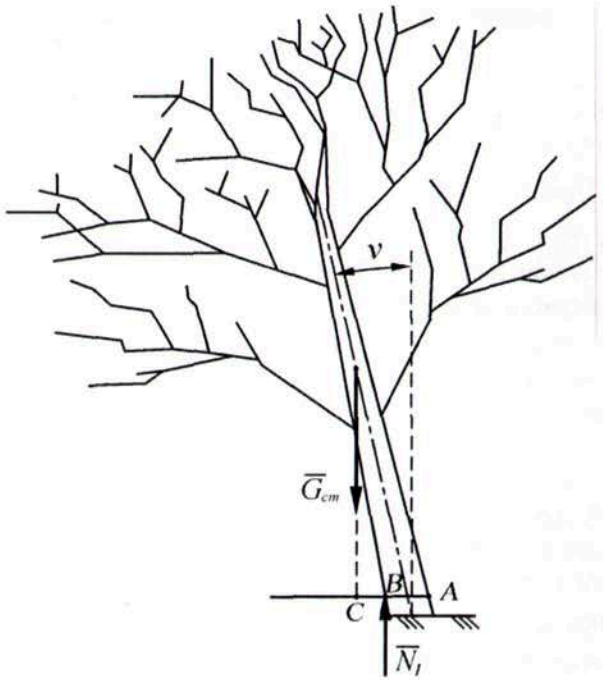


Рис. 3.49. Схема к определению силы сопротивления зажима диска пилы кусторeза

Учитывая, что максимальное воздействие сила $P_з$ будет оказывать при глубине пропила примерно равной величине AB (см. рис. 3.49), получим:

$$\sum M_A(P_i) = 0\,; \quad G_{ст} AC + N_1 AB = 0\,, \qquad (3.135)$$

где N_1 – нормальная реакция ствола на диск пилы в точке В, Н; AC – расстояние от точки поворота ствола при пропиле до проекции центра тяжести ствола на плоскость пилы, м; AB – величина максимальной глубины пропила (для конца пиления), м.

Пользуясь схемой (см. рис. 3.49), определим AC и AB.

$$AC \cong 0{,}5 l_{ст} \sin \nu + 0{,}5 d_{ст} / \cos \nu , \qquad (3.136)$$

$$AB \cong d_{ст} / \cos \nu , \qquad (3.137)$$

где $l_{ст}$ – высота ствола, м; ν – угол отклонения ствола от вертикали, град.

Подставив формулы (3.136) и (3.137) в выражение (3.135) и преобразовав его, получим:

$$N_1 = P_{з.max} = \frac{m_{ст} g}{2} \left(\frac{l_{ст} \cos \nu \sin \nu}{2 d_{ст}} + 1 \right). \qquad (3.138)$$

Зная размерные характеристики ствола и его массу, можно определить усилие зажима для конца пиления. Сила $P_з$ будет создавать тормозной момент $M_{т.з}$, величина которого определяется коэффициентом трения скольжения торца древесины о диск пилы $f_т$ и расстоянием r_B от оси вращения пилы до точки B. Необходимо учитывать величину торможения пилы от зажима при расчете мощности, подаваемой на привод рабочего органа наряду с мощностью, затрачиваемой на резание, то есть

$$M_{т.з} = P_з f_т r_B . \qquad (3.139)$$

Или

$$M_{т.з.max} = \frac{m_{ст} g f_т}{2} \left(\frac{l_{ст} \cos \nu \sin \nu}{2 d_{ст}} + 1 \right) r_B . \qquad (3.140)$$

Если производят одновременное спиливание нескольких стволов кустарника, то определяют сумму тормозных моментов от их воздействия на диск пилы.

Силы, возникающие при трении торцов срезанных стволов о диск пилы

Вертикальная нагрузка на пилу зависит от размеров и числа спиленных кустов, находящихся на диске пилы. Очевидно, что при появлении вертикальной нагрузки возникают силы трения по торцам срезанных ветвей и пней.

Величина силы трения $P_{тр}$ зависит от вертикальной нагрузки стволов на пилу $G_{ст}$ и площади взаимно перекрывающихся поверхностей пилы и древесины. Эти параметры изменяются в достаточно широких пределах и, в конечном итоге, зависят от линейного перемещения пилы по направлению движения трактора.

При известном количестве пней, одновременно находящихся в зоне резания, суммарный момент торможения, согласно исследованиям [88], можно определить по формуле:

$$M_{т.с} = \sum_{i=1}^{k} r_i P_{тр_i} , \qquad (3.141)$$

где k – количество стволов, находящихся на диске до сбрасывания; r_i – плечи сил трения относительно центра пилы, м (см. рис. 3.48); $P_{тр_i}$ – силы трения на отдельных пнях, Н.

3.1.3.5. Теоретическое обоснование направления падения ствола, срезанного рабочим органом дискового кусторeза

Процесс срезания кустарника дисковыми пилами обусловлен многими факторами: воздействием кустарника на пилу, процессом пиления, внешними воздействиями (например, ветра), формой режущих зубьев пил и т. д.

В нашем случае большой интерес представляет процесс взаимодействия спиленного ствола с диском пилы и направление падения его после спиливания с учетом всех фак-

торов. Теоретическое обоснование направления падения ствола необходимо для совершенствования конструкций кусторезов и решения вопроса о комплектовании их толкающими средствами и приспособлениями [254]. Установка толкающих устройств в ряде случаев малоэффективна, как, например, при срезании кустарника с шарообразной и конусообразной формой кроны (как у древесно-кустарниковой растительности, растущей вдоль оросительных каналов). Поэтому необходимо провести теоретические исследования падения срезанного кустарника с целью определения некоторых технических (направление вращения, подача) и технологических (выбор приемлемой технологической схемы движения кустореза) параметров, основываясь на законах теоретической механики [108, 288].

Схема сил, действующих на ствол дерева в момент начала его движения вместе с диском пилы, т. е. в момент окончания спиливания, представлена на рис. 3.50 (ось AZ ствола – вертикальная).

В процессе спиливания ствол нижним торцом опирается на вращающийся горизонтальный диск пилы и за счет силы трения между торцом ствола и металлической поверхностью горизонтального диска увлекается во вращательное движение относительно оси Z_1 диска. При этом окружная скорость точки A торца ствола за весьма малый промежуток времени Δt изменяется от нуля до окружной скорости, соответствующей точке A диска ($\overline{V}'_A$), которая при постоянной частоте его вращения определяется по формуле:

$$\overline{V}'_A = \omega_п OA, \qquad (3.142)$$

где $\omega_п$ – угловая скорость вращения диска пилы, $с^{-1}$; OA – расстояние от центра вращения диска пилы до опорной поверхности торца спиленного ствола с центром в точке A, м.

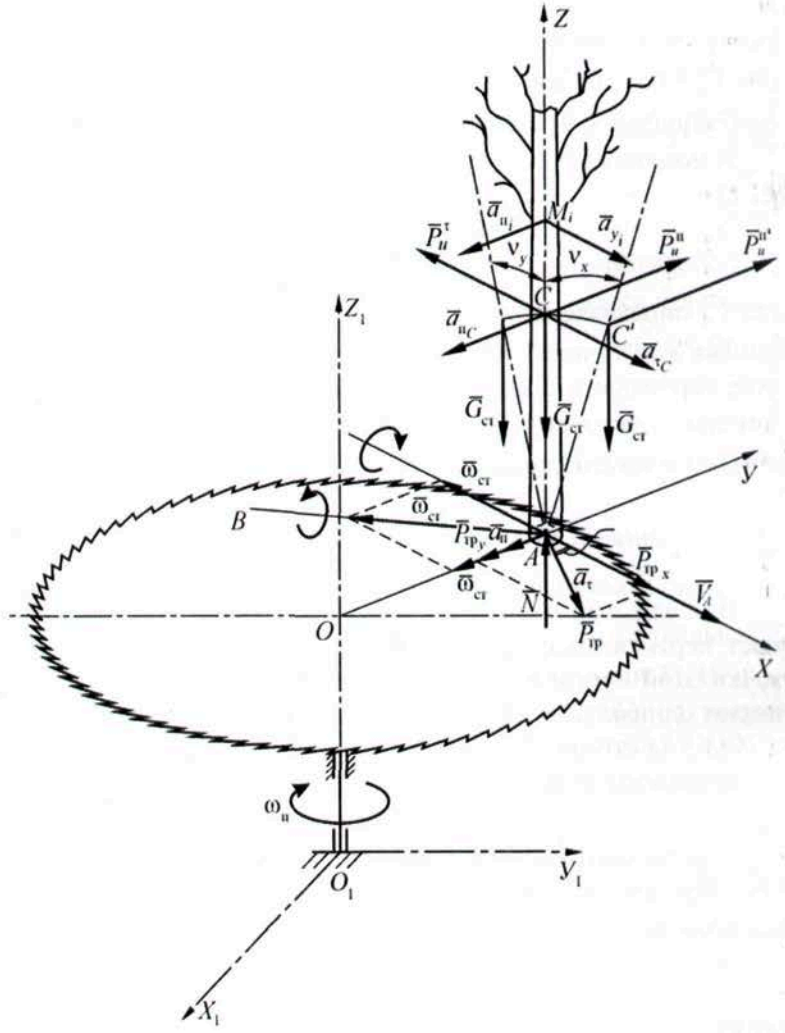


Рис. 3.50. Схема взаимодействия срезанного ствола с диском пилы

В это время на ствол действует система постоянных сил, под действием которых точка A будет двигаться равноускоренно, и ее скорость определится по формуле:

$$\overline{V}_A = \overline{V}_0 + \overline{a}_\tau t\,, \qquad (3.143)$$

где $\overline{V}_0 = 0$ – начальная окружная скорость точки A, м/с; $\overline{a}_\tau$ – тангенциальное ускорение точки A, м/с^2; t – время, с.

В момент времени $t = \Delta t$, $\overline{V}_A = \overline{a}_\tau \Delta t$. Тогда

$$\overline{a}_\tau = \overline{V}_A / \Delta t\,, \qquad (3.144)$$

где $\overline{V}_A$ определяется по формуле (3.142).

Так как точка A в это время движется криволинейно (по дуге окружности OA), у нее появится нормальное центростремительное ускорение $\overline{a}_n$, направленное от точки A к точке O, которое в момент времени $t = \Delta t$ составит:

$$\overline{a}_n = \overline{V}_A^2 / OA\,. \qquad (3.145)$$

В начальный момент времени ($t = 0$) ось AZ ствола занимает вертикальное положение. Поэтому принимаем, что все точки этой оси, в том числе и центр масс ствола (точка C), имеют одинаковые ускорения, равные ускорениям точки A.

$$\overline{a}_{\tau_i} = \overline{a}_{\tau_C} = \overline{a}_\tau\,; \quad \overline{a}_{n_i} = \overline{a}_{n_C} = \overline{a}_n\,. \qquad (3.146)$$

В результате этого каждая материальная точка ствола будет обладать касательной и нормальной силами инерции (с массами m_i):

$$\overline{P}^\tau_{u_i} = -m_i \overline{a}_{\tau_i}\,; \quad P^\tau_{u_i} = -m_i a_{\tau_i}\,; \qquad (3.147)$$

$$\overline{P}^n_{u_i} = -m_i \overline{a}_{n_i}\,; \quad P^n_{u_i} = m_i a_{n_i}\,. \qquad (3.148)$$

Силы инерции всех материальных точек ствола приводим к двум составляющим главного вектора сил инерции –

касательной $\overline{P}^\tau_u$ и нормальной $\overline{P}^n_u$ силам инерции, равным по модулю:

$$P^\tau_u = m_{ст} a_\tau = m_{ст} V_A / \Delta t\,; \qquad (3.149)$$

$$P^n_u = m_{ст} a_n = m_{ст} V_A^2 / OA\,, \qquad (3.150)$$

приложенным в точке C и направленным противоположно векторам $\overline{a}_{\tau_C}$ и $\overline{a}_{n_C}$ (см. рис. 3.50), где $m_{ст}$ – масса ствола, кг.

Применим к системе сил, приложенных к стволу, принцип Даланбера:

$$\overline{G}_{ст} + \overline{N} + \overline{P'}_{тр_X} + \overline{P'}_{тр_Y} + \overline{P}^\tau_u + \overline{P}^n_u = 0\,, \qquad (3.151)$$

где $\overline{G}_{ст}$ – вес ствола, Н; $\overline{N}$ – нормальная реакция ствола на диск пилы, Н; $\overline{P'}_{тр_X}$ – тангенциальная составляющая силы сцепления (направленная по оси X), Н; $\overline{P'}_{тр_Y}$ – радиальная составляющая силы сцепления (направленная по оси Y), Н.

Спроецируем векторное уравнение (3.151) на координатные оси подвижной прямоугольной системы ($AXYZ$) с началом в точке A (диск пилы расположен горизонтально, см. рис. 3.50):

$$\text{ось } AX: \quad \overline{P'}_{тр_X} - P^\tau_u = 0\,; \qquad (3.152)$$

$$\text{ось } AY: \quad P^n_u - \overline{P'}_{тр_Y} = 0\,; \qquad (3.153)$$

$$\text{ось } AZ: \quad N - G_{ст} = 0\,. \qquad (3.154)$$

Тогда $N = G_{ст} = m_{ст} g$, где g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Так как сила трения с учетом коэффициента трения $f_{сц}$ определяется по выражению:

$$P'_{\text{тр}} = f_{\text{сц}} N\,, \qquad (3.155)$$

тогда

$$P'_{\text{тр}_X} = f_{\text{сц}}\, m_{\text{ст}}\, g\, \cos\xi\,; \qquad (3.156)$$

$$\overline{P'}_{\text{тр}_Y} = f_{\text{сц}}\, m_{\text{ст}}\, g\, \sin\xi\,. \qquad (3.157)$$

Из рис. 3.50 следует, что угол ξ равен

$$\xi = \arcsin\left(\frac{\omega^2 OA}{f_{\text{сц}} g}\right). \qquad (3.158)$$

Раскроем уравнение (3.152):

$$f_{\text{сц}}\, m_{\text{ст}}\, g\, \cos\xi - m_{\text{ст}} V_A / \Delta t = 0\,. \qquad (3.159)$$

Откуда

$$\Delta t = V_A /(f_{\text{сц}} g \cos\xi)\,, \qquad (3.160)$$

где Δt – время, в течение которого скорость точки A торца ствола изменяется от 0 до $V_A = \omega OA$.

Тогда

$$\Delta t = \omega\, OA /(f_{\text{сц}} g \cos\xi)\,. \qquad (3.161)$$

Подставляя в формулу (3.144) значение $V_A = V'_A$ и Δt из выражения (3.161), получим:

$$a_{\tau} = f_{\text{сц}} g \cos\xi = \text{const}\,. \qquad (3.162)$$

В момент времени $t > \Delta t$ допускаем, что проскальзывание точки A торца ствола по диску прекращается, т. е. $V_A = V'_A$, следовательно:

$$a_{\tau} = dV_A / dt\,, \qquad (3.163)$$

Принимаем, что с этого момента прекращается действие силы инерции P_u^{τ}, равной:

$$P_u^{\tau} = m_{\text{ст}} a_{\text{ф}} = 0\,. \qquad (3.164)$$

Дальнейшее движение ствола рассмотрим как сложное, состоящее из его вращения вместе с диском пилы вокруг подвижной оси Z_1, и переносное движение относительно подвижных осей X и Y.

Дифференциальные уравнения вращения ствола относительно осей X и Y:

$$J_X \frac{d\omega_{\text{ст}_X}}{dt} = \sum M_X(\overline{P}_i)\,, \qquad (3.165)$$

$$J_Y \frac{d\omega_{\text{ст}_Y}}{dt} = \sum M_Y(\overline{P}_i)\,, \qquad (3.166)$$

где J_X и J_Y – моменты инерции ствола относительно осей X и $У$, Н·м^2; $\omega_{\text{ст}_X}$ и $\omega_{\text{ст}_Y}$ – угловые скорости вращения ствола относительно осей, с$^{-1}$; $\sum M_X(\overline{P}_i)$ и $\sum M_Y(\overline{P}_i)$ – алгебраические суммы моментов всех действующих на ствол сил относительно осей X и Y.

Учитывая исследования о центре тяжести надземной части древесно-кустарниковой растительности [121], в качестве допущения принимаем ствол за однородный прямолинейный стержень массой $m_{\text{ст}}$ и высотой $2l_{\text{ц}}$. Тогда расстояние от центра масс ствола (точка C) до осей поворота $AC = l_{\text{ц}}$, м.

Следовательно, моменты инерции можно определить по формуле:

$$J_X = J_y = \frac{m_{ст}(2l_ц)^2}{3} = \frac{4m_{ст}l_ц^2}{3}. \qquad (3.167)$$

Принимаем моменты сил положительными при повороте ствола относительно оси по часовой стрелке и отрицательными – против хода часовой стрелки.

Отклоним ось AZ ствола на угол ν_y в радиальной плоскости YAZ и на угол ν_X в тангенциальной плоскости XAZ, покажем силы и распишем уравнения (3.165) и (3.166):

Относительно оси X:

$$\frac{4m_{ст}l_ц^2}{3}\frac{d\omega_{ст_X}}{dt} = P_u^{n'}l_ц\cos\nu_y + G_{ст}l_ц\sin\nu_y. \qquad (3.168)$$

Подставим значения $P_u^{n'}$ и G_{cm} в формулу (3.168) и преобразуем ее:

$$\int_0^{\omega_X}\omega_{ст_X}d\omega_{ст_X} = \frac{3}{4l_ц}\int_0^{\nu_y}\left(\omega_n^2\,OA\cos\nu_y + g\sin\nu_y\right)d\nu_y. \qquad (3.169)$$

После интегрирования (с учетом, что $l_{ст} = 2l_ц$) имеем:

$$\omega_{ст_x} = \sqrt{\frac{3}{l_{ст}}\left(\omega_n^2 OA\sin\nu_y + g(1-\cos\nu_y\right)}, \qquad (3.170)$$

Относительно оси Y:

$$\frac{4m_{ст}l_ц^2 d\omega_{ст_Y}}{3dt} = G_{ст}l_ц\sin\nu_X = m_{ст}gl_ц\sin\nu_X, \qquad (3.171)$$

$$\frac{d\omega_y}{dt} = \frac{3}{4l_ц}g\sin\nu_X. \qquad (3.172)$$

С учетом замены переменной получим:

$$\int_0^{\omega_Y}\omega_{ст_y}d\omega_{ст_y} = \frac{3g}{4l_ц}\int_0^{\nu_X}\sin\nu_X d\nu_X. \qquad (3.173)$$

После интегрирования окончательно имеем:

$$\omega_{ст_y} = \sqrt{\frac{3g}{l_{ст}}\left(1-\cos\nu_X\right)}, \qquad (3.174)$$

Проведенный анализ относительного движения ствола показывает, что это движение представляет собой сложение двух вращений ствола относительно пересекающихся осей X и $У$:

$$\overline{\omega}_{ст} = \overline{\omega}_{ст_X} + \overline{\omega}_{ст_y}, \qquad (3.175)$$

Геометрическое сложение векторов $\overline{\omega}_{ст_X}$ и $\overline{\omega}_{ст_y}$ дает вектор $\overline{\omega}_{ст}$ абсолютной угловой скорости вращения ствола относительно его мгновенной оси вращения (ось AB).

Таким образом, теоретический анализ взаимодействия срезанного ствола с диском пилы показывает, что при вращении дисковой пилы по часовой стрелке (при расположении пилы справа от трактора и движении вперед) срезанная древесно-кустарниковая растительность будет отбрасываться в сторону от трактора. Если же поменять направление вращения, то работа кусторeза будет сопровождаться частыми задержками на отъезд машины назад и объезд препятствия в виде срезанных кустов или же на остановку машины и отбрасывание срезанной растительности вручную.

Полученные зависимости позволяют раскрыть характер взаимодействия дисковых пильных рабочих органов со стволами срезанной растительности, а также выявить влияние размерных характеристик растительности и частот вращения пил на направление падения срезанных стволов.

Данные зависимости могут быть использованы при проектировании кусторезов, в частности, при определении рабочей зоны резания дисковых пил.

Кроме того, направление падения срезанных стволов важно с позиции разработки технологических схем движения машин и должно обязательно учитываться при работе кусторезов.

3.1.3.6. Определение мощности, подаваемой на привод кусторeза с дисковым рабочим органом

Потребную мощность процесса работы кусторeза при срезании древесно-кустарниковой растительности $N_{куст}$, Вт, можно определить на основании рациональной формулы В.П. Горячкина [95] и зависимостей, используемых для расчета мощности круглопильных станков [40, 55], с учетом тормозных моментов при зажиме рабочего органа и трения срезанных стволов о диск пилы:

$$N_{куст} = N_р + N_и + N_з + N_{тр} + N_{тр.п}, \qquad (3.176)$$

где $N_р$ – мощность, затрачиваемая на резание стволов, Вт; $N_и$ – мощность на перемещение машины или на подачу тележки с рабочим оборудованием, Вт; $N_з$ – мощность на преодоление тормозного момента от зажима диска пилы (учитывается при наклоне стволов в радиальной плоскости к вертикальной оси вращения пилы, см. рис. 3.49), Вт; $N_{тр}$ – мощность на трение срезанных стволов, находящихся на диске до сбрасывания, Вт; $N_{тр.п}$ – мощность на трение в передачах, Вт.

Мощность, потребляемую на резание, определяют по формуле [265, 283]:

$$N_р = \frac{P_р l_к v}{t_з}. \qquad (3.177)$$

Ввиду незначительного уклона проезжей части на берме канала (i = 0,003...0,02), мощность $N_и$, Вт, затрачиваемая на преодоление горизонтальной составляющей силы резания P_x составит:

$$N_и = \frac{P_x u}{60}. \qquad (3.178)$$

Остальные составляющие определяют по следующим зависимостям:

$$N_з = M_{т.з}\omega_п, \qquad (3.179)$$

$$N_{тр} = M_{т.с}\omega_п, \qquad (3.180)$$

$$N_{тр.п} = N_р(1-\eta), \qquad (3.181)$$

где η – КПД передач.

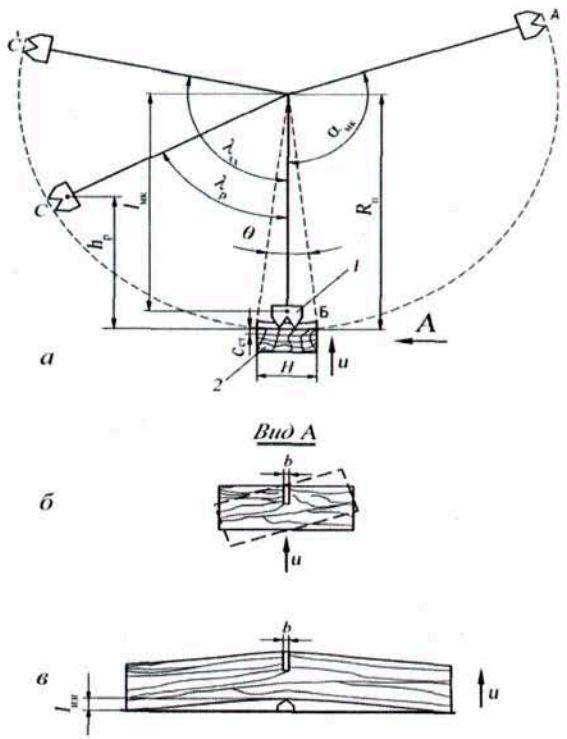
Анализируя выражение (3.176), можно отметить, что наибольшими значениями будут обладать мощности, затрачиваемые на резание и на преодоление тормозного момента от зажима диска пилы. Зажим диска пилы обусловлен многими факторами, рассмотренными ранее, и максимальное значение тормозного момента можно рассчитать по формуле (3.140), учитывающей размерные характеристики древесно-кустарниковой растительности. Определение мощности, потребляемой на резание $N_р$, сопряжено с трудностью точного определения удельного сопротивления резанию при пилении K.

3.1.3.7. Имитационная энергетическая модель процесса резания древесины с использованием маятника

Анализируя процесс поперечной распиловки древесины и учитывая, что скорость резания в данном случае не оказывает влияния на силу резания [68, 84, 120], можно смоделировать процесс резания круглыми пилами с использованием маятника. С помощью данной модели можно определять такие важ-

нейшие параметры, как усилие резания и удельное сопротивление резанию при поперечном пилении [29, 248].

Схема взаимодействия маятника с древесиной представлена на рис. 3.51. В начале испытания маятник *1* поднимают вручную на угол $б_{мк}$ в верхнее исходное положение *A* и удерживают в этом положении защелкой. Исследуемый образец древесины *2* помещают в основании маятникого копра. Конструкция крепления образцов должна обеспечивать перемещение их в вертикальной плоскости для задания толщины срезаемого слоя.



а

б

в

Рис. 3.51. Схема резания древесины маятником:
а – схема пиления маятником;
б – поперечное и смешанное пиление;
в – пиление напряженной древесины

При использовании наклона образцов (рис. 3.51, *б*) изменяется ориентация пропила относительно волокон (что важно для работы кустореза на откосах каналов). Кроме того, на стенде можно моделировать напряженное состояние пиления древесины за счет изгибания образцов на задаваемый угол (рис. 3.51, *в*), что характерно для кусторезов, использующих толкающие средства и приспособления.

После спуска защелки молот маятника с жестко закрепленным пильным рабочим органом свободно падает, проходит через точку Б, где находится испытуемый образец древесины (осуществляя срезание определенного слоя), и взлетает на некоторый угол $л_р$, поднимаясь на высоту $h_р$, соответствующую положению *C*. При холостом ходе, без срезания слоя древесины, маятник взлетит на угол $\lambda_{хх}$ (положение C'). Работу маятника при срезании слоя древесины $A_{мк}$ можно определить по формуле [276]:

$$A_{мк} = G_{мк} l_{мк} (\cos\lambda_р - \cos\lambda_{хх}), \qquad (3.182)$$

где $G_{мк}$ – вес маятника, Н; $l_{мк}$ – длина маятника, м; $\lambda_р$ – угол подъема маятника при рабочем ходе, град.; $\lambda_{хх}$ – угол подъема маятника при холостом ходе, град.

При отделении стружки длиной $l_к$, м, маятник затрачивает работу $A_р$, Дж, равную:

$$A_р = l_к P_р = l_к K b c_{ст}, \qquad (3.183)$$

где K – удельное сопротивление резанию при пилении, Н/мм^2; b – ширина пропила, мм; $c_{ст}$ – толщина срезаемого слоя, мм.

Рассмотрим связь толщины срезаемого слоя при пилении круглыми пилами с подачей на зуб u_z. Скорость резания v во много раз превосходит скорость подачи дисковой пилы u, и

траекторию движения зуба пилы условно можно принять равной траектории окружности.

Если осуществляется пиление по радиусу при $\theta_{ср} = 90^{o}$, толщину стружки можно принять равной подаче на зуб.

Так как $A_{мк} = A_{р}$, то

$$P_{р} = \frac{G_{мк} l_{мк} \left(\cos\lambda_{р} - \cos\lambda_{хх}\right)}{l_{к}}. \qquad (3.184)$$

С учетом зависимости для определения длины дуги контакта зуба с древесиной $l_{мк}$ получим:

$$P_{р} = \frac{360 G_{мк} l_{мк} \left(\cos\lambda_{р} - \cos\lambda_{хх}\right)}{2\pi\theta_{u} R_{п}}. \qquad (3.185)$$

Удельное сопротивление резанию при пилении, с учетом формулы (3.32):

$$K = \frac{360 G_{мк} l_{мк} \left(\cos\lambda_{р} - \cos\lambda_{хх}\right)}{2\pi b c_{ст} \theta_{u} R_{п}}. \qquad (3.186)$$

Таким образом, разработанная имитационная модель может быть использована при экспериментальном определении величин K и $P_{р}$ и назначении оптимальных углов и режимов пиления кусторезов.

3.1.3.8. Обоснование рациональных параметров кусторезов с дисковым рабочим органом

Для обоснования рациональных параметров кустореза с дисковым пильным рабочим органом необходимо провести анализ влияния различных факторов на процесс пиления.

1. *Диаметр пилы*. Диаметр пильного рабочего органа выбирают, исходя из условий работы и прочностных расче-

тов пильного вала. При срезании кустарниковой растительности необходимо исходить из обеспечения максимальной производительности. В этом случае лучше применять пилы диаметром 1000, 1250, 1500 мм (выпускаемые промышленностью) с учетом условий прочности. Диаметр пилы оказывает влияние на расход энергии. С увеличением диаметра пил при неизменном числе оборотов пильного вала и прочих равных условиях увеличиваются скорость резания, кинематический угол встречи, толщина стружки, мощность, расходуемая на резание, удельное сопротивление резанию и усилия резания и подачи [290]. Поэтому, применяя пилы с большим диаметром, необходимо изменять частоту вращения пилы.

2. *Линейные и угловые величины зубьев пил*. Количество зубьев на пиле (z) оказывает влияние как на величину энергозатрат, так и на качество поверхности распила. При поперечной распиловке уменьшение числа зубьев вызывает увеличение удельной работы резания (численно равной удельному сопротивлению резанию K). Поэтому необходимо отдавать приоритет выбору пил с большим количеством зубьев.

Влияние основных угловых параметров на процесс пиления было рассмотрено ранее. Отметим только, что от выбора угловых параметров пил зависит величина энергозатрат и условия пиления. Поэтому необходимо ответственно подходить к заточке зубьев пил и выдерживанию требуемых угловых параметров. В случае неравномерной заточки возможен увод пилы в сторону.

3. *Подача на зуб*. Величину подачи на зуб u_{z}, или количество древесины, приходящееся на один зуб пилы в процессе пиления, можно определить по формуле (1.3).

От величины подачи на зуб зависит величина энергозатрат и качество поверхности распиловки. Установлено [84, 120], что с увеличением подачи на зуб (при малых значениях u_{z}) при постоянной скорости резания удельная работа резания уменьшается как при продольной, так и при поперечной распиловке.

При этом мощность, расходуемая на резание, увеличивается медленнее, чем скорость подачи. Все составляющие усилия резания с увеличением подачи на зуб возрастают.

В деревообработке, где зачастую главным критерием является чистота поверхности, рекомендуется работать с малыми подачами на зуб. Однако, приняв во внимание снижение величины удельной работы резания и учитывая, что подача на зуб напрямую связана со скоростью подачи, а, следовательно, оказывает влияние на производительность при срезании древесно-кустарниковой растительности, необходимо назначать как можно большие величины u_z, что может быть достигнуто:

- уменьшением числа оборотов пильного вала (скорости резания) при постоянном числе зубьев, постоянной или непропорционально увеличиваемой скорости подачи;
- применением пил с малым количеством зубьев;
- увеличением скорости подачи при постоянной скорости резания.

4. *Ширина пропила*. Данная величина определяется толщиной пилы и уширением пропила. Для пил поперечной распиловки с целью уширения пропила применяют развод зубьев.

Увеличение ширины пропила приводит к снижению удельной работы резания. Данные для выбора удельного сопротивления резанию K (при определенной ширине пропила) и величины подачи на зуб приведены в справочной литературе [40, 69, 152, 221, 243].

5. *Скорость резания и частота вращения пил*. Это два физически различных, но количественно взаимосвязанных параметра. Возможность увеличения первого параметра ограничивается работоспособностью зубьев пилы, а второго – работоспособностью ее диска [264]. Исходя из потери работоспособности зубьев пил в связи с повышенным износом при большом нагреве не рекомендуется скорость вращения увеличивать более 60...65 м/с [273]. Однако для пил большого диаметра и пониженных толщин наиболее характерно

ограничение по частоте вращения из-за уменьшения изгибной жесткости [264]. Частота вращения пилы не должна превышать максимально допустимой величины ($0{,}85n_{кр}^{max}$), определенной исходя из обеспечения работоспособности диска. Величины максимально допустимых частот вращения регламентированы руководящими техническими материалами [227].

Максимально допустимые и универсальные (обеспечивающие достаточно высокий уровень изгибной жесткости диска) частоты и скорости вращения для пил диаметром 800–1000 мм приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Рекомендуемые частоты и скорости вращения круглых пил

Диаметр пилы, мм	Расчетный диаметр пилы, мм	Диаметр зажимных фланцев, мм	Толщина пилы, мм	Частоты и скорости вращения			
				максимально допустимые		универсальные	
				мин$^{-1}$	м/с	мин$^{-1}$	м/с
800	774	160	2,8	1250	52	835	35
			3,0	1350	56	895	37
			3,2	1450	61	954	40
			3,6	1650	69	1073	45
900	871	200	3,2	1200	56	748	35
			3,6	1350	64	841	40
			4,0	1500	71	935	44
1000	967	200	3,6	1050	55	687	36
			4,0	1150	60	763	40
			4,5	1300	68	859	45
1250	1209	240	4,5	800	52	544	36
			5,0	900	59	605	40
1500	1451	300	5,0	650	51	422	33
			5,5	700	55	464	36

3.1.3.9. Производительность кусторезов при работе на каналах

Важными задачами эксплуатации любой техники являются повышение эффективности ее использования и получение экономического эффекта. Достичь этого можно путем увеличения производительности.

Как известно, производительность машины, механизма, станка, поточной линии – это количество продукции, полученной или перемещенной за единицу времени T (минуту, час, смену и т. д.) [93, 283].

Производительность машин зависит от принципа и условий их работы, а также от последовательности выполнения технологического процесса. На выпуск какой-либо продукции с использованием машин циклического действия необходимо затратить некоторое время, которое в сумме составляет рабочий цикл. Время цикла $t_{ц}$ включает время непосредственного перемещения или обработки единицы продукции $t_{р}$, время, затрачиваемое на холостые ходы $t_{х}$ и время вспомогательных операций $t_{в}$ [93]:

$$t_{ц} = t_{р} + t_{х} + t_{в}. \qquad (3.187)$$

Кроме того, при работе оборудования затрачивается время $t_{д}$ на выполнение операций, не связанных непосредственно с циклом перемещения или обработки продукции. Оно обусловлено конструктивными и технологическими особенностями работы оборудования.

Рассмотрим производительность разработанных нами кусторезов.

Производительность кусторезов при работе на каналах целесообразно измерять в гектарах обработанной площади – га/ч, га/см.

Если срезается травяная растительность, мелкий кустарник и подача рабочего органа производится движением машины,

то теоретическую производительность можно определить по формуле [218]:

$$П_{т_1} = 0{,}1Bu_{т} = 0{,}1D_{п}u_{т}, \qquad (3.188)$$

где $B = D_{п}$ – конструктивная ширина захвата, равная диаметру пилы, м; $u_{т}$ – теоретическая скорость движения трактора, км/ч.

Аналогично можно рассчитать теоретическую производительность телескопического оборудования кусторeза, подставляя в формулу (3.188) вместо теоретической скорости движения трактора теоретическую скорость движения телескопа.

Теоретическая производительность маятникового кусторeза, с учетом схемы, представленной на рис. 3.44, может быть определена следующим образом [244].

Площадь поверхности $S_{оч}$, на которой может быть срезана кустарниковая растительность при повороте маятниковой стрелы на угол б, рассчитывают по формуле:

$$S_{оч} = S^{\alpha}_{r_д} - S^{\alpha}_{r_н} + \pi r_{п}^2, \qquad (3.189)$$

где $S^{\alpha}_{r_д}$, $S^{\alpha}_{r_н}$ – площади секторов с центральными углами б и образованными соответствующими радиусами $r_{д}$ и $r_{н}$, м².

Определим $S^{\alpha}_{r_д}$ и $S^{\alpha}_{r_н}$:

$$S^{\alpha}_{r_д} = \frac{\pi r_{д}^2}{360}\alpha = \frac{\alpha\pi(l_{м} + r_{п})^2}{360}, \qquad (3.190)$$

$$S^{\alpha}_{r_н} = \frac{\pi r_{н}^2}{360}\alpha = \frac{\alpha\pi(l_{м} - r_{п})^2}{360}, \qquad (3.191)$$

где $r_{д}$ и $r_{н}$ – радиусы доступной и недоступной зон, м, $r_{д} = l_{м} + r_{п}$, $r_{н} = l_{м} - r_{п}$.

Подставив в уравнение (3.189) выражения (3.190) и (3.191), получим:

$$S_{оч} = \frac{\pi\left\{\alpha\left[(l_м + r_п)^2 - (l_м - r_п)^2\right] + 360 r_п^2\right\}}{360}. \qquad (3.192)$$

Затем определим время, необходимое для срезки кустарника на площади $S_{оч}$, т. е. временной интервал, за который стрела маятникового кусторeза повернется на угол захвата б :

$$t_{оч} = \frac{\alpha}{\omega_м} = \frac{2\pi\alpha(r_п + l_м)}{u_z z \omega_п}. \qquad (3.193)$$

Тогда теоретическую производительность маятникового кусторeза можно рассчитать по формуле:

$$П_{т2} = \frac{3600}{t_{оч}} S_{оч}, \qquad (3.194)$$

Подставим выражения (3.192) и (3.193) в формулу (3.194) и преобразуем ее:

$$П_{т_2} = \frac{5 u_z z \omega_п \left\{\alpha\left[(l_м + r_п)^2 - (l_м - r_п)^2\right] + 360 r_п^2\right\}}{\alpha(r_п + l_м)}. \qquad (3.195)$$

При определении эксплуатационной производительности тракторного агрегата необходимо учитывать изменения теоретической скорости движения, а также условий использования конструктивной ширины захвата и рабочего времени.

Эксплуатационная производительность за 1 ч работы $П_{э.ч}$, га/ч:

$$П_{э.ч} = 0{,}1 D_п k_з u_т k_и (k_t - n_п t_п / 60), \qquad (3.196)$$

где $k_з$ – коэффициент использования конструктивной ширины захвата; $k_и$ – коэффициент использования теоретической скорости движения; k_t – коэффициент использования времени; $n_п$ – число поворотов и переездов кусторeза в конце обрабатываемого участка канала; $t_п$ – время, затрачиваемое на 1 поворот или переезд, мин.

Эксплуатационная производительность за смену $П_{э.см}$, га:

$$П_{э.см} = 0{,}1 D_п k_з u_т k_и (T_{см} k_t - n_п t_п / 60), \qquad (3.197)$$

где $T_{см}$ – число часов работы кусторeза за смену.

Коэффициент использования ширины захвата имеет различные значения. Так, по исследованиям ЦНИИМЭСХ [218], при разработке закустаренных участков машинами МПГ-1,7 он составляет 0,94.

Обоснуем величину коэффициента использования ширины захвата для кусторезов с активными рабочими органами. При использовании кусторeза в процессе срезания мелкорослого кустарника и травяной растительности рабочий орган может работать всей своей плоскостью. Однако необходимо учитывать величину перекрытия между гонами машины. В этом случае коэффициент использования ширины захвата $k_з$ можно определить по формуле:

$$k_з = S_{оч} / (D_п L_г), \qquad (3.198)$$

где $S_{оч}$ – площадь, очищенная кусторезом, м^2; $L_г$ – длина гона, м.

Рассмотрим производительность кусторeза при срезании крупных стволов диаметром более 8 см. Процесс срезания в этом случае осуществляется прямолинейной подачей рабочего органа к стволу после остановки базовой машины.

Для учета всех факторов, влияющих на процесс резания, целесообразно ввести время цикла $t_ц$, затрачиваемое на обработку определенной площади.

Опираясь на теоретические исследования К.Ф. Гороховского [93], сменную производительность кустореза $П_{э.см}$ с учетом условий работы можно определить по формуле:

$$П_{э.см} = 0{,}1 D_п k_{эф.исп} L_г \frac{T_{см} - t_п - t_т - t_о - t_л}{(t_{р_1} + t_{в_1} + t_{р_2} + t_х + t_{в_2}) n_{к.с} + t_д / n_ц}, \quad (3.199)$$

где $t_п$ – время, отведенное на регламентированные простои, включающее подготовительно-заключительное время и время отдыха обслуживающего персонала, ч; $t_т$ – время простоя при устранении неисправностей оборудования, ч; $t_о$ – время организационных простоев из-за отсутствия обрабатываемой площади, несвоевременной уборки срезанного кустарника (затрудняющего дальнейшую работу), необеспеченности обслуживающим персоналом и т. п., ч; $t_л$ – простои, связанные с невозможностью работы кустореза из-за наличия больших деревьев или посторонних предметов (т. е. с отклонением объема работ от необходимых параметров), ч; $t_{р_1}$ – время работы кустореза при движении от одного крупного ствола к другому (при этом подача осуществляется движением трактора, срезается мелкий кустарник и травяная растительность), ч; $t_{р_2}$ – время на срезание одного или нескольких крупных стволов после остановки машины, ч; $t_{в_1}$ и $t_{в_2}$ – время, затрачиваемое на включение и выключение рычагов механизмов, ч; $t_х$ – время обратного хода рабочего оборудования (телескопа или маятника), ч; $n_{к.с}$ – количество остановок кустореза для срезания крупных стволов; $t_д$ – время выполнения одной внецикловой операции, включающее перебазирование машины с места на место, замену режущего инструмента, переналадку оборудования и т. д., ч; $n_ц$ – число внецикловых операций; $k_{эф.исп}$ – коэффициент эффективного использования пилы; $L_г$ – длина гона, км.

Если ввести коэффициент, учитывающий использование времени смены:

$$k_{в.см} = \frac{T_{см} - t_п - t_т - t_о - t_л}{(t_{р_1} + t_{в_1} + t_{р_2} + t_х + t_{в_2}) n_{к.с} + t_д / n_ц}, \quad (3.200)$$

то формулу (3.199) можно записать в следующем виде:

$$П_{э.см} = 0{,}1 D_п k_{эф.исп} L_г k_{в.см}. \quad (3.201)$$

Применение коэффициента эффективного использования дисковой пилы обусловлено тем, что, как правило, дисковая пила имеет участки, которые при срезании крупных стволов затруднительно или практически невозможно задействовать.

Как следует из схемы, представленной на рис. 3.52, диск пилы по диаметру можно разбить на 3 зоны:

I зона ($a_{отч}$) – срезание крупного кустарника здесь невозможно вследствие перекрытия этой зоны стрелой, приводом рабочего органа и кожухом;

II зона ($a_{м.исп}$) – срезание крупного кустарника в этой зоне затруднено, вследствие того, что в процессе работы срезанные стволы удаляются с диска пилы не полностью (т. Е. не отбрасываются за пределы зоны резания). Работа этой частью пилы сопровождается задержками на отбрасывание срезанного кустарника после остановки пильного рабочего органа или же на объезд срезанного ствола;

III зона ($a_{эф.исп}$) – зона эффективного использования пилы.

Учитывая данные условия работы пилы, мы считаем целесообразным коэффициент эффективного использования пилы $k_{эф.исп}$ определять по формуле:

$$k_{эф.исп} = (a_{эф.исп} + 0{,}6...0{,}7 a_{м.исп}) / D_п. \quad (3.202)$$

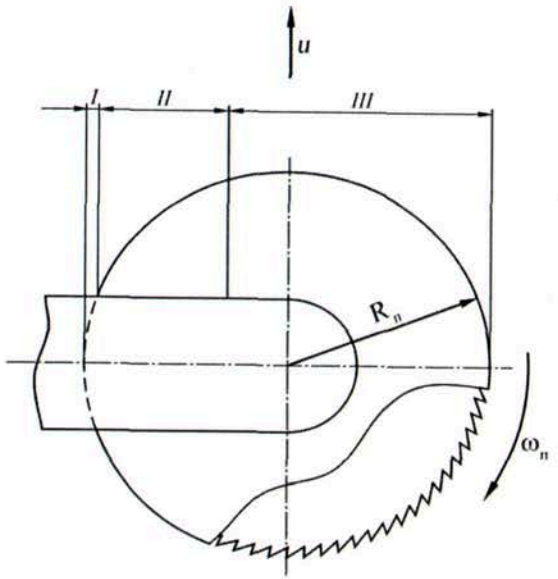


Рис. 3.52. Схема к обоснованию коэффициента эффективного использования пилы

Более точно численные значения коэффициента $k_{эф.исп}$ определяются экспериментальным путем. В качестве допущения можно отметить, что данная формула применима для определения $k_{эф.исп}$ при срезании крупного кустарника и мелколесья без использования толкающих средств и приспособлений.

3.2. Разработка технических средств для сбора и погрузки срезанной древесно-кустарниковой растительности

3.2.1. Конструкция универсального подборщика-собирателя

Обеспечить хозяйственное использование удаляемой на каналах древесины невозможно без применения эффективной техники для сбора срезанной древесно-кустарниковой расти-

тельности. Машина для выполнения данного вида работ должна не только обладать высокой производительностью, снижать степень загрязнения древесно-кустарниковой массы грунтом и обеспечивать наиболее полную очистку канала от срезанного кустарника, но и прежде всего отвечать специфике работ, выполняемых на каналах.

Сбор срезанного кустарника и мелколесья является наиболее трудоемкой операцией. Разработка и проектирование технических средств для сбора и погрузки удаляемой древесины представляет собой достаточно сложную задачу, так как при этом необходимо учитывать широкий диапазон характеристик древесно-кустарниковой растительности.

Особенность выполняемых на каналах работ заключается в том, что необходимо как очищать от срезанной растительности берму канала, так и извлекать отдельные кусты из его русла. Выполнение столь разных по своему характеру работ каким-либо одним универсальным рабочим органом будет малоэффективно, что обусловливает необходимость создания как минимум двух принципиально разных устройств, наиболее адаптированных для каждого вида работ. Кроме того, учитывая необходимость рационального использования средств, выделяемых на развитие мелиорации, целесообразной представляется разработка данных устройств в виде комплекта двух легкосъемных и недорогих рабочих органов, агрегатирующихся с наиболее распространенными в производственных организациях тракторами. Помимо этого конструкция рабочих органов для сбора срезанного древостоя должна обеспечивать работу машины по наиболее рациональным технологическим схемам, согласно которым машина будет перемещаться вдоль оси канала с минимальным количеством остановок и холостых ходов. То есть очистка поверхности должна осуществляться за один проход базовой машины.

Для решения обозначенной выше задачи нами разработана и впоследствии защищена *патентом РФ на полезную модель № 52664* принципиальная схема универсального подборщика-собирателя, которая может быть реализована на базе одноковшового экскаватора II размерной группы с базовым трактором МТЗ-82 (рис. 3.53) [206].

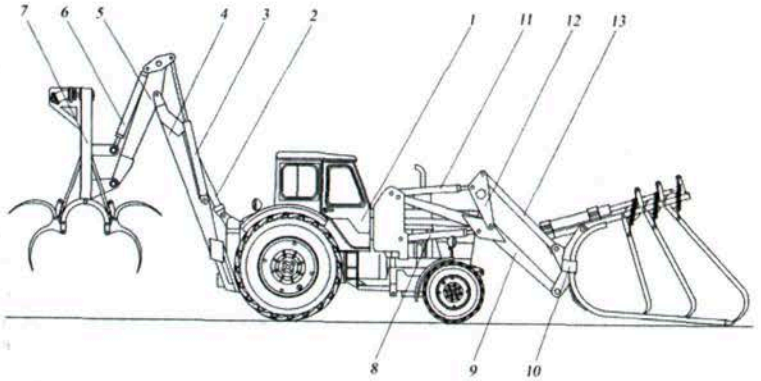


Рис. 3.53. Принципиальная схема подборщика – собирателя срезанной древесно-кустарниковой растительности:
1 – базовый трактор МТЗ-82; 2 – гидроцилиндр экскаваторной стрелы; *3* – гидроцилиндр управления рукоятью; *4* – стрела экскаватора; *5* – рукоять; *6* – напорный гидроцилиндр; *7* – грейфер; *8* – гидроцилиндр стрелы погрузчика; *9* – стрела погрузчика; *10* – подборщик срезанной древесно-кустарниковой растительности; *11* – гидроцилиндр; *12* – поворотный рычаг; *13* – тяга

Подборщик-собиратель оснащен двумя рабочими органами. Спереди на стреле погрузчика устанавливают подборщик срезанной древесно-кустарниковой растительности, оборудованный уплотняющими гребенками, а на рукояти экскаваторного оборудования вместо ковша монтируют грейфер, имеющий челюсти с двумя рядами захватывающих зубьев.

Подборщик служит для очистки бермы от срезанного кустарника, грейфер предназначен для извлечения из русла канала отдельных спиленных кустов и деревьев.

Благодаря размещению подборщика на стреле погрузчика значительно расширяются его функциональные возможности, так как это позволяет осуществлять погрузку собранной растительности в транспортные средства и формировать из собранного кустарника кучи намного большего объема. Также это позволяет при транспортировке собранной растительности к месту разгрузки приподнимать подборщик над поверхностью участка, что исключает дополнительное сволакивание почвы и, как следствие, повышает качество работ.

Производство работ по очистке каналов от срезанного кустарника с использованием подборщика-собирателя предлагается осуществлять по трем основным технологическим схемам (рис. 3.54) [7].

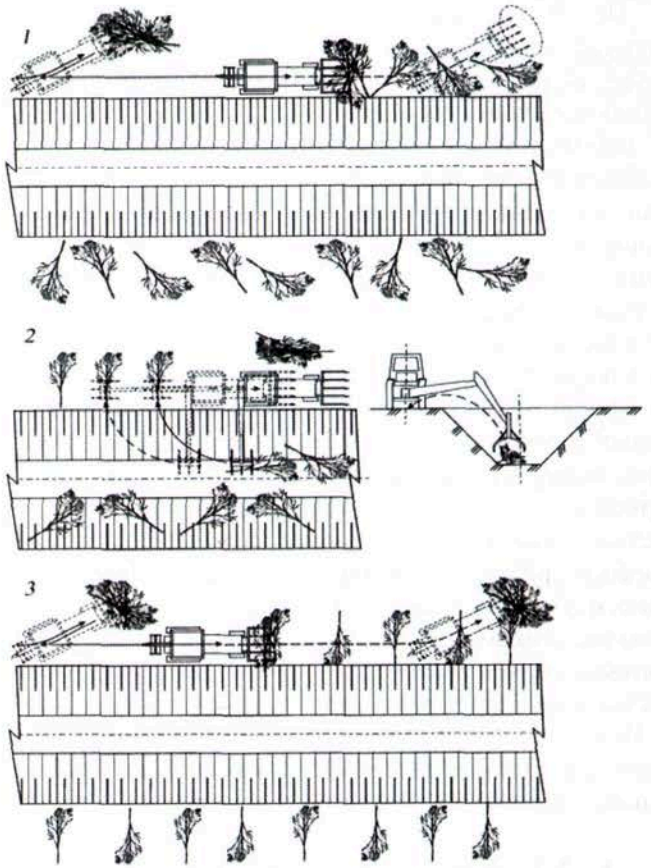


Рис. 3.54. Технологические схемы очистки канала от срезанной древесно-кустарниковой растительности подборщиком-собирателем: *1* – очистка бермы от срезанной растительности и формирование из нее куч; *2* – извлечение кустарника из русла канала; *3* – сгребание извлеченной из русла канала древесины в уже сформированные кучи

При работе по первой схеме производят очистку бермы от срезанного на ней древостоя. Для этого подборщик-собиратель перемещается по берме вдоль оси канала и при помощи подборщика осуществляет сбор срезанной растительности. После набора достаточного количества древесно-кустарниковой массы подборщик-собиратель делает поворот и выгружает ее на участке, где она не будет препятствовать выполнению последующих операций.

Из собранной массы формируют кучу. Затем подборщик-собиратель задним ходом возвращается в исходное положение и начинает собирать новую порцию срезанной растительности.

Далее, освободив берму от срезанного кустарника, производят срезку произрастающего на откосах канала древостоя.

По второй схеме выполняют удаление срезанного кустарника из русла канала. Эти работы выполняют при помощи грейферного оборудования, которым производят захват срезанных стволов и перенос их на берму, после чего подборщик-собиратель перемещают на новую позицию и цикл повторяется.

Третья схема предусматривает сгребание подборщиком-собирателем срезанной растительности, перемещенной из русла канала на берму, в уже сформированные кучи.

Большое влияние на процесс сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности оказывает конструкция рабочих органов, их технологические и геометрические характеристики. Поэтому важнейшей задачей является поиск оптимальных конструкторских решений и определение наиболее рациональных параметров для данных технических средств.

3.2.2. Конструкция подборщика срезанной древесно-кустарниковой растительности

Для очистки бермы от срезанного кустарника и мелколесья могут быть использованы подборщики порубочных остатков, применяемые в лесном хозяйстве и мелиорации. Однако недостатком таких подборщиков является их низкая производительность при сборе древесно-кустарниковой растительности, кото-

рая характеризуется невысокой плотностью, вследствие чего рабочий объем подборщика быстро заполняется и в процессе работы требуются частые разгрузки рабочего органа. Таким образом, очевидна необходимость разработки принципиально новой конструкции подборщика, обеспечивающей более эффективное заполнение рабочего объема растительностью. С учетом этого нами разработана новая конструкция подборщика древесно-кустарниковой растительности (рис. 3.55), на которую получен *патент РФ на изобретение № 2258355* [196].

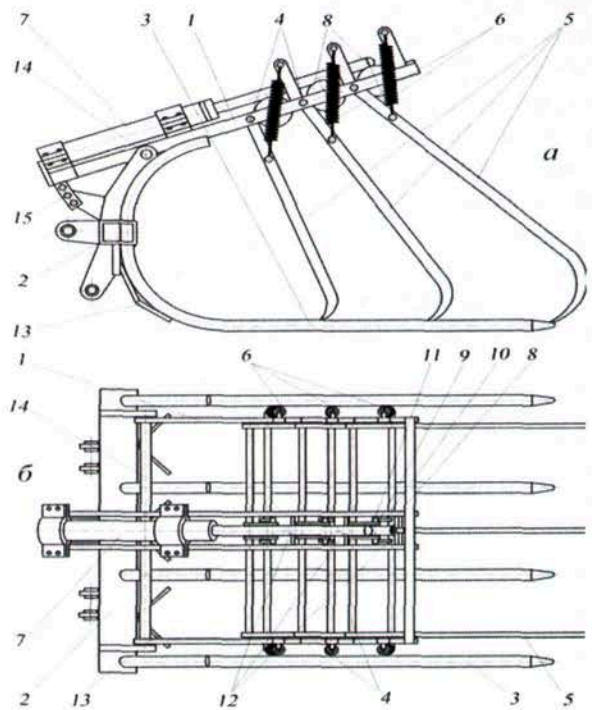


Рис. 3.55. Подборщик срезанной древесно-кустарниковой растительности: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; *1* – рама; *2* – навеска; *3* – подбирающие зубья; *4* – ось; *5* – уплотняющие гребенки; *6* – возвратные пружины; *7* – гидроцилиндр; *8* – ролики; *9* – рычаги; *10* – упругие связи; *11* – ось; *12* – электрические концевые выключатели; *13* – дополнительные заборные зубья; *14* – ось; *15* – фиксатор

Предлагаемый подборщик [20] содержит раму *1*, в нижней части шарнирно соединяющуюся с навеской *2*, к которой жестко крепятся подбирающие зубья *3*. На раме *1* посредством осей *4* закреплены уплотняющие гребенки *5*, которые в свою очередь соединены возвратными пружинами *6* с рамой *1*.

Каждая уплотняющая гребенка *5* оснащена предохранительным устройством, которое позволяет предотвратить поломки в случае возникновения значительных усилий в процессе уплотнения древесно-кустарниковой массы.

Для привода уплотняющих гребенок *5* на раме *1* установлен гидроцилиндр *7*, свободный конец штока которого выполнен в форме полусферы для плавного взаимодействия с канавками полукруглого сечения роликов *8*. При выдвижении штока он поочередно сферической поверхностью входит в зацепление с роликами *8*, шарнирно закрепленными на уплотняющих гребенках *5* через рычаги *9* и упругие связи *10*. Ролики *8*, рычаги *9* и упругие связи *10* образуют предохранительное устройство (рис. 3.56), позволяющее остановить уплотнительную гребенку 5 при чрезмерном уплотнении сжимаемой древесно-кустарниковой растительности и исключить поломки.

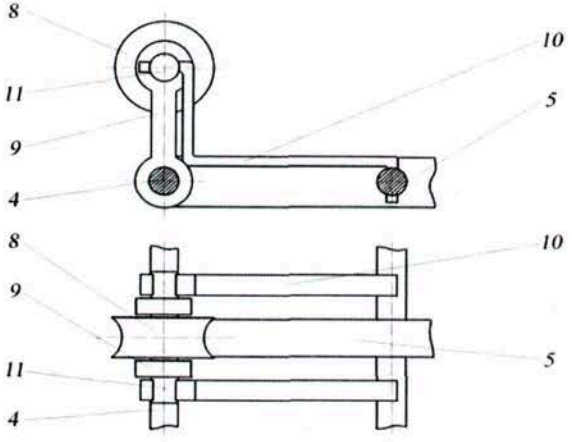


Рис. 3.56. Предохранительное устройство: *4, 11* – оси; *5* – уплотняющие гребенки; *8* – ролики; *9* – рычаги; *10* – упругие связи

Ролики *8* предохранительных устройств выполнены с канавками полукруглого сечения для плавного взаимодействия со штоком гидроцилиндра *7* и надежной фиксации уплотняющих гребенок *5* при вращении роликов *8* на оси *11* в процессе выдвижении штока гидроцилиндра *7*.

На раме *1* подборщика установлены также электрические концевые выключатели *12*, обеспечивающие перевод золотника гидрораспределителя трактора из положения «подъем» в положение «заперто», и, соответственно, остановку штока гидроцилиндра *7*.

С целью снижения потерь и повышения качества выполняемых работ к навеске *2* крепятся дополнительные заборные зубья *13*, расположенные между подбирающими зубьями *3*. Для повышения производительности и в целях регулирования объемов набираемой древесно-кустарниковой растительности рама *1* шарнирно соединяется с навеской *2* осью *14* и может устанавливаться под разными углами к горизонтальной поверхности, закрепляясь фиксатором *15* на угол необходимой величины.

Подборщик работает следующим образом.

Подборщик с опущенными на поверхность подбирающими зубьями *3*, втянутым штоком гидроцилиндра *7* и находящимися в верхнем положении уплотняющими гребенками *5* перемещается по участку со срезанной древесно-кустарниковой растительностью. По мере его продвижения на подбирающих зубьях *3* накапливается срезанная древесно-кустарниковая масса. После набора достаточного количества растительной массы машинист включает гидроцилиндр *7*, и его шток при выдвижении плавно вступает полусферической поверхностью в зацепление с канавкой полукруглого сечения ролика *8* предохранительного устройства первой уплотняющей гребенки *5*. При дальнейшем выдвижении штока гидроцилиндра *7* рычаги *9*, которые одним концом шарнирно закреплены на оси *4*, а другим шарнирно соединены с роликом *8* посредством оси *11*, перемещаются вокруг оси *4*, поворачивая первую уплотняющую гребенку *5*, соеди-

ненную посредством упругой связи *10* с осью *11*. При опускании уплотняющей гребенки *5* набранный подбирающими зубьями *3* объем древесно-кустарниковой массы уплотняется. Как только ролик *8* касается концевого электрического выключателя *12*, шток гидроцилиндра *7* останавливается и фиксирует ролик *8* и уплотняющую гребенку *5* через упругую связь *10* в данном положении. От поломки в случае возникновения значительных усилий в процессе уплотнения древесно-кустарниковой массы предохраняет упругая связь *10*, позволяющая поворачиваться уплотняющей гребенке *5* относительно рычагов *9*.

При дальнейшем выдвижении штока гидроцилиндра *7* для уплотнения последующих набранных объемов растительности ролик *8*, вращаясь на оси *11*, будет сохранять зафиксированное положение уплотняющей гребенки *5*.

После уплотнения первой порции подобранной срезанной древесно-кустарниковой растительности подборщик продолжает двигаться вперед и собирать новую порцию растительности во вновь освобожденный рабочий объем. Как только на подбирающих зубьях *3* накопится новый объем срезанной растительности, снова включается гидроцилиндр *7*, и данный объем уплотняется следующей уплотняющей гребенкой *5*. Таким образом, можно уплотнять несколько порций собранной растительности.

При выгрузке собранной растительности подборщик освобождается в обратном порядке путем задвигания штока гидроцилиндра *7* и возвращения уплотняющих гребенок *5* с помощью возвратных пружин *6* в исходное положение.

Предлагаемый подборщик обладает высокой надежностью благодаря наличию предохранительных устройств на каждой уплотняющей гребенке и может захватывать значительно больший объем древесно-кустарниковой массы в связи с наличием нескольких уплотнительных гребенок, приводимых в действие лишь одним гидроцилиндром с измененной конструкцией свободного конца штока. Возможно использование рабочего органа и при его наклоне, что позволяет удалять срезанную растительность из труднодоступных мест (каналов, выемок и т. п.).

3.2.3. Конструкция грейферного оборудования, применяемого для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности

Очистка русла канала от срезанной растительности является наиболее сложной технологической операцией. Эта задача еще более усложняется, если канал находится в эксплуатационном режиме. Использование же неспециализированной техники для данного вида работ не только малоэффективно, но и требует значительных затрат.

Для извлечения кустарника из русла канала наиболее целесообразно использовать грейферные механизмы. Они позволяют извлекать предметы из труднодоступных мест и обладают при этом высокой универсальностью.

Однако существующие грейферные устройства недостаточно приспособлены для работы с древесной растительностью, имеющей пышную и густую крону, которая зачастую препятствует захвату и надежному удержанию срезанного куста. Кроме того, для эффективного сбора срезанной растительности конструкция грейфера должна обеспечивать захват более одного куста за рабочий цикл, а также сжимать и деформировать крону кустарника для более плотной укладки в уже сформированные кучи.

Учитывая данные требования, нами разработан новый грейфер для сбора срезанного кустарника, на конструкцию которого получены *патент РФ на изобретение № 2308411 и патент РФ на полезную модель № 45724* [198, 205].

Конструктивная схема предлагаемого грейфера приведена на рис. 3.57.

Грейфер содержит корпус *1*, внутри которого размещен вертикальный гидроцилиндр *2*, шток которого посредством тяг *3*, *4* и шарнирно закрепленных на осях *5* рычагов *6* взаимодействует с челюстями *7*, шарнирно соединенными посредством горизонтальных осей *8* с дугообразными элементами *9*, которые жестко соединены с корпусом *1* посредством горизонтальной поперечины *10*. При этом каждая челюсть имеет по два ряда захватывающих зубьев *11* и *12*. Вертикальный гидроцилиндр *2* шарнирно закреплен в кор-

пусе *1* посредством эксцентрикового вала *13*, который соединен через муфту *14* с валом гидромотора *15*, жестко зафиксированным на корпусе *1*.

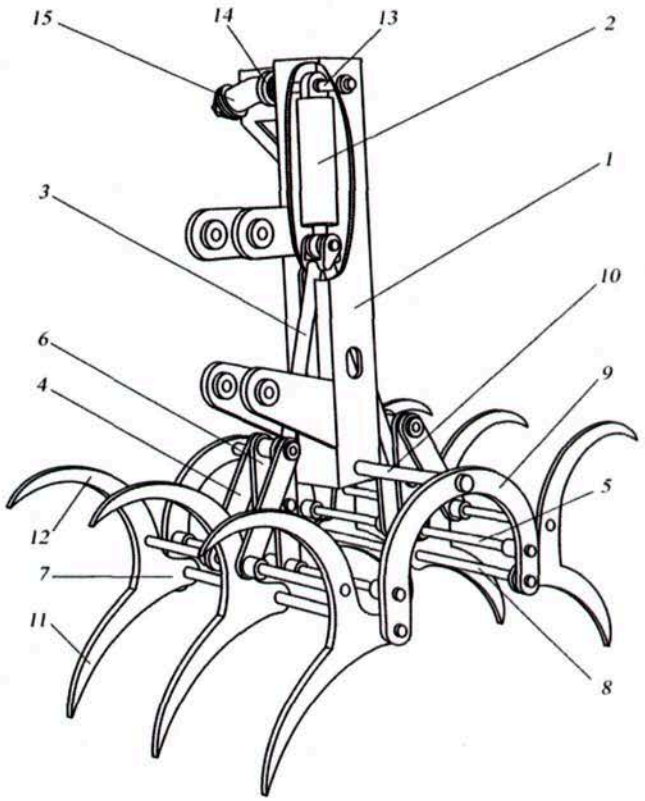


Рис. 3.57. Конструктивная схема грейфера
для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности:
1 – корпус; *2* – гидроцилиндр; *3*, *4* – тяги; *5* – ось; *6* – рычаг;
7 – челюсти; *8* – горизонтальная ось; *9* – дугообразные элементы;
10 – поперечина; *11*, *12* – захватывающие зубья;
13 – эксцентриковый вал; *14* – муфта; *15* – гидромотор

В отличие от аналогов, у предлагаемой конструкции грейфера челюсти шарнирно закреплены на дугообразных элементах, и каждая челюсть имеет по два ряда захватывающих зубьев.

Благодаря такой конструктивной особенности процесс смыкания челюстей протекает в два этапа, сначала смыкается первый ряд захватывающих зубьев, а при дальнейшем повороте челюстей происходит смыкание второго ряда зубьев, что позволяет за один рабочий цикл осуществить захват сразу двух срезанных кустов или двух порций древесно-кустарниковой массы. Таким образом, предлагаемая конструкция позволяет увеличить производительность грейфера и обеспечить более полное использование грузоподъемности.

Экспериментальная конструкция грейфера была разработана в качестве сменного рабочего органа для одноковшовых экскаваторов второй размерной группы на базе универсальных колесных тракторов МТЗ-82, являющихся наиболее распространенными машинами в организациях, осуществляющих эксплуатационно-ремонтные работы на оросительных каналах.

Монтируют грейфер на рукояти экскаваторного оборудования вместо ковша, причем напорный гидроцилиндр, обеспечивающий поворот ковша, шарнирно соединяют с корпусом грейфера, благодаря чему грейфер можно принудительно поворачивать относительно его шарнирного крепления с рукоятью, что в свою очередь позволяет осуществлять захват кустарника с наклонных поверхностей, например, с откосов канала.

Технологический процесс работы грейфера при очистке каналов от срезанной кустарниковой растительности зависит главным образом от вида выполняемых им работ. Это может быть сбор отдельных срезанных стволов кустарника, формирование куч из собранной растительности или погрузка древесно-кустарниковой массы в транспортное средство. Учитывая это, можно выделить три основные схемы работы грейфера.

При работе по первой схеме (рис. 3.58) производят захват отдельных стволов срезанного кустарника, расположенных в труднодоступных местах или плавающих на поверхности воды, транспортируемой по каналу.

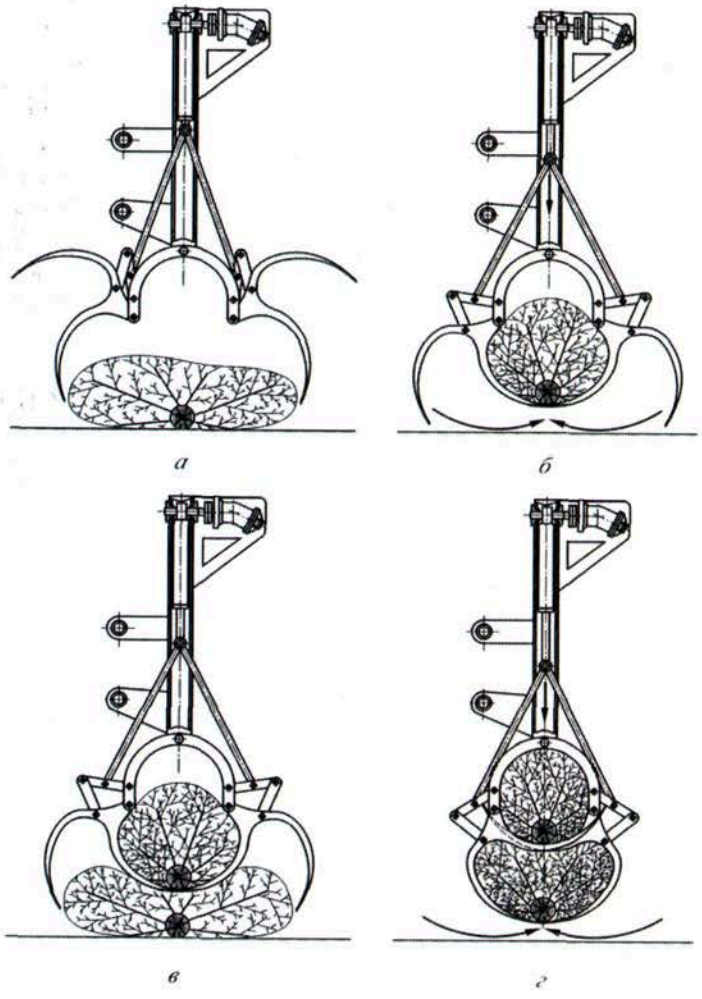


Рис. 3.58. Технологическая схема захвата срезанного кустарника грейфером с двумя рядами зубьев

Процесс сбора срезанной растительности протекает следующим образом.

Грейфер с полностью раскрытыми челюстями *7* перемещают к месту расположения срезанного куста (рис. 3.58, *а*).

Затем в работу включается гидроцилиндр *2*, который через тяги *3*, *4* и рычаги *6* поворачивает челюсти *7* относительно осей *8* и смыкает первый ряд захватывающих зубьев *11*, которые при этом осуществляют захват первого куста (рис. 3.58, *б*). Далее гидроцилиндр *2* переключают в запертое положение. После этого грейфер подается к месту расположения следующего куста (рис. 3.58, *в*). Затем снова включается гидроцилиндр *2*, который продолжает поворачивать челюсти *7*, в результате чего происходит смыкание второго ряда захватывающих зубьев *12*, которые захватывают второй куст (рис. 3.58, *г*).

Вторая схема представляет собой последовательный захват двух объемов древесно-кустарниковой массы и используется при погрузке собранной в валы или кучи растительности в транспортное средство, а также при формировании новых куч.

Перед захватом первой порции зубья *11* предварительно внедряются стрелой погрузчика в древесно-кустарниковую массу для увеличения объема захватываемой порции. После этого включается гидроцилиндр *2*, который через тяги *3*, *4* и рычаги *6* вращает челюсти *7* относительно осей *8* и смыкает первый ряд захватывающих зубьев *11*, в результате чего происходит захват первой порции растительности. При дальнейшем выдвижении штока гидроцилиндра *2* и вращении челюстей *7* происходит захват второй порции древесно-кустарниковой массы вторым рядом захватывающих зубьев *12*, при этом первая захваченная порция перемещается вверх и сжимается между дугообразными элементами *9* и захватывающими зубьями *11*.

Работа грейфера по третей схеме предусматривает очистку захваченной им растительности.

После того как грейфером осуществлен захват отдельных кустов или древесно-кустарниковой массы, включается гидромотор *15*, который через муфту *14* приводит во вращение эксцентриковый вал *13*, на котором шарнирно закреплен гидроцилиндр *2*. Возникающая при этом вибрация передается от гидроцилиндра *2* через тяги *3*, *4* и рычаги *6* на челюсти *7*, за счет чего происходит удаление из захваченной грейфером древесно-кустарниковой растительности минеральных частиц грунта, гнили, мусора или снега (при выполнении работ в зимний период).

Предлагаемая конструкция грейфера позволяет более производительно выполнять очистку оросительных каналов, находящихся в эксплуатационном режиме, от срезанной древесно-кустарниковой растительности, а также удалять срезанный кустарник из труднодоступных мест (ям, выемок и т. п.).

Благодаря возможности осуществлять очистку захваченной растительности от грунта и мусора данный грейфер обеспечивает высокое качество выполняемых работ. При этом снижение засоренности удаляемой древесно-кустарниковой растительности грунтом дает возможность для ее дальнейшего хозяйственного использования.

3.2.4. Теоретическое обоснование конструкции подборщика срезанной древесно-кустарниковой растительности

Предложенная конструкция рабочего органа (см. рис. 3.55) может быть реализована на основе уже имеющейся модели подборщика путем небольшой ее модернизации. На раме базовой модели вместо прижимной гребенки необходимо смонтировать раму с уплотняющими гребенками [30].

Учитывая, что новым решением в предложенной конструкции подборщика является применение уплотнения в процессе сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности, главной задачей является определение таких рациональных параметров рабочего органа, при которых уплотнение будет давать максимально полезный эффект.

3.2.4.1. Теоретическое обоснование конструктивных параметров подборщика с уплотняющими гребенками

Определим, какие технологические и конструктивные параметры новой конструкции подборщика будут оказывать влияние на процесс уплотнения древесно-кустарниковой растительности.

Перед решением данной задачи необходимо отметить некоторые технические особенности рассматриваемой конструкции подборщика:

- подбирающие зубья имеют прямолинейную горизонтальную часть, которая, плавно закругляясь, переходит в прямолинейную вертикальную часть;
- ось шарнирного крепления рамы с уплотняющими гребенками совпадает с местом расположения концов вертикальной части подбирающих зубьев;
- уплотняющие гребенки в поднятом положении наклонены к горизонтальной плоскости под тем же углом, что и рама;
- привод уплотняющих гребенок обеспечивает одинаковый угол поворота для каждой гребенки.

Кроме того, необходимо учесть, что характеристики древесно-кустарниковой растительности представлены в достаточно широком диапазоне, а значит решение поставленной выше задачи возможно только на основе принятия некоторых допущений.

Первое допущение предполагает, что срезанная растительность равномерно распределена на очищаемом участке шириной $b_з$ (ширина захвата подборщика).

Во-вторых, допустим, что древесно-кустарниковая масса представляет собой упругий материал, имеющий первоначальную плотность $c_н$.

Следовательно, в процессе уплотнения древесно-кустарниковой растительности ее объем будет уменьшаться, а плотность расти, то есть будет выполняться условие:

$$c_у > c_н, \tag{3.203}$$

где $c_у$ – плотность уплотненного объема древесно-кустарниковой растительности, кг/м^3.

Причем

$$c_у = c_н \frac{V_у + V_в}{V_у}, \tag{3.204}$$

где $V_у$ – объем уплотненной порции древесно-кустарниковой растительности, м^3; $V_в$ – объем рабочего пространства, высвобожденного в процессе уплотнения древесно-кустарниковой растительности, м^3.

При этом на основании выражения (3.204) можно записать равенство:

$$\frac{c_у}{c_н} = \frac{V_у + V_в}{V_у} = k_у, \qquad (3.205)$$

где $k_у$ – коэффициент уплотнения древесно-кустарниковой растительности.

В результате поворота уплотняющей гребенки величина высвободившегося объема составит (рис. 3.59):

$$V_в = \frac{p x^2 б b_з}{360}, \qquad (3.206)$$

где x – длина уплотняющей гребенки, м; б – угол поворота уплотняющей гребенки относительно рамы, град.; $b_з$ – ширина захвата подборщика, м.

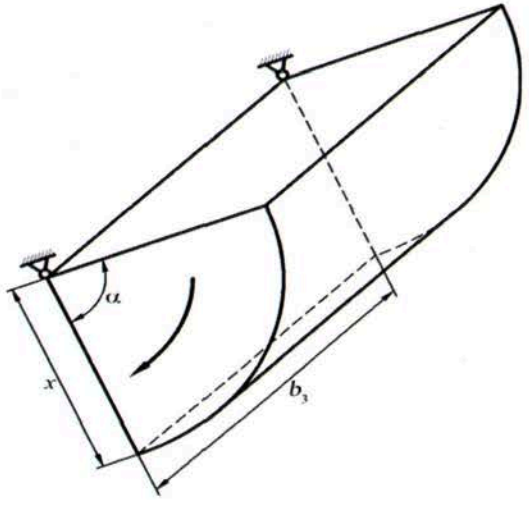


Рис. 3.59. Объем рабочего пространства, высвобожденного в процессе уплотнения собранной древесно-кустарниковой растительности

Таким образом, на величину высвобожденного объема влияет ширина захвата подборщика $b_з$, угол поворота б и длина x уплотняющей гребенки. Однако ширина захвата $b_з$ заложена в базовую модель подборщика и будет иметь постоянное значение. А угол поворота уплотняющей гребенки б определяется конструкцией ее привода. Следовательно, величина высвобожденного объема больше всего будет зависеть от длины уплотняющей гребенки x, что также наглядно демонстрирует график (рис. 3.60), построенный по формуле (3.206).

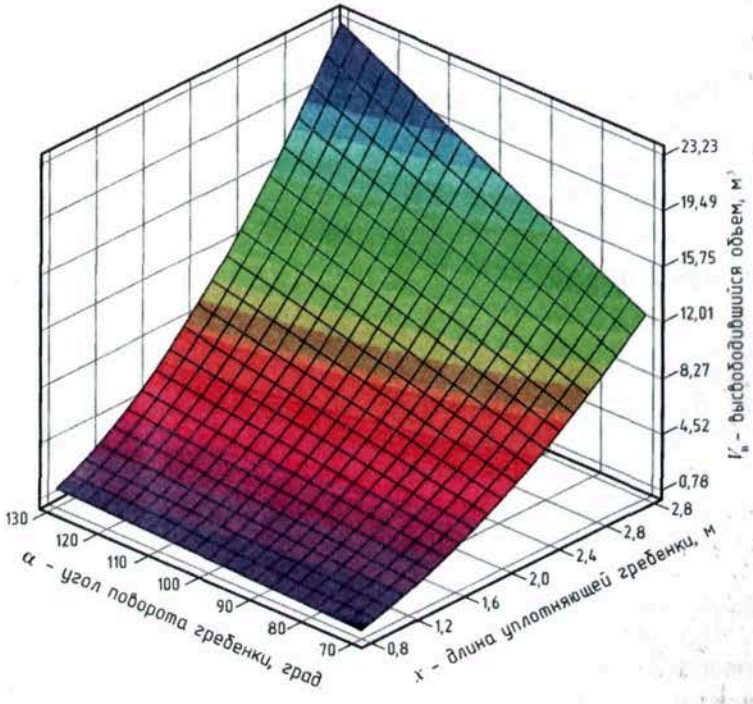


Рис. 3.60. Зависимость высвободившегося объема от угла поворота и длины уплотняющей гребенки (при $b_з = 2$ м)

Для того чтобы определить длину каждой уплотняющей гребенки, установим зависимость между объемом уплотнен-

ной порции древесно-кустарниковой растительности и высвобожденным объемом. Воспользуемся для этого равенством (3.205), откуда

$$V_{у} = \frac{V_{в}}{(k_{у} - 1)}. \qquad (3.207)$$

Подставив в полученное выражение (3.213) формулу (3.206), имеем

$$V_{у} = \frac{\pi x^2 \alpha b_{з}}{360(k_{у} - 1)}. \qquad (3.208)$$

При этом под объемом уплотненной порции подразумевается геометрический объем, заключенный между опущенной уплотняющей гребенкой и другими элементами подборщика (рамой, подбирающими зубьями, соседней уплотняющей гребенкой). Таким образом, объем уплотненной порции $V_{у}$ можно определить как

$$V_{у} = Sb_{з}, \qquad (3.209)$$

где S – площадь поперечного сечения уплотненной порции древесно-кустарниковой растительности, м^2.

При этом площадь поперечного сечения уплотненной порции есть ничто иное, как площадь «просвета» между опущенной уплотняющей гребенкой и другими элементами подборщика (рамой, подбирающими зубьями, соседней уплотняющей гребенкой).

Причем, так как все гребенки в процессе уплотнения будут поворачиваться на одинаковый угол б, то «просвет», образуемый при опускании каждой гребенки, будет иметь одинаковую форму, но разную площадь (за исключением «просвета», образуемого первой гребенкой).

В случае же с первой гребенкой уплотненная порция растительности, будет замкнута между уплотняющей гребенкой, ее рамой и подбирающими зубьями.

Для определения площади «просвета», образуемого при опускании первой гребенки, воспользуемся схемой, представленной на рис. 3.61.

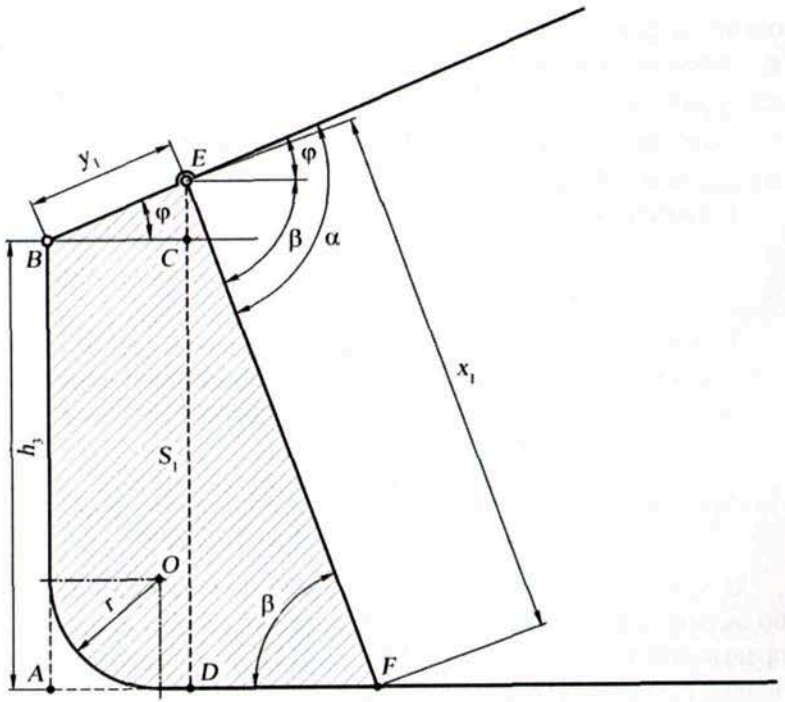


Рис. 3.61. Схема для определения площади «просвета», образуемого при опускании первой гребенки

Согласно схеме, для первой гребенки площадь «просвета» составит:

$$S_1 = h_{з} y_1 \cos\varphi - \frac{r^2(4-\pi)}{4} + \frac{x_1^2 \cos\beta \sin\beta}{2} + \frac{y_1^2 \cos\varphi \sin\varphi}{2}, \qquad (3.210)$$

где $h_з$ – высота вертикальной части подбирающего зуба, м; r – радиус закругления подбирающего зуба, м; x_1 – длина первой уплотняющей гребенки, м; y_1 – расстояние между осями шарниров рамы и первой уплотняющей гребенки, м; φ – угол наклона рамы относительно горизонтальной плоскости, град.; б – угол поворота уплотняющей гребенки, град.; в – угол между опущенной уплотняющей гребенкой и горизонтальной частью подбирающего зуба, град.

Также из схемы, изображенной на рис. 3.61, следует, что

$$\beta = \alpha - \varphi . \qquad (3.211)$$

Таким образом, если подставить выражение (3.210) в равенство (3.209), то объем первой уплотненной порции древесно-кустарниковой растительности составит:

$$V_{y_1} = \left(h_з y_1 \cos\varphi - \frac{r^2(4-\pi)}{4} + \frac{x_1^2 \cos\beta \sin\beta}{2} + \frac{y_1^2 \cos\varphi \sin\varphi}{2} \right) b_з . \qquad (3.212)$$

В тоже время величину этого же объема можно вычислить по выражению (3.208), из чего следует, что можно приравнять правые части уравнений (3.208) и (3.212). Преобразовав полученное равенство, имеем

$$360 y_1 h_з \cos\varphi - 90 r^2 (4-\pi) + 180 x_1^2 \cos\beta \sin\beta + $$
$$+ 180 y_1^2 \cos\varphi \sin\varphi - \frac{\pi x_1^2 \alpha}{(k_y - 1)} = 0. \qquad (3.213)$$

Из схемы, представленной на рис. 3.61, видно, что расстояние между осями шарниров рамы и первой уплотняющей гребенки составляет:

$$y_1 = \frac{x_1 \sin\beta - h_з}{\sin\varphi} . \qquad (3.214)$$

Далее объединим выражения (3.213) и (3.214) в систему уравнений:

$$\begin{cases} 360 y_1 h_з \cos\varphi - 90 r^2 (4-\pi) + 180 x_1^2 \cos\beta \sin\beta + \\ + 180 y_1^2 \cos\varphi \sin\varphi - \dfrac{\pi x_1^2 \alpha}{(k_y - 1)} = 0, \\ y_1 = \dfrac{x_1 \sin\beta - h_з}{\sin\varphi} . \end{cases} \qquad (3.215)$$

Подставим выражение $\frac{x_1 \sin\beta - h_з}{\sin\varphi}$ вместо y_1 в первое уравнение системы (3.215) и из полученного уравнения вычислим длину первой гребенки:

$$x_1 = \sqrt{\frac{90\left(2h_з^2 \operatorname{ctg}\varphi + r^2(4-\pi)\right)}{180 \cos\beta \sin\beta + 180 \sin^2\beta \operatorname{ctg}\varphi - \dfrac{\pi\alpha}{(k_y - 1)}}} . \qquad (3.216)$$

Для определения площади «просвета», образуемого каждой последующей i-й уплотняющей гребенкой, рассмотрим схему, изображенную на рис. 3.62.

Согласно схеме, для i-й уплотняющей гребенки площадь «просвета» составит:

$$S_i = y_i x_{i-1} \cos\varphi \sin\beta - \frac{x_{i-1}^2 \cos\beta \sin\beta}{2} + $$
$$+ \frac{x_i^2 \cos\beta \sin\beta}{2} + \frac{y_i^2 \cos\varphi \sin\varphi}{2} , \qquad (3.217)$$

где x_{i-1} – длина предыдущей уплотняющей гребенки, м; x_i – длинна i-й уплотняющей гребенки, м; y_i – расстояние между осями шарниров i-й и предыдущей уплотняющей гребенок, м.

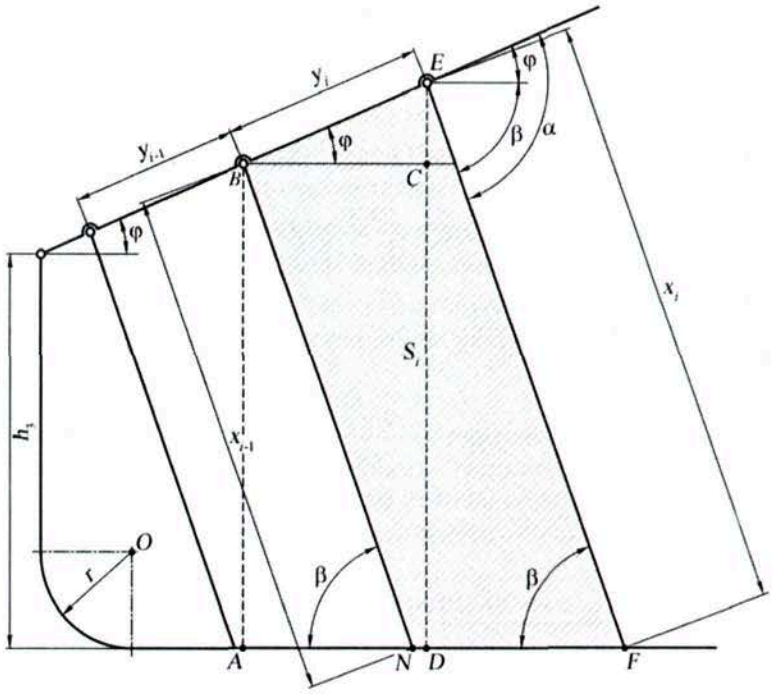


Рис. 3.62. Схема для определения площади «просвета», образуемого при опускании *i*-й уплотняющей гребенки

Соответственно, при опускании *i*-й уплотняющей гребенки объем уплотненной порции древесно-кустарниковой растительности можно определить по формуле:

$$V_{yi} = \left(y_i x_{i-1} \cos\varphi \sin\beta - \frac{x_{i-1}^2 \cos\beta \sin\beta}{2} + \frac{x_i^2 \cos\beta \sin\beta}{2} + \frac{y_i^2 \cos\varphi \sin\varphi}{2} \right) b_з. \quad (3.218)$$

Подставив выражение (3.218) в формулу (3.210) и проведя преобразование, получаем следующее равенство:

$$360 y_i x_{i-1} \cos\varphi \sin\beta - 180 x_{i-1}^2 \cos\beta \sin\beta + 180 x_i^2 \cos\beta \sin\beta + 180 y_i^2 \cos\varphi \sin\varphi - \frac{\pi x_i^2 \alpha}{(k_y - 1)} = 0. \quad (3.219)$$

Из схемы, представленной на рис. 3.62, видно, что расстояние между осями шарниров *i*-й и предыдущей уплотняющей гребенок можно вычислить по формуле:

$$y_i = \frac{(x_i - x_{i-1}) \sin\beta}{\sin\varphi}. \quad (3.220)$$

Объединим выражения (3.219) и (3.220) в систему уравнений:

$$\begin{cases} 360 y_i x_{i-1} \cos\varphi \sin\beta - 180 x_{i-1}^2 \cos\beta \sin\beta + \\ + 180 x_i^2 \cos\beta \sin\beta + 180 y_i^2 \cos\varphi \sin\varphi - \dfrac{\pi x_i^2 \alpha}{(k_y - 1)} = 0, \\ y_i = \dfrac{(x_i - x_{i-1}) \sin\beta}{\sin\varphi}. \end{cases} \quad (3.221)$$

Подставим выражение $\frac{(x_i - x_{i-1})\sin\beta}{\sin\varphi}$ вместо y_i в первое уравнение системы (3.221) и после его преобразования получим уравнение для расчета длины каждой последующей *i*-й гребенки:

$$x_i = \sqrt{\frac{180 x_{i-1}^2 \left(\sin^2\beta \operatorname{ctg}\varphi + \cos\beta \sin\beta\right)}{180 \cos\beta \sin\phi + 180 \sin^2\beta \operatorname{ctg}\varphi - \dfrac{\pi\alpha}{(k_y - 1)}}}. \quad (3.222)$$

Используя формулы (3.216) и (3.222) для определения x_1 и x_i, приведем системы уравнений (3.215) и (3.221) к более простому виду:

$$\begin{cases} x_1 = \sqrt{\dfrac{90\left(2h_з^2 \operatorname{ctg}\varphi + r^2(4-\pi)\right)}{180\cos\beta\sin\beta + 180\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi - \dfrac{\pi\alpha}{(k_у - 1)}}}, \\ y_1 = \dfrac{x_1\sin\beta - h_з}{\sin\varphi}. \end{cases} \quad (3.223)$$

$$\begin{cases} x_i = \sqrt{\dfrac{180x_{i-1}^2\left(\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi + \cos\beta\sin\beta\right)}{180\cos\beta\sin\beta + 180\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi - \dfrac{\pi\alpha}{(k_у - 1)}}}, \\ y_i = \dfrac{(x_i - x_{i-1})\sin\varphi}{\sin\varphi}. \end{cases} \quad (3.224)$$

На основании вышеизложенных теоретических изысканий можно сделать следующее заключение: эффективность уплотнения собранной растительности будет зависеть от величины вновь высвобожденного рабочего пространства подборщика, которое, в свою очередь, при $b_з = \text{const}$ и $б = \text{const}$ зависит от длины уплотняющих гребенок. Кроме того, объем уплотненной порции древесно-кустарниковой растительности зависит как от длины уплотняющей гребенки, так и от расстояния между осями шарниров соседних гребенок (для первой гребенки – от расстояния между осью ее шарнира и осью шарнирного крепления рамы на подборщике). Причем все эти параметры связывает коэффициент уплотнения, показывающий, во сколько раз увеличилась плотность древесно-кустарниковой растительности по отношению к ее первоначальной плотности.

Для определения рациональных значений обозначенных технологических и конструкционных параметров подборщика необходимо подвергнуть изучению вопрос о влиянии процесса уплотнения на рост производительности подборщика.

3.2.4.2. Влияние процесса уплотнения древесно-кустарниковой растительности на производительность подборщика

Так как ранее было принято допущение, согласно которому растительность после срезки равномерно распределена на участке бермы шириной $b_з$ (ширина захвата подборщика), то, следовательно, подборщик будет очищать поверхность бермы за один проход.

Тогда производительность подборщика $П_{под}$, не оснащенного уплотняющими гребенками, можно определить по формуле:

$$П_{под} = \frac{3600}{T_ц} l_{оч} b_з, \quad (3.225)$$

где $T_ц$ – время цикла, с; $l_{оч}$ – длина участка бермы, очищаемого за цикл работы, м; $b_з$ – ширина захвата подборщика, м.

Время рабочего цикла $T_ц$ для подборщика без уплотняющих гребенок составит (рис. 3.63):

$$T_ц = t_с + t_{п1} + t_в + t_{п2}, \quad (3.226)$$

где $t_с$ – время, затрачиваемое на сбор древесно-кустарниковой растительности, с; $t_{п1}$ – время на перемещение подборщика к месту выгрузки, с; $t_в$ – время, затраченное на разгрузку подборщика, с; $t_{п2}$ – время на возврат подборщика в рабочее положение, с.

Учитывая, что сбор срезанной растительности будет происходить до тех пор, пока она полностью не заполнит рабочий объем подборщика, длину участка бермы, очищенного за цикл работы подборщика без уплотняющих гребенок, можно определить по формуле:

$$l_{оч} = \frac{10000 V_{р.о}}{b_з V_{зап}}, \qquad (3.227)$$

где $V_{р.о}$ – рабочий объем подборщика, м³; $V_{зап}$ – запас древесины на единицу площади, м³/га.

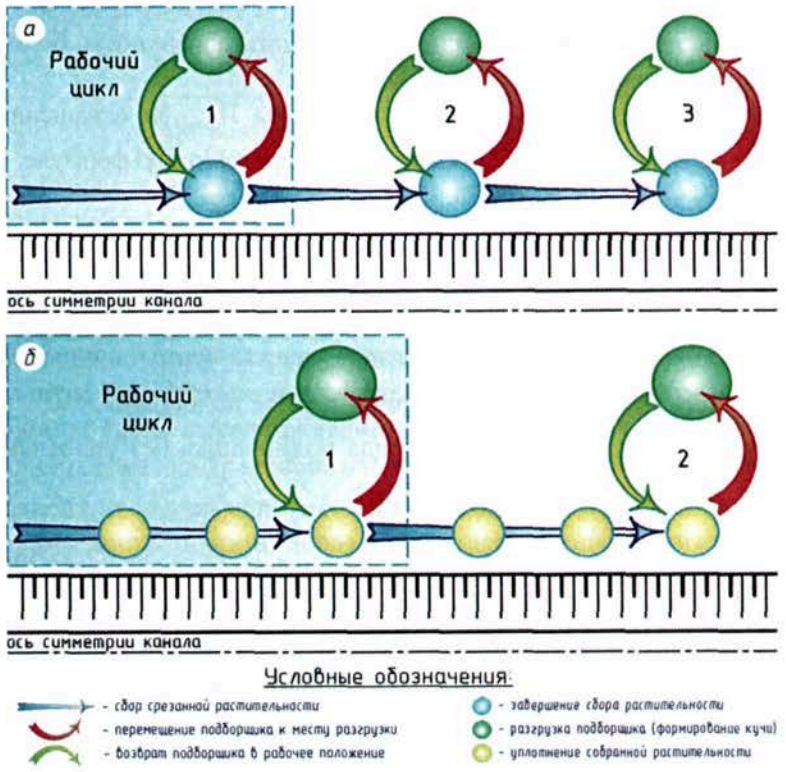


Рис. 3.63. Структура рабочего цикла подборщика:
а – без уплотняющих гребенок; *б* – с уплотняющими гребенками

При этом под рабочим объемом подборщика следует понимать геометрический объем, который может быть размещен между его основными элементами – подбирающими зубьями и рамой для гребенок.

Для определения рабочего объема рассматриваемой конструкции подборщика воспользуемся схемой, представленной на рис. 3.64.

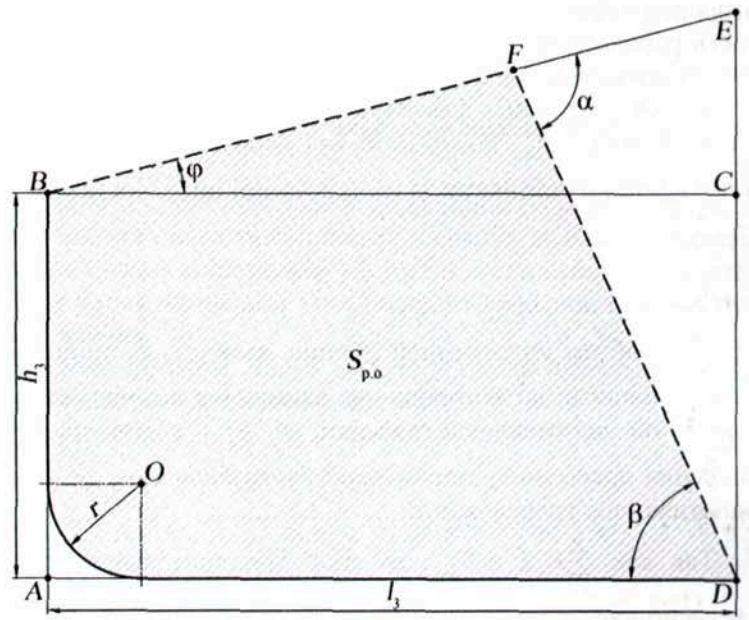


Рис. 3.64. Схема для определения площади «просвета», образуемого между подбирающими зубьями и рамой для гребенок

Рабочий объем подборщика можно определить как произведение ширины его захвата на площадь просвета, образуемого между подбирающими зубьями и рамой для гребенок $V_{р.о} = S_{р.о} b_з$, или

$$V_{р.о} = \left(h_з l_з - r^2(4-\pi) + \frac{l_з^2 \operatorname{tg}\varphi}{2} - \frac{(l_з \operatorname{tg}\varphi + h_з)^2 \sin(90-\beta)\sin(180-\alpha-(90-\beta))}{2\sin\alpha} \right) b_з, \qquad (3.228)$$

где $S_{р.о}$ – площадь просвета, образуемого между подбирающими зубьями и рамой для гребенок, м²; $l_з$ – длина подбирающего зуба, м.

Применение уплотнения древесно-кустарниковой массы непосредственно в процессе ее сбора позволяет высвободить часть рабочего объема подборщика, в который затем собирается дополнительная порция срезанной растительности.

Таким образом, фактический объем древесно-кустарниковой массы $V_ф$, который может собрать подборщик с уплотняющими гребенками за один рабочий цикл, составит:

$$V_ф = \sum_{i=1}^{n} V_{уi} k_у , \qquad (3.229)$$

где $V_{уi}$ – объем уплотненной порции древесно-кустарниковой растительности, до которого она сжимается в процессе опускания i-ой уплотняющей гребенки, м³, $k_у$ – коэффициент уплотнения древесно-кустарниковой растительности; n – число уплотняющих гребенок, шт.

Так как $\sum_{i=1}^{n} V_{уi} k_у > V_{р.о}$, то сбор дополнительного объема древесно-кустарниковой массы позволяет подборщику, оснащенному уплотняющими гребенками, за один рабочий цикл производить очистку участка большей длины:

$$l_{оч.у} = \frac{10000 \sum_{i=1}^{n} V_{уi} k_у}{b_з V_{зап}} . \qquad (3.230)$$

В свою очередь, увеличение длины очищаемого участка сократит число рабочих циклов в час, что позволит сэкономить время, затрачиваемое на разгрузку подборщика.

На основании формулы (3.225) с использованием выражения (3.230), запишем формулу для определения производительности подборщика, оснащенного уплотняющими гребенками $П_{под.у}$:

$$П_{под.у} = \frac{3600}{T_{ц.у}} l_{оч.у} b_з =$$

$$= \frac{3600}{T_{ц.у}} b_з \frac{10000 \sum_{i=1}^{n} V_{уi} k_у}{b_з V_{зап}} = \frac{3{,}6 \cdot 10^7 \sum_{i=1}^{n} V_{уi} k_у}{T_{ц.у} V_{зап}} , \qquad (3.231)$$

где $T_{ц.у}$ – время рабочего цикла для подборщика с уплотняющими гребенками, с.

Причем, при определении времени рабочего цикла для подборщика с уплотняющими гребенками помимо увеличения времени на сбор срезанной растительности необходимо учесть также время на подъем уплотняющих гребенок при разгрузке подборщика.

Таким образом, время рабочего цикла для подборщика с уплотняющими гребенками составит:

$$T_{ц.у} = \frac{10000 \sum_{i=1}^{n} V_{уi} k_у}{ν_{под} b_з V_{зап}} + t_{п1} + t_в + n t_{п.г} + t_{п2} , \qquad (3.232)$$

где $ν_{под}$ – скорость перемещения подборщика при сборе древесно-кустарниковой растительности, м/с; $t_{п.г}$ – время, затрачиваемое на поднятие одной уплотняющей гребенки при разгрузке подборщика.

Анализ формулы (3.231) показывает, что производительность подборщика с уплотняющими гребенками, как и другие его параметры, определенные ранее, зависят от коэффициента уплотнения древесно-кустарниковой растительности $k_у$. При этом с увеличением значения коэффициента уплотнения и числа уплотненных подборщиком порций растительности его производительность будет возрастать. Однако в действительности будут иметь место два ограничивающих фактора – это, во-первых, геометрическая вместимость подборщика (его рабочий объем), а во-вторых, грузоподъемность базового трактора.

В свою очередь коэффициент уплотнения напрямую зависит от первоначальной плотности древесно-кустарниковой растительности и от геометрических параметров рамы и уплотняющих гребенок (от длины уплотняющих гребенок и расстояния между осями их шарнирного крепления на раме). Очевидно, что при каком-то вполне определенном значении коэффициента уплотнения рабочий объем подборщика будет наиболее полно заполнен растительностью, и при этом будет обеспечиваться максимальное использование грузоподъемности базовой машины. То есть при таком значении коэффициента уплотнения производительность подборщика достигнет максимального значения. А параметры подборщика, удовлетворяющие этим условиям, будут являться оптимальными.

Таким образом, определение рациональных параметров подборщика с уплотняющими гребенками сводится к задаче их оптимизации, решаемой на основе математического моделирования.

3.2.4.3. Оптимизация конструктивных и технологических параметров подборщика, оснащенного уплотняющими гребенками

Задачи оптимизации параметров подборщика с уплотняющими гребенками независимо от области их применения решаются методами математического программирования, в частности линейного, нелинейного и динамического.

При этом решение задачи оптимизации параметров подборщика, равно как и любой другой задачи оптимизации, независимо от области ее применения, будет осуществляться по следующей общей схеме (рис. 3.65).

В нашем случае целью задачи оптимизации является определение таких параметров подборщика, при которых его производительность будет достигать максимальных значений. Учитывая это, целевую функцию математической модели можно записать в следующем виде:

$$\Pi_{\text{под.у}} = \frac{3{,}6 \cdot 10^7 \sum_{i=1}^{n} V_{\text{у}_{ij}} k_{\text{у}_j}}{T_{\text{ц.у}_j} V_{\text{зап}}} \to \max, \qquad (3.233)$$

где $V_{\text{у}_{ij}}$ – объем уплотненной порции древесно-кустарниковой растительности, сжатой i-й уплотняющей гребенкой при j-м коэффициенте уплотнения, м³; $k_{\text{у}_j}$ – значение j-го коэффициента уплотнения; $T_{\text{ц.у}_j}$ – время рабочего цикла подборщика при j-м коэффициенте уплотнения, с.

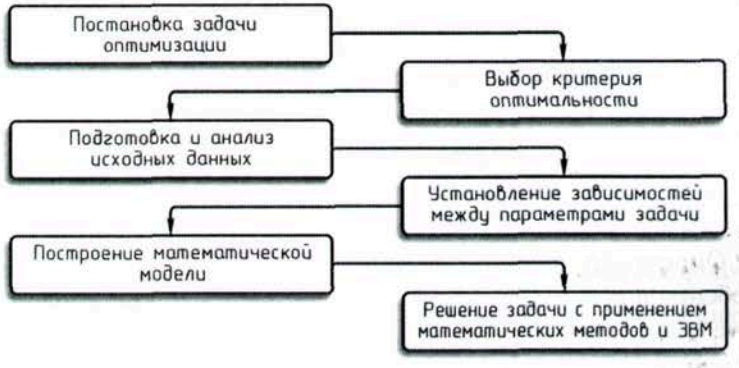


Рис. 3.65. Схема решения задач оптимизации

Причем, согласно формуле (3.208), объем уплотненной порции древесно-кустарниковой растительности, сжатой i-й уплотняющей гребенкой, при j-м коэффициенте уплотнения, составит:

$$V_{\text{у}_{ij}} = \frac{\pi x_{ij}^2 \alpha b_{\text{з}}}{360\left(k_{\text{у}_j} - 1\right)}, \qquad (3.234)$$

где x_{ij} – длина i-й уплотняющей гребенки при j-м коэффициенте уплотнения, м.

Время рабочего цикла подборщика при j-м коэффициенте уплотнения можно определить на основании формулы (3.232):

$$T_{\text{ц.у}_{ij}} = \frac{10000\sum_{i=1}^{n} V_{\text{у}_{ij}} k_{\text{у}_j}}{\nu_{\text{под}} b_{\text{з}} V_{\text{зап}}} + t_{\text{п}_1} + t_{\text{в}} + nt_{\text{п.г}} + t_{\text{п}_2}. \qquad (3.235)$$

Используя систему уравнений (3.223), для значения j-го коэффициента уплотнения можно найти длину первой уплотняющей гребенки и расстояние между осью ее шарнира и осью шарнирного крепления рамы на подборщике:

$$\begin{cases} x_{(i=1)j} = \sqrt{\dfrac{90\left(2h_{\text{з}}^2 \operatorname{ctg}\varphi + r^2(4-\pi)\right)}{180\cos\beta\sin\beta + 180\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi - \dfrac{\pi\alpha}{(k_{yj}-1)}}}, \\ y_{(i=1)j} = \dfrac{x_{(i=1)j}\sin\beta - h_{\text{з}}}{\sin\varphi}. \end{cases} \qquad (3.236)$$

Определить длину каждой последующей i-й уплотняющей гребенки и расстояние между осью ее шарнира и осью шарнира предыдущей гребенки для значения j-го коэффициента уплотнения можно на основе системы уравнений (3.224):

$$\begin{cases} x_{ij} = \sqrt{\dfrac{180x_{(i-1)j}^2\left(\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi + \cos\beta\sin\beta\right)}{180\cos\beta\sin\beta + 180\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi - \dfrac{\pi\alpha}{(k_{yj}-1)}}}, \\ y_{ij} = \dfrac{\left(x_{ij} - x_{(i-1)j}\right)\sin\beta}{\sin\varphi}. \end{cases} \qquad (3.237)$$

Далее определим ряд ограничений, без ввода которых решение данной задачи будет невозможно.

1. Суммарный объем уплотненных порций растительности не должен превышать геометрическую вместимость подборщика (его рабочий объем). Для записи этого условия введем такой параметр, как коэффициент использования рабочего объема подборщика:

$$k_{\text{ро}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_{\text{у}_{ij}}}{V_{\text{р.о}}} \le 1. \qquad (3.238)$$

2. Следует максимально использовать грузоподъемность базовой машины, но при этом суммарная масса подборщика и собранной растительности не должна ее превышать. Для записи данного условия введем коэффициент использования грузоподъемности:

$$k_{\text{гр}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_{\text{у}_{ij}} k_{\text{у}_j} \rho_{\text{н}} + M_{\text{под}}}{Q} \le 1, \qquad (3.239)$$

где $\rho_{\text{н}}$ – первоначальная плотность собранной древесно-кустарниковой растительности, кг/м^3; $M_{\text{под}}$ – ориентировочная масса подборщика, кг; Q – грузоподъемность базовой машины, кг.

3. Если внимательно проанализировать равенства, входящие в системы уравнений (3.236) и (3.237), то можно заметить, что данные системы уравнений имеют решение в случае, когда знаменатель в подкоренном выражении больше нуля, т. е. при выполнении следующего условия:

$$180\cos\beta\sin\beta + 180\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi - \frac{\pi\alpha}{(k_{yj}-1)} > 0,$$

преобразуя которое получим:

$$k_{yj} > 1 + \frac{\pi\alpha}{180\sin\beta(\cos\beta + \sin\beta\operatorname{ctg}\varphi)}. \qquad (3.240)$$

Таким образом, неравенство (3.240) будет служить еще одним ограничением.

4. В качестве дополнительного ограничения можно ввести формулу (3.228), служащую для определения рабочего объема подборщика.

Учитывая установленные ограничения и зависимости, математическая модель оптимизации конструктивных и технологических параметров подборщика, оснащенного уплотняющими гребенками, будет иметь следующий вид:

$$П_{\text{под.у}} = \frac{3{,}6\cdot 10^7 \sum_{i=1}^{n} V_{\text{у}_{ij}} k_{\text{у}_j}}{T_{\text{ц.у}_j} V_{\text{зап}}} \to \max;$$

$$\begin{cases} V_{\text{у}_{ij}} = \dfrac{\pi x_{ij}^2 \alpha b_{\text{з}}}{360\left(k_{\text{у}_j} - 1\right)}, \\ T_{\text{ц.у}_j} = \dfrac{10000 \sum_{i=1}^{n} V_{\text{у}_{ij}} k_{\text{у}_j}}{\nu_{\text{под}} b_{\text{з}} V_{\text{зап}}} + t_{\text{п}_1} + t_{\text{в}} + n t_{\text{п.г}} + t_{\text{п}_2}; \\ \begin{cases} x_{(i=1)j} = \sqrt{\dfrac{90\left(2h_{\text{з}}^2 \operatorname{ctg}\varphi + r^2(4-\pi)\right)}{180\cos\beta\sin\beta + 180\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi - \left(\dfrac{\pi\alpha}{k_{\text{у}_j} - 1}\right)}}, \\ y_{(i=1)j} = \dfrac{x_{(i=1)j}\sin\beta - h_{\text{з}}}{\sin\varphi}; \end{cases} \\ \begin{cases} x_{ij} = \sqrt{\dfrac{180 x_{(i-1)j}^2 \left(\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi + \cos\beta\sin\beta\right)}{180\cos\beta\sin\beta + 180\sin^2\beta\operatorname{ctg}\varphi - \left(\dfrac{\pi\alpha}{k_{\text{у}_j} - 1}\right)}}, \\ y_{ij} = \dfrac{\left(x_{ij} - x_{(i-1)j}\right)\sin\beta}{\sin\varphi}. \end{cases} \end{cases} \quad (3.241)$$

$$k_{\text{р.о}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_{\text{у}_{ij}}}{V_{\text{р.о}}} \le 1; \qquad k_{\text{гр}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_{\text{у}_{ij}} k_{\text{у}_j} \rho_{\text{н}} + M_{\text{под}}}{Q} \le 1;$$

$$k_{\text{у}_j} > 1 + \frac{\pi\alpha}{180\sin\text{в}\left(\cos\beta + \sin\text{в}\operatorname{ctg}\varphi\right)};$$

$$V_{\text{р.о}} = \left(h_{\text{з}} l_{\text{з}} - r^2(4-\pi) + \frac{l_{\text{з}}^2 \operatorname{tg}\varphi}{2} - \frac{\left(l_{\text{з}}\operatorname{tg}\varphi + h_{\text{з}}\right)^2 \sin(90-\text{в})\sin\left(180-\alpha-(90-\beta)\right)}{2\sin\alpha}\right) b_{\text{з}};$$

($i = 1, 2, \ldots, n-1, n$; $j = 1, 2, \ldots, m-1, m$).

Для расчета реальных значений с использованием ЭВМ предложенная математическая модель была реализована в нашей программе с условным названием «Гидра-z», текст которой был написан с использованием синтаксиса языка QBasic. Даная программа работает как независимое приложение MS-DOS и запускается в среде операционных систем семейства Microsoft Windows.

В программе «Гидра-z» коэффициент уплотнения автоматически принимает 900 значений ($j = 1, 2, \ldots, 900$ ($m = 900$)), которые задаются в диапазоне от 1 до 10 с шагом 0,01. Для определения количества уплотняющих гребенок служит счетчик, который срабатывает в случае, когда расчетные параметры для каждой новой гребенки удовлетворяют условиям принятых ограничений.

Результаты расчетов, выполненных с использованием программы «Гидра-z», представлены в табл. 3.2.

На основе полученных данных был построен график (рис. 3.66), характеризующий эффективность применения уплотнения собранной растительности в зависимости от ее первоначальной плотности. Согласно представленному графику, чем ниже первоначальная плотность древесно-кустарниковой растительности, тем в большей степени ее уплотнение обеспечивает рост производительности подборщика.

Таблица 3.2

Результаты расчетов, полученные при помощи программы «Гидра-z»

Показатели	№ расчета													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Первоначальная плотность древесно-кустарниковой растительности, кг/м^3	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
Производительность без уплотняющих гребенок, м^2/ч	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0	5033,0
Производительность подборщика с уплотняющими гребенками, м^2/ч	7981,9	7272,2	7204,7	7099,3	7046,9	6947,9	6852,7	6782,2	6726,0	6644,1	6556,4	6477,2	6394,8	6362,1
Повышение производительности за счет уплотнения ДКР, %	46,67	44,49	43,15	41,05	40,01	38,00	36,15	34,75	33,63	32,01	30,30	28,69	27,10	26,41
Коэффициент уплотнения	5,19	5,87	4,56	5,03	3,65	3,90	4,18	2,86	2,93	3,04	3,17	3,30	3,45	2,10
Коэффициент использования рабочего объема	0,997	0,799	0,935	0,778	0,988	0,859	0,748	0,999	0,938	0,857	0,777	0,710	0,646	0,997
Коэффициент использования грузоподъемности	0,994	0,999	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,982	0,997	0,999	0,997	0,999	0,998	0,986
Длительность рабочего цикла, с	219,8	202,1	185,4	172,7	160,5	151,1	143,1	132,1	128,2	122,9	117,7	113,4	109,3	103,2
Время, затрачиваемое на сбор древесно-кустарниковой растительности, с	187,8	170,1	154,6	141,9	130,9	121,5	113,5	103,7	99,8	94,5	89,3	85,1	80,9	75,9

Продолжение табл. 3.2

Показатели	№ расчета													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Время на перемещение к месту разгрузки, с	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Время на разгрузку подборщика, с	11	11	9,8	9,8	8,6	8,6	8,6	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	6,2
Время на возврат в рабочее положение, с	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Рабочий объем подборщика, м^3	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982	2,982
Суммарный уплотненный объем, м^3	2,974	2,382	2,787	2,319	2,947	2,562	2,232	2,979	2,799	2,556	2,317	2,118	1,927	2,973
Число уплотняющих гребенок, шт.	5	5	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1
1-й уплотненный объем, м^3	0,434	0,365	0,526	0,454	0,756	0,675	0,602	1,219	1,156	1,070	0,983	0,909	0,836	2,973
2-й уплотненный объем, м^3	0,503	0,414	0,626	0,529	0,964	0,840	0,734	1,760	1,643	1,486	1,334	1,209	1,091	–
3-й уплотненный объем, м^3	0,582	0,469	0,746	0,617	1,229	1,047	0,895	–	–	–	–	–	–	–
4-й уплотненный объем, м^3	0,674	0,532	0,889	0,719	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5-й уплотненный объем, м^3	0,781	0,602	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Длина, м 1-й гребенки	1,076	1,064	1,092	1,080	1,129	1,116	1,104	1,202	1,192	1,179	1,165	1,154	1,142	1,443
2-й гребенки	1,158	1,133	1,191	1,165	1,275	1,246	1,219	1,444	1,421	1,389	1,357	1,331	1,304	–

Окончание табл. 3.2

Показатели	№ расчета													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3-й гребенки	1,246	1,206	1,300	1,258	1,440	1,390	1,360	–	–	–	–	–	–	–
4-й гребенки	1,341	1,284	1,419	1,358	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5-й гребенки	1,443	1,366	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Расстояние между осями шарниров, м: рамы и 1-й гребенки	0,033	0,008	0,075	0,042	0,178	0,143	0,110	0,378	0,351	0,315	0,278	0,246	0,214	1,400
1-й и 2-й гребенки	0,225	0,188	0,274	0,236	0,401	0,356	0,316	0,665	0,629	0,579	0,529	0,487	0,446	–
2-й и 3-й гребенки	0,242	0,201	0,299	0,255	0,453	0,397	0,349	–	–	–	–	–	–	–
3-й и 4-й гребенки	0,261	0,213	0,327	0,275	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4-й и 5-й гребенки	0,280	0,227	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. Для расчетов были использованы следующие исходные данные: 1) грузоподъемность базовой машины – 1000 кг; 2) ориентировочная масса подборщика – 300 кг; 3) ширина захвата подборщика – 2 м; 4) длина подбирающих зубьев – 1,5 м; 5) высота подбирающих зубьев – 1 м; 6) радиус закругления подбирающих зубьев – 0,2 м; 7) угол наклона рамы для уплотняющих гребенок – 20 град.; 8) угол поворота уплотняющих гребенок – 90 град.; 9) скорость базовой машины при сборе растительности – 1,2 м/с; 10) время перемещения подборщика к месту выгрузки – 11с; 11) время разгрузки подборщика – 5 с; 12) время на поднятие одной гребенки – 1,2 с; 13) время на возврат подборщика в рабочее положение – 9 с; 14) запас древесины на единицу площади – 342,5 м³/га; 15) первоначальная плотность подбираемой ДКР – 20…120 кг/ м³.

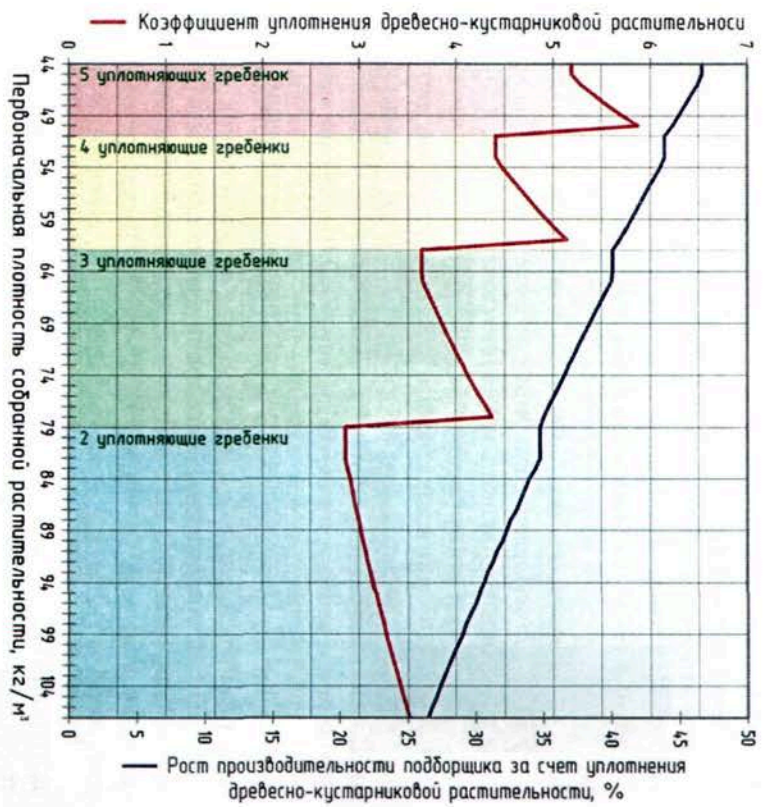
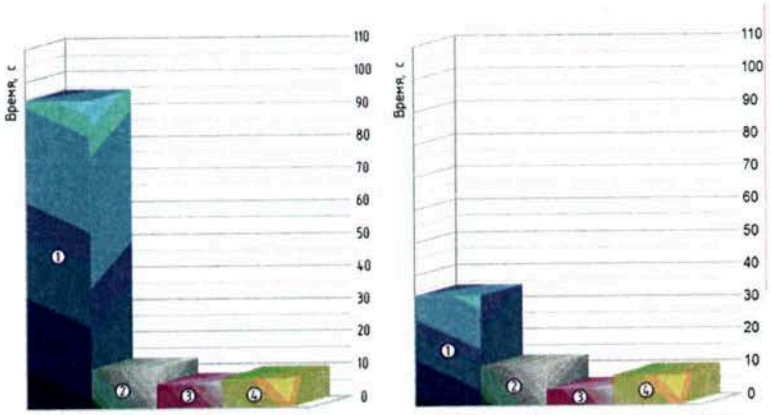


Рис. 3.66. Эффективность применения уплотнения собранной растительности в зависимости от ее первоначальной плотности

Однако анализ теоретических материалов не позволил выявить действительных данных о плотности собираемой растительности, которые можно было бы использовать в расчетах. Поэтому для расчета рациональных параметров подборщика среднюю первоначальную плотность древесно-кустарниковой растительности для конкретных производственных условий следует определять экспериментальным путем.

Также полученные данные позволяют наглядно продемонстрировать, как распределяется время цикла по операциям для подборщика с уплотняющими гребенками и для такого же подборщика без уплотняющих гребенок (рис. 3.67).



а – подборщик с уплотняющими гребенками *б* – подборщик без уплотняющих гребенок

Рис. 3.67. Распределение времени рабочего цикла подборщика по операциям (*при сборе растительности* с первоначальной плотностью 90 кг/м^3):
1 – сбор срезанной растительности;
2 – перемещение к месту разгрузки; *3* – разгрузка подборщика;
4 – возврат в рабочее положение

Кроме того, очевидным преимуществом подборщика с уплотняющими гребенками является то, что из собранной им растительности формируется гораздо меньшее количество куч, которые к тому же являются более плотными и компактными. Причем именно это обстоятельство дает положительный эффект в технологическом плане, так как при переработке древесины на щепу число перемещений рубильной машины от кучи к куче сократится и в тоже время увеличится длительность ее позиционной работы.

3.2.4.4. Теоретическое обоснование конструктивных параметров дополнительных заборных зубьев подборщика

Процесс очистки бермы от срезанной растительности осложнен множеством различных факторов, одним из которых является необходимость собирать как крупные, так и более мелкие древесные остатки. Зачастую мелкие сучья и ветви по-

падают в технологические щели между подбирающими зубьями и остаются на очищаемом участке, снижая тем самым качество выполняемых работ. Для того чтобы сократить количество потерь, предлагается между подбирающими зубьями разместить дополнительные заборные зубья.

Учитывая, что на очищаемой территории будет располагаться большое количество пней, за основу при проектировании таких зубьев можно взять конструкцию, предложенную Ю. Ф. Кичкиным [47]. Данные зубья установлены под определенным углом в направляющих с возможностью перемещения в них, благодаря чему они могут преодолевать препятствия в виде пней.

Однако недостатком таких зубьев является то, что в момент контакта с пнем на них действуют значительные усилия, которые вызывают упругую деформацию зубьев (их продольный изгиб). Так как при очистке территории зубьям часто приходится взаимодействовать с препятствиями в виде пней, то при длительной их эксплуатации в материале зубьев постепенно накапливаются усталостные напряжения. И чем большие нагрузки воспринимают зубья при встрече с пнями, тем быстрее протекает процесс накопления усталостных напряжений в материале, что в свою очередь приводит к снижению долговечности и надежности зубьев.

Таким образом, облегчить режим работы зубьев можно, только уменьшив нагрузки, воспринимаемые зубьями в момент их контакта с пнем.

Проанализируем, какие силы возникают при взаимодействии зуба с пнем.

Со стороны пня на зуб действуют две силы. Во-первых, это нормальная реакция $N_{\text{п}}$, которая направлена в сторону, противоположную перемещению подборщика. Второй силой является сила трения скольжения зуба $F_{\text{п.ск}}$ по боковой образующей пня, которую можно определить по следующей формуле:

$$F_{\text{п.ск}} = N_{\text{п}} f_{\text{п}}, \qquad (3.242)$$

где $f_{\text{п}}$ – коэффициент трения скольжения зуба по поверхности пня.

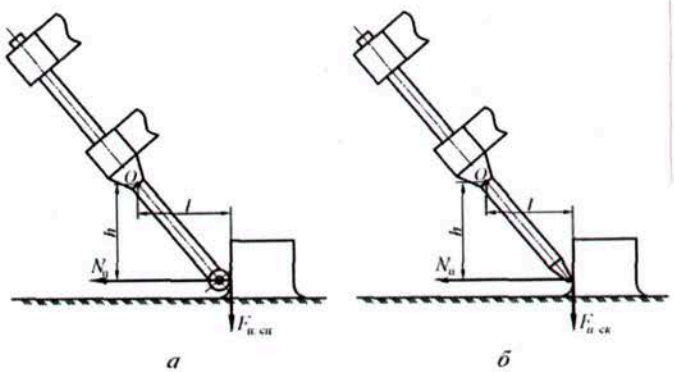
Однако если трение скольжения заменить трением качения, то это позволит уменьшить величину нагрузок, воспринимаемых зубом. Для этого предлагается на конце заборного зуба шарнирно закрепить с возможностью вращения контактный ролик небольшого диаметра. При этом сила трения сцепления, возникающая при перекатывании ролика по поверхности пня, будет напрямую зависеть от коэффициента трения качения (являющегося величиной постоянной) и диаметра контактного ролика. Причем, для уменьшения воспринимаемых зубом нагрузок величина радиуса контактного ролика r должна соответствовать условию:

$$r > r_{\text{н}}, \qquad (3.243)$$

где $r_{\text{н}}$ – неэффективный радиус контактного ролика, мм.

Под неэффективным радиусом контактного ролика $r_{\text{н}}$ понимается такой радиус, при котором изгибающий момент, действующий на зуб с роликом, будет равен изгибающему моменту, возникающему при взаимодействии с пнем такого же собирающего зуба, но без контактного ролика.

Для определения величины неэффективного радиуса контактного ролика $r_{\text{н}}$ рассмотрим две схемы, представленные на рис. 3.68.



а *б*

Рис. 3.68. Схемы для определения изгибающего момента, возникающего при взаимодействии зубьев с пнем:
а – для зуба, оснащенного контактным роликом; *б* – для зуба без ролика

Отметим, что для обоих рассматриваемых случаев изгибающий момент будет действовать относительно точки O, при этом также примем, что величины плеч h и l будут одинаковы для обоих случаев.

Тогда при оснащении зуба контактным роликом с неэффективным радиусом $r_{\text{н}}$ будет выполняться следующее условие:

$$M_{\text{изг.}r} = M_{\text{изг.з}}, \qquad (3.244)$$

где $M_{\text{изг.}r}$ – изгибающий момент, возникающий при взаимодействии с пнем зуба с контактным роликом, Н·м; $M_{\text{изг.з}}$ – изгибающий момент, возникающий при контакте с пнем зуба без ролика, Н·м.

Используя схемы, изображенные на рис. 3.68, определим величины данных изгибающих моментов:

$$M_{\text{изг.}r} = \sum M_{\text{изг.}Or} = N_{\text{п}} h + F_{\text{п.сц}} l, \qquad (3.245)$$

$$M_{\text{изг.з}} = \sum M_{\text{изг.}Oз} = N_{\text{п}} h + F_{\text{п.ск}} l, \qquad (3.246)$$

где $\sum M_{\text{изг.}Or}$ – алгебраическая сумма изгибающих моментов относительно точки O, действующих на собирающий зуб с контактным роликом, Н·м; $\sum M_{\text{изг.}Oз}$ – алгебраическая сумма изгибающих моментов относительно точки O, действующих на зуб без ролика, Н·м; $N_{\text{п}}$ – нормальная реакция, Н; $F_{\text{п.сц}}$ – сила трения сцепления, Н; $F_{\text{п.ск}}$ – сила трения скольжения, Н; h и l – плечи соответствующих сил, м.

Далее определим силу трения сцепления, препятствующую проскальзыванию контактного ролика при его перекатывании по поверхности пня, для чего воспользуемся схемой, представленной на рис. 3.69. В данную схему введем систему декартовых координат OXY, причем пусть центр координат O совпадает с центром контактного ролика.

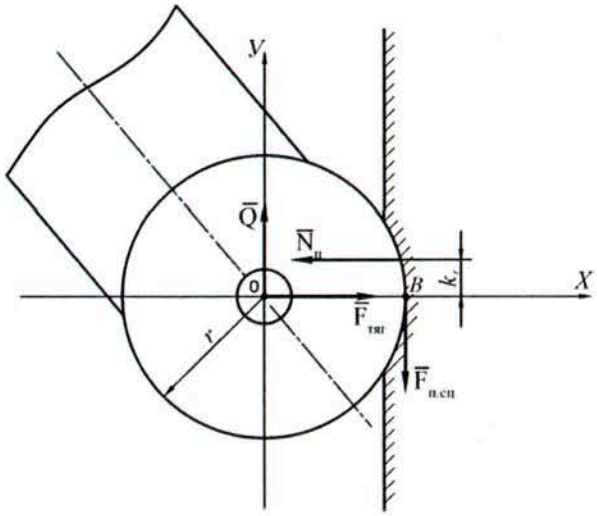


Рис. 3.69. Схема для определения силы трения сцепления, препятствующей проскальзыванию контактного ролика

Затем для определения силы трения сцепления $F_{\text{п.сц}}$ запишем уравнения равновесия плоской системы сил, представленной на рис. 3.69:

$$\sum X_i = 0;\ F_{\text{тяг}} - N_{\text{п}} = 0\,; \tag{3.247}$$

$$\sum Y_i = 0;\ Q - F_{\text{п.сц}} = 0\,; \tag{3.248}$$

$$\sum M_B = 0;\ N_{\text{п}} k_r - Qr = 0\,, \tag{3.249}$$

где $\sum X_i$ – алгебраическая сумма проекций всех сил системы на ось X; $\sum Y_i$ – алгебраическая сумма проекций всех сил системы на ось Y; $\sum M_B$ – алгебраическая сумма моментов всех сил системы относительно точки B; $F_{\text{тяг}}$ – тяговое усилие, развиваемое базовым трактором, Н; Q – усилие, которое необходимо приложить к контактному ролику для преодоления

сопротивления трению качения, Н; r – радиус контактного ролика, м; k_r – коэффициент трения качения.

Из выражений (3.248) и (3.249) находим, что:

$$F_{\text{п.сц}} = Q = \frac{k_r}{r} N_{\text{п}}\,, \tag{3.250}$$

соответственно, при использовании контактного ролика с неэффективным радиусом данная формула примет вид:

$$F_{\text{п.сц}} = Q = \frac{k_r}{r_{\text{н}}} N_{\text{п}}\,. \tag{3.251}$$

Далее, подставив формулу (3.251) в уравнение (3.245), получим:

$$M_{\text{изг.}r} = N_{\text{п}} h + \frac{k_r}{r_{\text{н}}} N_{\text{п}} l\,. \tag{3.252}$$

В свою очередь, подставив уравнение (3.242) в выражение (3.248), имеем:

$$M_{\text{изг.з}} = N_{\text{п}} h + N_{\text{п}} f_{\text{п}} l\,. \tag{3.253}$$

Подставим правые части выражений (3.252) и (3.253) в равенство (3.244) и преобразуем его:

$$r_{\text{н}} = \frac{k_r}{f_{\text{п}}}\,. \tag{3.254}$$

Анализ формулы (3.252) показывает, что при увеличении радиуса контактного ролика величина изгибающего момента убывает вследствие того, что нагрузки от сил трения уменьшаются.

Если же использовать контактные ролики с радиусом $r > r_{\text{н}}$, то равенство (3.244) утрачивает свою силу, так как в этом случае $M_{\text{изг.}r} < M_{\text{изг.з}}$.

Таким образом, на зуб, оснащенный контактным роликом, радиус которого $r > r_{\text{н}} = \dfrac{k_r}{f_{\text{п}}}$, будут действовать меньшие нагрузки (вызывающие продольный изгиб зуба), чем на такой же зуб без контактного ролика. А это значит, что использование зубьев с роликами позволит повысить их долговечность и надежность, а также облегчит режим их работы при обходе препятствий в виде пней.

Однако устанавливать контактные ролики большого диаметра также нежелательно, так как это приведет к увеличению потерь растительности из-за их перекатывания через мелкие древесные остатки и сучья.

Учитывая это, предлагается радиус контактных роликов принимать, руководствуясь следующим условием $\dfrac{d_{\text{з}}}{2} \le r > r_{\text{н}}$, где $d_{\text{з}}$ – диаметр заборного зуба.

Наиболее важным параметром, от которого зависит работоспособность зубьев данной конструкции, является угол их установки к поверхности очищаемого участка.

Согласно исследованиям Ю.Ф. Кичкина [47], собирающие зубья должны быть расположены к поверхности почвы под углом $\alpha_{\text{у}}$:

$$\alpha_{\text{у}} < \alpha_{\text{пр.у}} = \operatorname{arcctg} f_{\text{п}} - \operatorname{arctg} f_{\text{н}}, \qquad (3.255)$$

где $\alpha_{\text{пр.у}}$ – предельная величина угла установки зубьев, при котором исключается возможность обхода зубом пня, град.; $f_{\text{п}}$ – коэффициент трения скольжения зуба по поверхности пня; $f_{\text{н}}$ – коэффициент трения зуба о направляющие.

Так как в конструкцию заборных зубьев были внесены изменения, позволяющие облегчить условия их работы, то и угол их установки к поверхности очищаемого участка будет несколько иным.

Рассмотрим, как оснащение зубьев контактными роликами повлияло на предельную величину угла их установки. Для этого воспользуемся схемой, представленной на рис. 3.70.

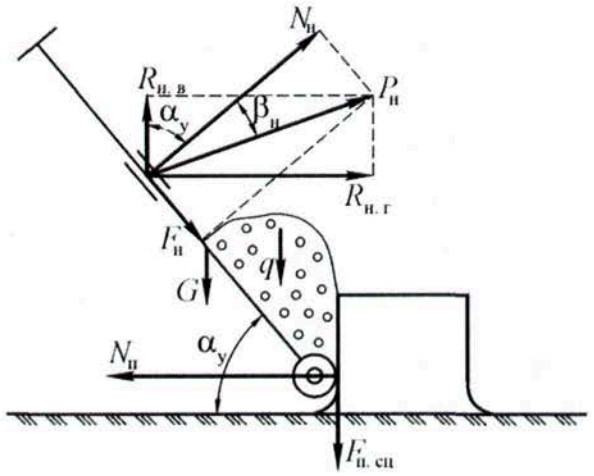


Рис. 3.70. Схема сил, действующих на дополнительный заборный зуб, оснащенный контактным роликом, при обходе пня

Обход пня собирающим зубом возможен под действием вертикальных сил, направленных вверх, то есть под действием силы $R_{\text{н.в}}$:

$$R_{\text{н.в}} = R_{\text{н.г}} \operatorname{ctg}\left(\alpha_{\text{у}} + \beta_{\text{н}}\right), \qquad (3.256)$$

где $R_{\text{н.г}}$ – сила, направленная горизонтально, Н; $\alpha_{\text{у}}$ – угол установки зуба к поверхности очищаемого участка, град.; $\beta_{\text{н}}$ – угол трения собирающего зуба о направляющие, град.

Причем:

$$\beta_{\text{н}} = \operatorname{arctg} f_{\text{н}}. \qquad (3.257)$$

Анализ формулы (3.256) показывает, что величина силы $R_{\text{н.в}}$ зависит от величины угла $\alpha_{\text{у}}$ (т. к. величина угла $\beta_{\text{н}} = \text{const}$), и чем меньше $\alpha_{\text{у}}$, тем больше $R_{\text{н.в}}$.

Определим предельную величину угла $\alpha_{у.пр}$. Преодоление зубом пня становится невозможным при условии равновесия вертикальных и горизонтальных сил:

$$R_{н.в} = F_{п.сц} + q + G, \qquad (3.258)$$

$$R_{н.г} = N_{п}, \qquad (3.259)$$

где q – сила тяжести порубочных остатков, заключенных между зубом и пнем, Н; G – сила тяжести зуба, Н.

Подставляя в формулу (3.256) значения сил $R_{н.в}$ и $R_{н.г}$ из равенств (3.258) и (3.259), получим выражение:

$$F_{п.сц} + q + G = N_{п}\operatorname{ctg}\left(\alpha_{у.пр} + \beta_{н}\right). \qquad (3.260)$$

При этом нормальная реакция, действующая со стороны пня на зуб, будет равна тяговому усилию базового трактора $N_{п} = T_{тяг}$ [47]. Таким образом, можно пренебречь при некотором допущении силами q и G ввиду их малой величины в сравнении с силой $T_{тяг}$ [47]. С учетом этого подставляем в выражение (3.260) равенство (3.250) и после преобразования получаем:

$$\alpha_{у.пр} = \operatorname{arcctg}\frac{k_r}{r} - \operatorname{arctg} f_{н}. \qquad (3.261)$$

Анализируя график (рис. 3.71), построенный по формуле (3.261) для предельных значений коэффициентов трения скольжения и качения стали по древесине ($f_{н} = 0{,}25...0{,}5$; $k_r = 0{,}8...0{,}1$ см [142]), можно сделать следующие выводы.

Во-первых, при радиусе ролика $r > r_{н}$ величина предельного угла установки зуба увеличивается. А это значит, что зубья с контактными роликами можно устанавливать под большим углом к очищаемому участку, что в свою очередь уменьшит их линейные размеры и массу.

Во-вторых, значительное увеличение радиуса ролика в малой степени влияет на величину предельного угла установки зуба.

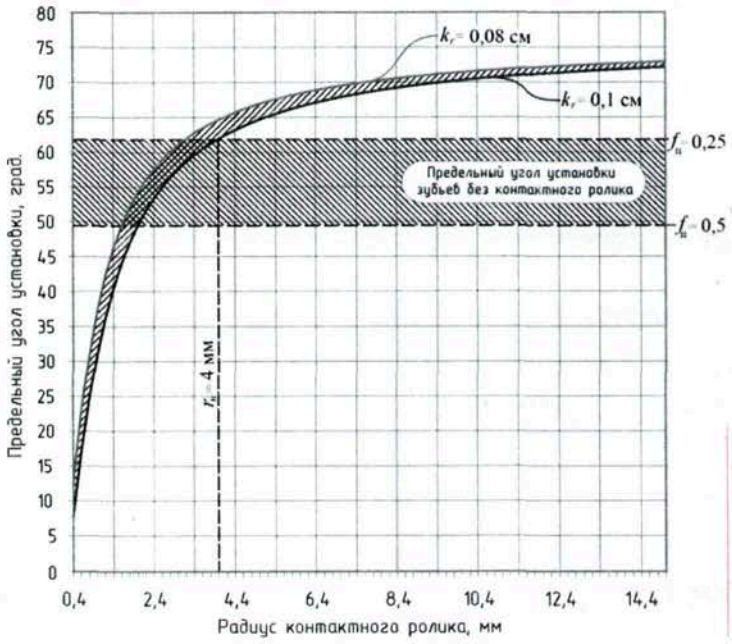


Рис. 3.71. Зависимость величины предельного угла установки зуба от радиуса контактного ролика

Однако рассмотренный выше пример контакта зуба с пнем является лишь частным случаем, а именно таким, когда боковая образующая пня не отклонена от вертикальной оси.

В реальных же производственных условиях чаще всего будет иметь место отклонение боковой образующей пня от вертикальной оси на некоторый угол. Причем наклон боковой образующей пня может как направляться навстречу движущемуся подборщику, так и совпадать с направлением его перемещения. Рассмотрим два этих случая, используя схемы, представленные на рис. 3.72.

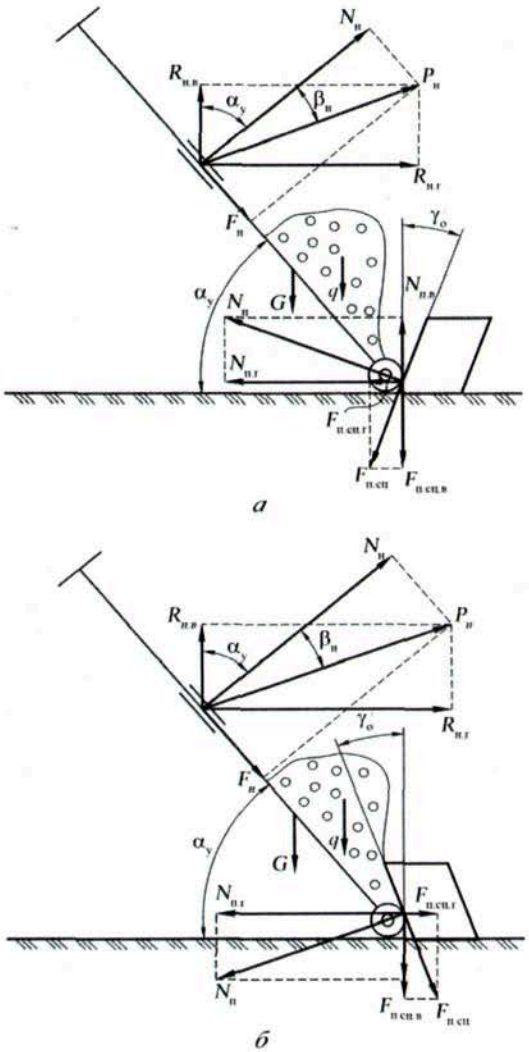


Рис. 3.72. Схема для определения предельного угла установки зуба:
а – наклон боковой образующей пня совпадает с направлением перемещения подборщика;
б – наклон боковой образующей пня направлен навстречу подборщику

Пусть в первом рассматриваемом случае боковая образующая пня отклонена в сторону, совпадающую с направлением перемещения подборщика (рис. 3.72, *а*). Разложим нормальную реакцию и силу трения сцепления на горизонтальные и вертикальные составляющие, определив которые можно записать следующее выражение:

$$R_{н.в} = -N_п \sin\gamma'_о + F_{п.сц}\cos\gamma'_о + q + G\,, \qquad (3.262)$$

$$R_{н.г} = N_п \cos\gamma'_о + F_{п.сц}\sin\gamma'_о\,, \qquad (3.263)$$

где $\gamma'_о$ – угол отклонения боковой образующей пня от вертикальной оси, град.

Учитывая, что $N_п = T_{тяг}$, пренебрегаем при некотором допущении силами q и G ввиду их малой величины в сравнении с силой $T_{тяг}$ [47].

Далее подставим равенства (3.262), (3.263) и (3.257) в формулу (3.256) и после ее преобразования получим:

$$\alpha_{у.пр} = \operatorname{arcctg}\left(\frac{\frac{k_r}{r}\cos\gamma'_о - \sin\gamma'_о}{\cos\gamma'_о + \frac{k_r}{r}\sin\gamma'_о}\right) - \operatorname{arctg} f_н\,. \qquad (3.264)$$

Во втором рассматриваемом случае боковая образующая пня будет наклонена навстречу движущемуся подборщику (рис. 3.72, *б*). Согласно представленной схеме можно записать следующее равенство:

$$R_{н.в} = N_п \sin\gamma'_о + F_{п.сц}\cos\gamma'_о + q + G\,, \qquad (3.265)$$

$$R_{н.г} = N_п \cos\gamma'_о - F_{п.сц}\sin\gamma'_о\,. \qquad (3.266)$$

Принимаем $N_п = T_{тяг}$ [47].

Затем, подставим равенства (3.265), (3.266) и (3.257) в формулу (3.256), после ее преобразования получим:

$$\alpha_{\text{у.пр}} = \operatorname{arcctg}\left(\frac{\frac{k_r}{r}\cos\gamma'_{\text{о}} + \sin\gamma'_{\text{о}}}{\cos\gamma'_{\text{о}} - \frac{k_r}{r}\sin\gamma'_{\text{о}}}\right) - \operatorname{arctg} f_{\text{н}}. \qquad (3.267)$$

Используя уравнения (3.264) и (3.267), запишем общую формулу, применимую для всех рассматриваемых случаев:

$$\alpha_{\text{у.пр}} = \operatorname{arcctg}\left(\frac{\frac{k_r}{r}\cos\gamma'_{\text{о}} \mp \sin\gamma'_{\text{о}}}{\cos\gamma'_{\text{о}} \pm \frac{k_r}{r}\sin\gamma'_{\text{о}}}\right) - \operatorname{arctg} f_{\text{н}}. \qquad (3.268)$$

В формуле (3.268) нижние знаки берутся в случае, когда боковая образующая пня наклонена навстречу подборщику, в противном случае берутся верхние знаки, а при $\gamma'_{\text{о}} = 0$ формула (3.268) преобразуется в уравнение (3.261).

Для зуба без контактного ролика формула (3.268) будет иметь вид:

$$\alpha_{\text{у.пр}} = \operatorname{arcctg}\left(\frac{f_{\text{п}}\cos\gamma'_{\text{о}} \mp \sin\gamma'_{\text{о}}}{\cos\gamma'_{\text{о}} \pm f_{\text{п}}\sin\gamma'_{\text{о}}}\right) - \operatorname{arctg} f_{\text{н}}. \qquad (3.269)$$

Графическое отображение зависимости (3.268) представлено на рис. 3.73. При построении данного графика угол $\text{г}'_{\text{о}}$ для случая, когда боковая образующая пня наклонена навстречу подборщику, был условно принят отрицательным. Как видно из графика (см. рис. 3.73), предельный угол установки зуба принимает минимальные значения при максимальном наклоне боковой образующей пня навстречу подборщику. Следовательно, зубья с роликами должны быть расположены к поверхности очищаемого участка под углом $\alpha_{\text{у}}$:

$$\alpha_{\text{у}} < \alpha_{\text{у.пр}} = \operatorname{arcctg}\left(\frac{\frac{k_r}{r}\cos\gamma'_{\text{о.max}} + \sin\gamma'_{\text{о.max}}}{\cos\gamma'_{\text{о.max}} - \frac{k_r}{r}\sin\gamma'_{\text{о.max}}}\right) - \operatorname{arctg} f_{\text{н}}, \qquad (3.270)$$

где $\gamma'_{\text{о.max}}$ – максимальный угол отклонения боковой образующей пня от вертикальной оси, град.

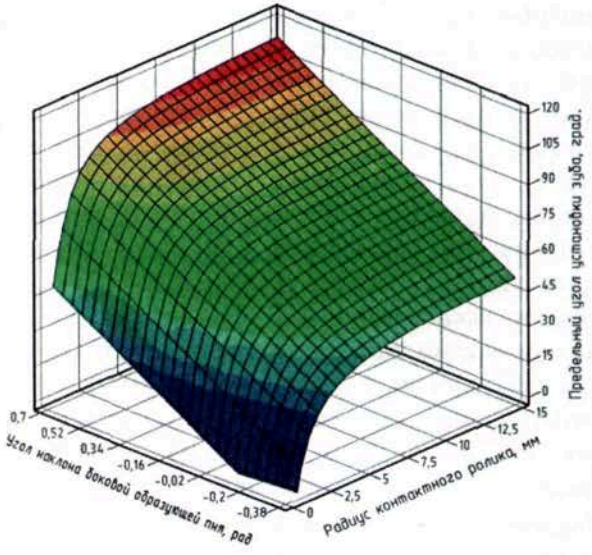


Рис. 3.73. Зависимость предельного угла установки зуба от радиуса контактного ролика и угла наклона боковой образующей пня (при $k_r = 0{,}1$ см)

3.2.5. Теоретическое обоснование конструктивных параметров грейферов, используемых для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности

Захват грейфером срезанного кустарника является сложным процессом, который зависит от целого ряда различных факторов. Изучение этих факторов необходимо как для более

ясного понимания явлений, происходящих в процессе захвата древесно-кустарниковой растительности, так и для уточнения некоторых вопросов теории, конструирования и эксплуатации грейферных механизмов.

Факторы, влияющие на захват грейфером кустарника, можно разделить на две категории: факторы, зависящие от параметров самого грейфера, и факторы, зависящие от физико-механических свойств кустарниковой растительности.

К основным параметрам гидравлических грейферов относят: величину раскрытия челюстей, ширину челюстей, количество, форму и размеры зубьев [53, 135, 212, 269–271].

Однако проведенный обзор научных исследований грейферов, используемых для погрузки различных материалов и грузов, не позволил выявить каких-либо теоретически обоснованных методик расчета эксплуатационных параметров гидравлических грейферов для сбора кустарниковой растительности.

Множество исследований [53, 71, 72, 111, 114, 135, 212, 269, 271] посвящено отысканию рациональных параметров грейферов, работающих с кусковыми, насыпными, волокнистыми материалами, а также с бревнами и штучными грузами. При этом установлено, что параметры грейферов зависят, прежде всего, от свойств захватываемого материала. Кроме того, при работе с насыпными и волокнистыми материалами необходимы значительные усилия для внедрения зубьев грейфера в сам материал.

Физико-механические свойства древесно-кустарниковой растительности в значительной степени отличаются от свойств насыпных и волокнистых материалов. Древесно-кустарниковая масса характеризуется невысокой плотностью и наличием в ней большого количества пустот, благодаря которым зубья грейфера практически беспрепятственно проникают в нее. Наибольшие усилия при захвате кустарниковой растительности возникают в процессе ее сжатия и перемещения по внутренней поверхности зубьев, причем сжатие кустарника необходимо осуществлять для того, чтобы в последствии формировать из собранной растительности более компактные кучи или валы.

Таким образом, существующие методики расчета параметров грейферных механизмов для насыпных и волокнистых материалов невозможно использовать при проектировании грейфера для сбора срезанного кустарника. К тому же при разработке новой конструкции грейфера нашей основной задачей являлось обеспечение сбора отдельных стволов кустарника, попавших после срезки в русло канала, вследствие чего кустарник следует рассматривать как штучный груз, а параметры грейфера устанавливать в зависимости от его размерных характеристик. Как известно, размерные характеристики кустарниковой растительности даже в пределах одной породы изменяются в достаточно широком диапазоне. Поэтому при выборе основных параметров грейфера следует ориентироваться на среднестатистические размерные характеристики кустарника, произрастающего вдоль каналов. Если ориентироваться на максимальные размеры кустарника, то это приведет к увеличению металлоемкости конструкции грейфера и к снижению качества выполняемых работ при сборе более мелкой кустарниковой растительности. Если же ориентироваться на минимальные размеры – то грейфер невозможно будет использовать для извлечения из канала более крупных кустов.

3.2.5.1. Обоснование выбора величины раскрытия и ширины челюстей, количества зубьев и расстояния между ними

Для выбора основных параметров грейфера воспользуемся схемой, представленной на рис. 3.74.

Так как крона кустарника при смыкании челюстей должна сжиматься и деформироваться, то величину раскрытия челюстей предлагается принять равной ширине кроны среднестатистического куста.

Согласно исследованиям [73], ширину кроны и высоту кустарника связывает следующая пропорция $b_{кус} = \frac{1}{3} h_{кус}$. Таким образом, зная среднестатистическую высоту произрастающего

на каналах кустарника, можно определить величину раскрытия челюстей грейфера $L_ч$:

$$L_ч = \frac{1}{3} h_{кус.ср}, \qquad (3.271)$$

где $h_{кус.ср}$ – среднестатистическая высота кустарника, м.

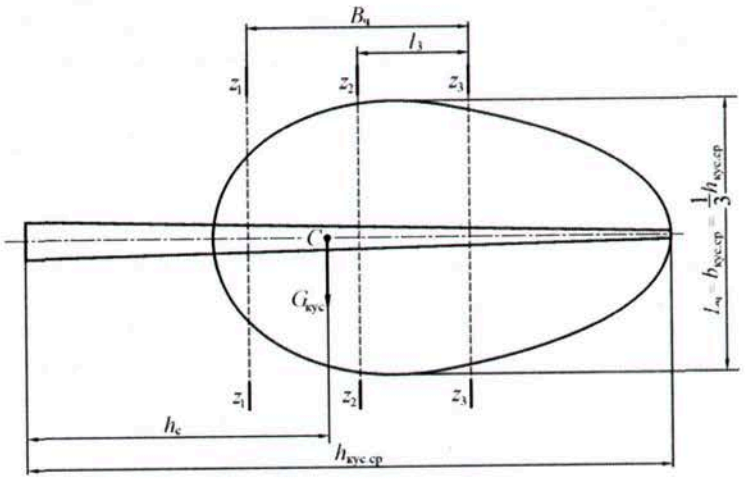


Рис. 3.74. Схема для определения параметров грейфера

Величину раскрытия челюстей и их ширину связывает следующее соотношение [269–271]:

$$\varphi_г = \frac{B_ч}{L_ч}, \qquad (3.272)$$

где $B_ч$ – ширина челюсти, м; для кустарниковой растительности предлагается принять коэффициент $\varphi_г = 0{,}6 \div 0{,}75$.

Таким образом, связав величину раскрытия челюстей с геометрическими параметрами кустарника, ширину челюсти можно определить по формуле:

$$B_ч = \varphi_г L_ч. \qquad (3.273)$$

От числа зубьев и расстояния между ними будет зависеть надежность удержания захваченной растительности.

Уменьшая расстояние между зубьями и увеличивая их количество, можно значительно сократить число потерь, однако при этом будет возрастать металлоемкость и масса грейфера. Кроме того, если зубья будут слишком близко расположены друг к другу, то захваченная растительность будет застревать между ними, осложняя тем самым процесс опорожнения грейфера.

Учитывая данные факторы, предлагается расстояние между зубьями принять равным 0,35–0,55 м.

Тогда число зубьев z в одном ряду челюсти можно рассчитать по формуле:

$$z = \frac{B_ч}{l_з}, \qquad (3.274)$$

где $l_з$ – расстояние между соседними зубьями, м.

Одной из наиболее важных характеристик грейфера является форма его зубьев, так как именно от их кривизны зависят основные конструктивные и энергетические параметры грейфера. С учетом этого задачу по определению рациональной формы зубьев следует рассмотреть более детально.

3.2.5.2. Теоретическое обоснование кривизны захватывающих зубьев

Вопрос о форме зубьев является одним из основополагающих при проектировании грейферного механизма. Конструкцию других узлов грейфера, технологию их изготовления, метод сборки и т. д. определяют главным образом в зависимости от принятой формы зубьев. Зубья грейфера должны иметь такую форму, которая обеспечивает наибольшую производительность, наименьшие сопротивления при захвате (наименьший расход энергии), наилучшее опорожнение грейфера при раскрытии челюстей [269–271].

Особенностью предлагаемой нами конструкции является то, что в процессе захвата второго куста первый должен перемещаться вверх, скользя по внутренней поверхности зубьев. При этом нельзя допускать защемления перемещаемой растительности, которое может привести к перекосу и даже заклиниванию челюстей. Кроме того, древесина должна скользить вверх по зубьям без возникновения значительных перегрузок и с наименьшими энергозатратами.

Проанализируем процесс взаимодействия зубьев с захваченной растительностью.

Так как масса ствола составляет 62,6–70,3 % от всей массы срезанного куста [73], предлагается изучить взаимодействие зубьев именно с этой частью кустарника. Для того чтобы упростить поставленную задачу, примем, что вся масса захваченного куста сконцентрирована в его стволе, а сам ствол будем рассматривать как продольное цилиндрическое тело.

Рассмотрим в декартовой системе координат OXY схему сил, действующих на ствол кустарника при его перемещении по внутренней поверхности зубьев (рис. 3.75).

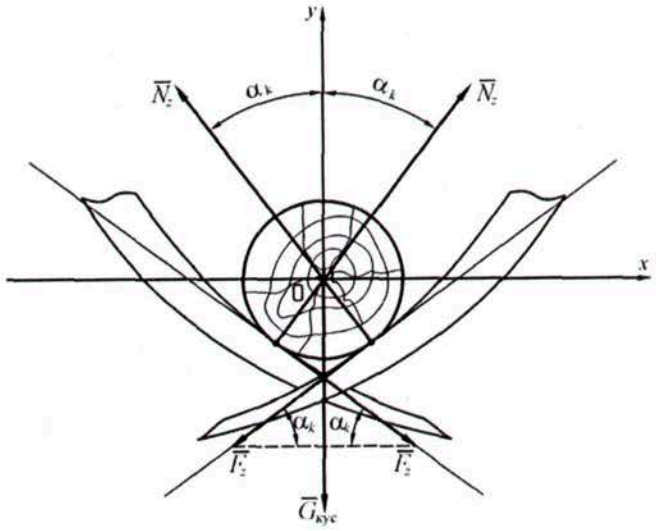


Рис. 3.75. Схема сил, действующих на ствол кустарника

В процессе смыкания челюстей на перемещаемый ствол со стороны захватывающих зубьев действуют нормальные реакции $\overline{N}_z$, направленные вверх под углом α_k к вертикальной оси симметрии грейфера. Возникающие при этом силы трения $\overline{F}_z$ направлены вниз под тем же углом α_k к горизонтальной плоскости.

Спроецировав силы, действующие на поднимаемый ствол, на ось y, можно записать следующее равенство:

$$2zN_z \cos\alpha_k = G_{кус} + 2zF_z \sin\alpha_k , \qquad (3.275)$$

где z – число зубьев в одном ряду челюсти, шт.; $G_{кус}$ – вес кустарника, Н.

Сила трения F_z ствола о внутреннюю поверхность зуба составит:

$$F_z = N_z f_{тр} , \qquad (3.276)$$

где $f_{тр}$ – коэффициент трения скольжения стали по древесине, $f_{тр} = 0{,}25...0{,}5$ [142].

Подставив выражение (3.276) в равенство (3.275) и преобразовав его, получим:

$$N_z = \frac{G_{кус}}{2z\left(\cos\alpha_k - f_{тр}\sin\alpha_k\right)} . \qquad (3.277)$$

На основании формулы (3.277) были произведены расчеты и построен график, отражающий зависимость нормальной реакции N_z от величины угла α_k (рис. 3.76).

Согласно приведенному графику, увеличение угла α_k приводит к возрастанию значений нормальной реакции N_z. Это объясняется тем, что при больших значениях угла α_k вертикальная составляющая сил трения возрастает и для перемеще-

ния ствола по внутренней поверхности зубьев необходимо затрачивать большие усилия. А это в свою очередь приводит к увеличению энергозатрат и возникновению значительных перегрузок.

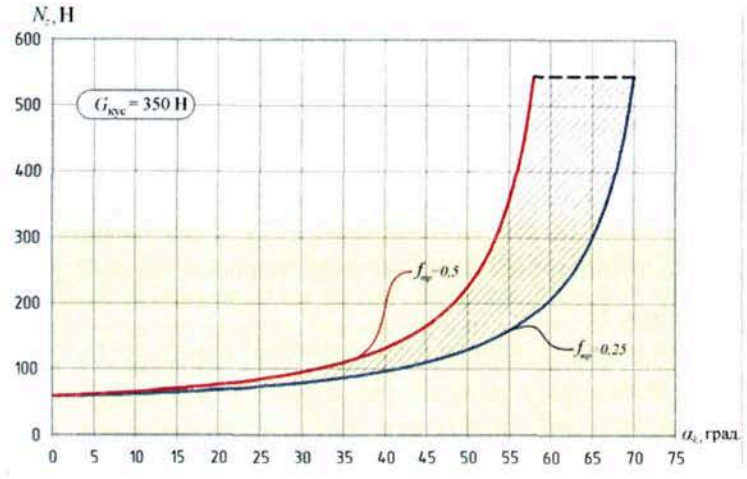


Рис. 3.76. Зависимость нормальной реакции N_z от угла α_k

При этом минимальные значения нормальной реакции N_z наблюдаются при $\alpha_k = 0$, так как в этом случае силы трения будут располагаться в горизонтальной плоскости.

Таким образом, оптимальной формой зуба будет та, при которой угол α_k в течение всего процесса перемещения ствола будет равен нулю.

Учитывая данное условие, выведем уравнение кривой, в виде которой должен быть выполнен внутренний профиль зубьев.

Для этого рассмотрим в декартовой системе координат положение захватывающих зубьев на начальном этапе подъема ствола кустарника (рис. 3.77).

Пусть искомая кривая задана уравнением вида $y = f(x)$, тогда, согласно поставленному выше условию, касательная к

кривой в точке K, расположенной на конце зуба, будет являться перпендикуляром к вертикальной оси симметрии грейфера. Следовательно, нормаль к кривой в точке K будет совпадать с вертикальной осью симметрии грейфера. Тогда можно предположить, что центром кривизны кривой в точке K будет точка $C_к$, являющаяся точкой касания вертикальной оси симметрии грейфера с окружностью, имеющей центр в точке $O_ш$ и радиус $r_о = l_ш/2$, где $l_ш$ – расстояние между центрами шарнирного крепления челюстей на дугообразном элементе.

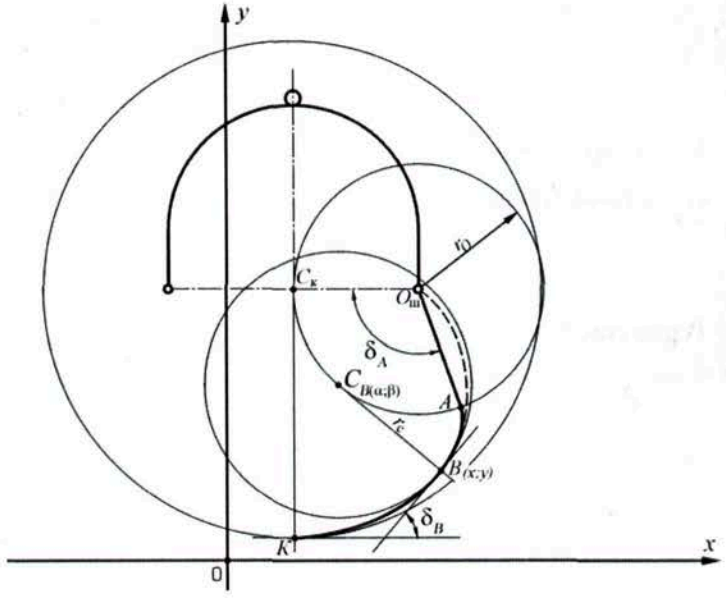


Рис. 3.77. Положение зубьев на начальном этапе подъема ствола

Как видно из схемы, изображенной на рис. 3.77, если условно повернуть челюсть грейфера относительно ее шарнирного крепления на угол δ_A, то ствол кустарника переместится на высоту, равную отрезку $KC_к$.

Таким образом, взаимодействие зуба со стволом будет происходить на участке кривой KA.

Зафиксируем на участке кривой KA точку $B_{(x;y)}$ и определим координаты центра кривизны, соответствующего этой точке. Для этого запишем уравнение нормали к кривой в точке B [209]:

$$Y - y = -\frac{1}{y'}(X - x), \qquad (3.278)$$

где Y и X – текущие координаты точки нормали.

Так как точка $C_{B(\alpha;\beta)}$ лежит на нормали, ее координаты должны удовлетворять уравнению (3.278) [209]:

$$\beta - y = -\frac{1}{y'}(\alpha - x). \qquad (3.279)$$

Кроме того, точка $C_{B(б;в)}$ находится от точки $B_{(x;y)}$ на расстоянии, равном радиусу кривизны r_c:

$$(\alpha - x)^2 + (\beta - y)^2 = r_c{}^2. \qquad (3.280)$$

Решая совместно уравнения (3.279) и (3.280), определим б и в:

$$\alpha = x \pm \frac{y'}{\sqrt{1 + y'}} r_c, \qquad (3.281)$$

$$\beta = y \mp \frac{1}{\sqrt{1 + y'^2}} r_c. \qquad (3.282)$$

Радиус кривизны r_c определяется по формуле [209]:

$$r_c = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\left|\frac{d^2y}{dx^2}\right|}. \qquad (3.283)$$

Подставив формулу (3.283) в выражения (3.281) и (3.282), получим:

$$\alpha = x \pm \frac{y'(1 + y'^2)}{|y''|}, \qquad (3.284)$$

$$\beta = y \mp \frac{1 + y'^2}{|y''|}. \qquad (3.285)$$

Так как кривая в точке B вогнута и, следовательно, $\beta > y$, то следует брать нижние знаки. В этом случае $|y''| = y''$, а центр кривизны будет иметь координаты [209]:

$$\begin{cases} \alpha = x - \dfrac{y'(1 + y'^2)}{y''}, \\ \beta = y + \dfrac{1 + y'^2}{y''}. \end{cases} \qquad (3.286)$$

Если челюсть повернуть относительно точки $O_ш$ на угол $д_B$, то точка контакта зуба со стволом перейдет в точку B. При этом, для того чтобы выполнялось условие $\alpha_k = 0$, центр кривизны для точки B должен также лежать на вертикальной оси симметрии грейфера.

Причем кратчайшим расстоянием от точки $O_ш$ до вертикальной оси симметрии грейфера будет радиус r_O. Так как в процессе захвата кустарника челюсти движутся по круговым траекториям, то можно предположить, что центры кривизны для всех точек участка кривой KA будут располагаться на одной окружности, имеющей радиус r_O и центр в точке $O_ш$.

С учетом данного предположения, исследуем, как с приращением длинны дуги окружности, на которой расположены центры кривизны, изменяется радиус кривизны.

Дифференциал дуги кривой определяется по формуле [209]:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}\,. \qquad (3.287)$$

Так как дугу окружности можно расценивать как частный случай кривой, на основании выражения (3.287) запишем:

$$\left(\frac{dl_r}{dx}\right)^2 = \left(\frac{d\alpha}{dx}\right)^2 + \left(\frac{d\beta}{dx}\right)^2. \qquad (3.288)$$

Учитывая систему уравнений (3.286), можно записать:

$$\frac{d\alpha}{dx} = -y'\frac{3y'y'' - y''' - y'^2 y'''}{y''^2}, \qquad (3.289)$$

$$\frac{d\beta}{dx} = \frac{3y''^2 - y''' - y'^2 y'''}{y''^2}. \qquad (3.290)$$

Подставив уравнения (3.289) и (3.290) в выражение (3.288), получим:

$$\left(\frac{dl_r}{dx}\right)^2 = (1 + y'^2)\left(\frac{3y'y''^2 - y''' - y'^2 y'''}{y''^2}\right)^2. \qquad (3.291)$$

Найдем далее $\left(\frac{dr_c}{dx}\right)^2$. Так как $r_c = \frac{(1 = y'^2)^{3/2}}{y''}$, то $r_c^{\,2} = \frac{(1 = y'^2)^3}{y''^2}$, дифференцируя по x обе части этого равенства, после соответствующих преобразований получим:

$$\left(\frac{dr_c}{dx}\right)^2 = (1 = y'^2)\left(\frac{3y'y''^2 - y''' - y'^2 y'''}{y''^2}\right)^2. \qquad (3.292)$$

Сравнивая равенства (3.291) и (3.292), находим что $\left(\frac{dl_r}{dx}\right)^2 = \left(\frac{dr_c}{dx}\right)^2$, откуда $\frac{dr_c}{dx} = \mp\frac{dl_r}{dx}$.

Так как $\frac{dr_c}{dx}$ не меняет знак (r_c только возрастает, или только убывает), следовательно, и $\frac{dl_r}{dx}$ не меняет знак. Примем для определенности $\frac{dr_c}{dx} \le 0$, $\frac{dl_r}{dx} \ge 0$. Следовательно, $\frac{dr_c}{dx} = -\frac{dl_r}{dx}$.

Далее, пусть точка K имеет абсциссу x_1, а точка B – абсциссу x_2 (рис. 3.78). Применим теорему Коши к функциям $l_r(x)$ и $r_c(x)$ на отрезке $[x_1, x_2]$:

$$\frac{l_r(x_1) - l_r(x_2)}{r_c(x_1) - r_c(x_2)} = \frac{\left(\frac{dl_r}{dx}\right)_{x=\xi}}{\left(\frac{dr_c}{dx}\right)_{x=\xi}} = -1, \qquad (3.293)$$

где ξ – число, заключенное между x_1 и x_2 $(x_1 < \xi < x_2)$.

Введем обозначения $l_r(x_2) = l_{r2}$, $l_r(x_1) = l_{r1}$, $r_c(x_2) = r_{c2}$, $r_c(x_1) = r_{c1}$.

Тогда $\frac{l_{r2} - l_{r1}}{r_{c2} - r_{c1}} = -1$, а это значит, что:

$$|l_{r2} - l_{r1}| = |r_{c2} - r_{c1}|. \qquad (3.294)$$

Таким образом, приращение длины дуги окружности dl_r равно по абсолютной величине соответствующему приращению радиуса кривизны dr_c.

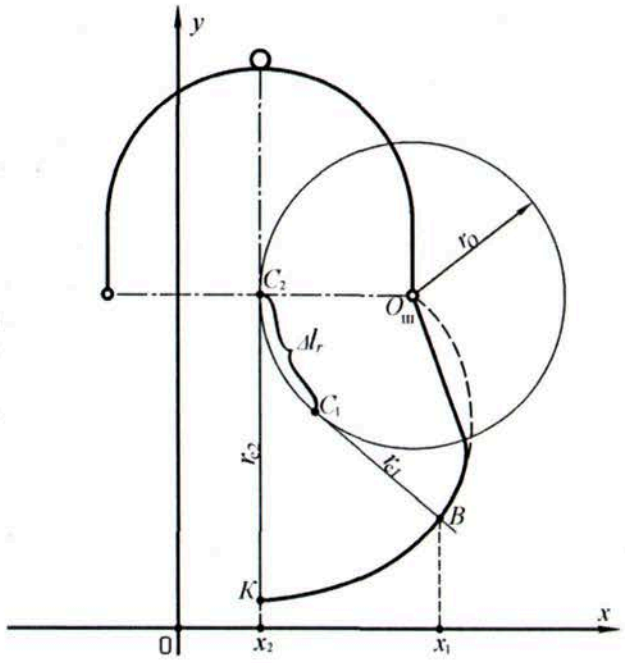


Рис. 3.78. Схема для выявления зависимости
между радиусом кривизны r_c
и приращением длинны дуги окружности l_r

С учетом выражения (3.294) выведем уравнение искомой нами кривой. Для этого рассмотрим схему, представленную на рис. 3.79. Введем в данную схему полярную систему координат с полюсом в центре шарнирного крепления челюсти, а полярную ось проведем через точку A, являющуюся начальной точкой участка кривой KA.

Согласно схеме (см. рис. 3.79), если повернуть челюсть с зубьями относительно полюса на угол $\Delta\psi$, то точка контакта ствола с зубьями перейдет в точку B', при этом ствол кустарника поднимется вверх на высоту $h = \Delta r_c$. Основываясь на выражении (3.294), можно записать, что $\Delta r_c = \Delta l_r$.

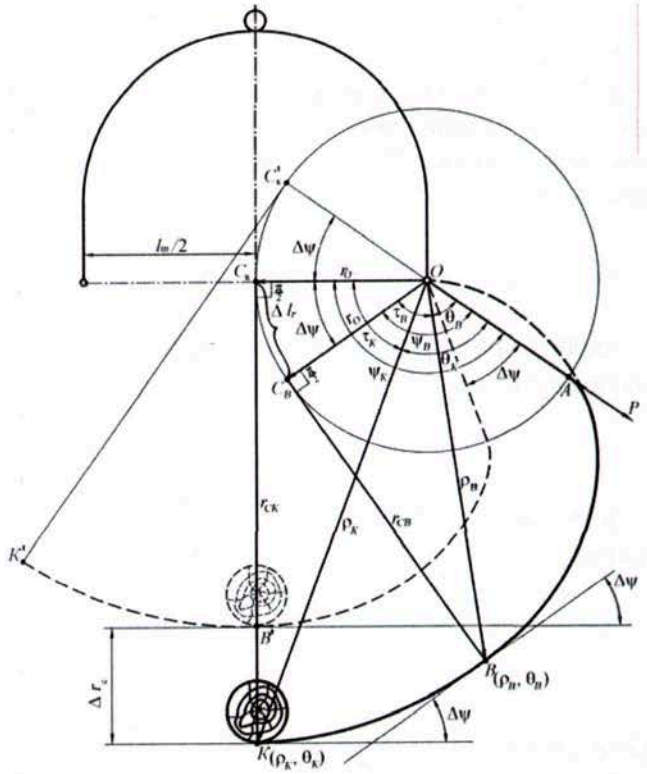


Рис. 3.79. Схема к выводу кривой,
описывающей кривизну захватывающих зубьев

Длину дуги окружности можно определить по формуле [100]:

$$l_r = r_O\psi, \qquad (3.295)$$

где ψ – угол поворота радиуса r_O, рад.

Так как в выражении (3.295) $r_O = \text{const}$, следовательно, $\Delta r_c = r_O\Delta\psi$.

Таким образом, искомая кривая образуется путем вращения относительно полюса прямого угла, у которого одна сторона остается постоянной и равна r_O, а другая изменяется по закону:

$$r_c = r_O \psi . \qquad (3.296)$$

Далее возьмем на участке кривой KA текущую точку B, принадлежащую данной кривой, и определим ее координаты.

Радиус-вектор точки B определим из прямоугольного треугольника ΔBOC_B:

$$c_B = \sqrt{r_O^{\,2} + r_{CB}^{\,2}} \text{ или } c_B = \sqrt{r_O^{\,2} + r_O^{\,2}\psi_B^{\,2}}, \qquad (3.297)$$

где r_{CB} – радиус кривизны, соответствующий точке B, м.

Полярный угол для точки B составит:

$$\theta_B = \psi_B - \tau_B, \qquad (3.298)$$

где τ_B – угол скольжения, рад.

Из схемы, представленной на рис. 3.79, следует, что

$$\tau_B = \operatorname{arctg}\frac{r_{CB}}{r_O}. \qquad (3.299)$$

В силу равенства (3.296) $\psi_B = \dfrac{r_{CB}}{r_O}$, с учетом формулы (3.299), выражение (3.298) примет вид:

$$\theta_B = \psi_B - \operatorname{arctg}\psi_B. \qquad (3.300)$$

На основании выражений (3.297) и (3.300), с учетом данных рис. 3.80, искомая кривая будет описываться системой параметрических уравнений:

$$\begin{cases} \rho = \sqrt{r_O^{\,2} + r_O^{\,2}\psi^2}, \\ \theta = \psi - \operatorname{arctg}\psi. \end{cases} \quad \text{ш} \in [\psi_s; \psi_к], \qquad (3.301)$$

где ρ и θ – координаты текущей точки кривой, ψ – угол поворота радиуса r_O относительно полюса, рад.

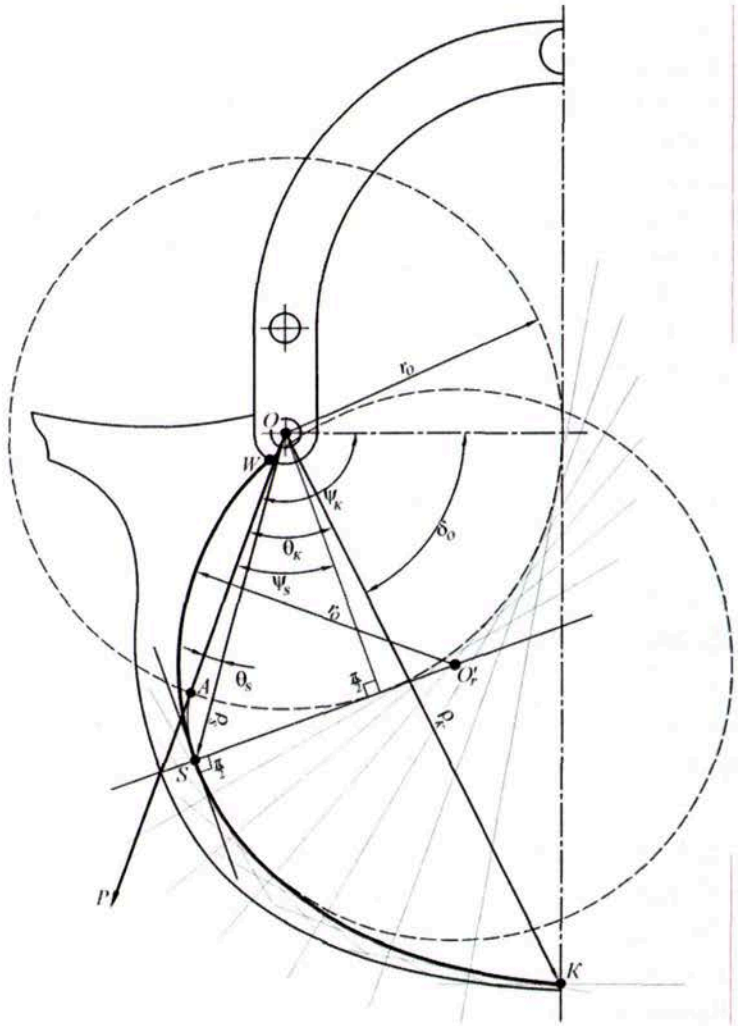


Рис. 3.80. Внутренний профиль захватывающего зуба (*патент РФ № 2308411*): *A* – начальная точка эвольвенты: *SK* – участок эвольвенты, в форме которого выполнена нижняя часть зуба, по которой происходит перемещение ствола; *WS* – дуга окружности, в форме которой выполнен профиль верхней части зуба

Полученная система параметрических уравнений (3.301) представляет собой математическое выражение эвольвенты окружности [95], эволютой для которой будет являться окружность с радиусом r_O и центром, совпадающим с центром шарнирного крепления челюсти.

Однако форму эвольвенты окружности должна иметь только та часть зуба, по которой происходит перемещение древесины. Чтобы установить границы интересующего нас участка кривой, необходимо определить углы ψ_S и ψ_K.

Величину угла ψ_K можно вычислить по формуле:

$$\psi_K = \sqrt{\frac{\rho_K{}^2 - r_O{}^2}{r_O{}^2}}, \qquad (3.302)$$

где ρ_K – радиус-вектор точки, расположенной на конце зуба.

В свою очередь угол ψ_S составит:

$$\psi_S = \sqrt{\frac{\rho_K{}^2 - r_O{}^2}{r_O{}^2}} - \delta_O, \qquad (3.303)$$

где $д_O$ – угол поворота челюсти для смыкания одного ряда зубьев, рад.

Для того чтобы определить величины ρ_K и δ_O, воспользуемся схемой, изображенной на рис. 3.81.

Размеры захватывающих зубьев необходимо устанавливать с учетом того, чтобы обеспечивалась работоспособность грейфера при наименьшей его металлоемкости.

Учитывая это, предлагается принять $\rho_K = l_ш$, так как именно при соблюдении этого равенства зубья будут иметь минимальные геометрические размеры, при которых полностью сохраняется работоспособность предлагаемого грейфера.

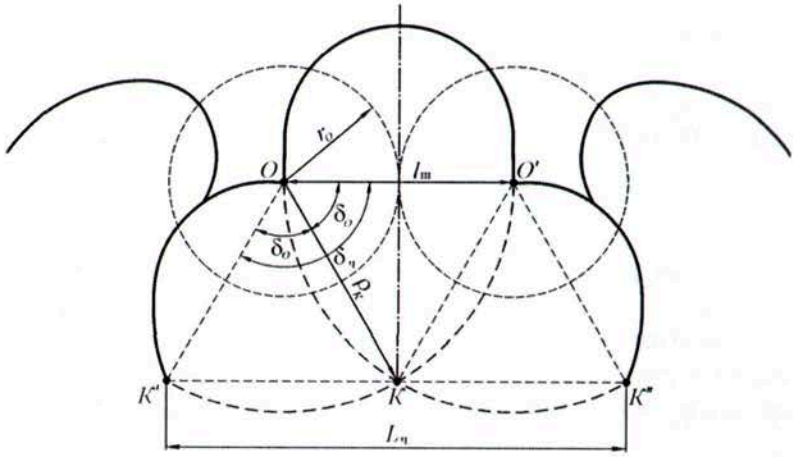


Рис. 3.81. Положение зубьев грейфера при полностью раскрытых челюстях

Приняв что $\rho_K = l_ш$, мы получили равносторонний треугольник $\Delta OKO'$ (см. рис. 3.81), следовательно, угол поворота челюсти для смыкания одного ряда зубьев составит $д_O = 60°$. Так как $\Delta OKO' = \Delta K'OK = \Delta KO'K''$, полный угол поворота челюсти составит $д_ч = 2д_O = 120°$, кроме того, из равенства данных треугольников также вытекает что $l_ш = L_ч/2$.

Установив, что нижняя часть захватывающих зубьев будет иметь форму участка эвольвенты окружности, подберем внутренний профиль верхней части зубьев, который должен обеспечивать наиболее плавное взаимодействие зубьев с ветвями кроны, сжимаемыми в процессе захвата кустарника.

Для обеспечения этого условия предлагается верхнюю часть захватывающих зубьев выполнить в форме дуги окружности с радиусом r_O и центром O_r, расположенным на нормали, проведенной из точки S, и удаленным от этой точки на расстояние, равное r_O (см. рис. 3.80). Благодаря этому участок эвольвенты окружности будет плавно переходить в дугу окружности в точке S.

Таким образом, внутренний профиль захватывающих зубьев будет выполнен по сложной кривой, полученной путем сопряжения участка эвольвенты окружности с дугой окружности [198].

3.2.5.3. Определение энергозатрат на перемещение единичного ствола по внутренней поверхности зубьев грейфера

Энергию, необходимую на перемещение ствола по зубьям первого ряда при смыкании челюстей грейфера, можно определить по формуле:

$$E_{ст} = 2\int_0^{\delta_O} M_ч d\,\delta_O, \qquad (3.304)$$

где $M_ч$ – крутящий момент, который необходимо приложить к каждой челюсти для перемещения ствола, Н·м; δ_O – угол поворота челюсти для смыкания одного ряда зубьев, рад.

Величина крутящего момента для зубьев предложенной кривизны составит:

$$M_ч = zN_z\frac{l_ш}{2} + zN_z f_{тр}\left(\sqrt{\rho_K{}^2 - \frac{l_ш{}^2}{4}} - \frac{l_ш}{2}\delta_O\right). \qquad (3.305)$$

Подставим выражение (3.305) в формулу (3.304) и преобразуем ее:

$$E_{ст} = 2zN_z\int_0^{\delta_O}\left(\frac{l_ш}{2} + f_{тр}\sqrt{\rho_K{}^2 - \frac{l_ш{}^2}{4}} - f_{тр}\frac{l_ш}{2}\delta_O\right)d\,\delta_O. \qquad (3.306)$$

Учитывая, что $2zN_z = G_{кус} = m_{ст}g$, уравнение (3.306) примет вид:

$$E_{ст} = m_{ст}g\int_0^{\delta_O}\left(\frac{l_ш}{2} + f_{тр}\sqrt{\rho_K{}^2 - \frac{l_ш{}^2}{4}} - f_{тр}\frac{l_ш}{2}\delta_O\right)d\,\delta_O. \qquad (3.307)$$

Далее интегрируем выражение (3.307) по углу поворота челюсти:

$$E_{ст} = m_{ст}g\left(\left(2\delta_O\left(l_ш + 2f_{тр}\sqrt{\rho_K{}^2 - \frac{l_ш{}^2}{4}}\right) - f_{тр}l_ш\delta_O{}^2\right)\Big/4\right). \qquad (3.308)$$

По полученному уравнению (3.308) построен график (рис. 3.82), который отражает зависимость энергозатрат от угла поворота челюсти.

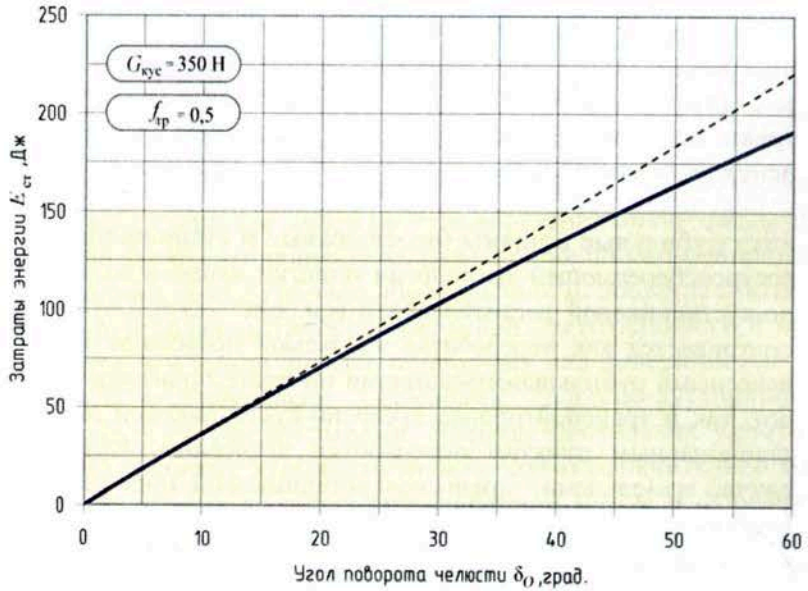


Рис. 3.82. Зависимость затрат энергии на перемещение ствола по зубьям от угла поворота челюстей грейфера

3.3. Повышение эффективности работы технических средств, предназначенных для переработки древесины в щепу

Основными направлениями утилизации древесины кустарника и мелколесья, произрастающих на мелиоративных каналах, является использование ее в виде энергетической (топливной) или технологической щепы. Технологическая щепа предназначается для целлюлозно-бумажного и гидролизного производства, изготовления древесно-стружечных, древесно-волокнистых и других плит. Энергетическая щепа является основой (сырьем) топлива в энергетических установках для получения электрической энергии и тепла.

Улучшение использования древесной биомассы, вовлечение в переработку низкокачественной и малоценной древесины растительности, произрастающей на каналах, является весьма актуальной задачей. Незначительная часть сырья может быть использована без предварительной подготовки, но основная масса требует предварительного измельчения. Как отмечалось ранее, основным оборудованием для измельчения древесного сырья и производства щепы являются рубильные машины (передвижные и стационарные). В ресурсосберегающей технологии очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности (см. рис. 2.5 и 2.6) предусматривается как переработка удаляемой древесины в щепу навесными рубильными машинами на месте производства работ, так и транспортировка древесно-кустарниковой массы к стационарным пунктам переработки древесины. В первом случае измельчение древесно-кустарниковой массы производится навесными рубильными машинами, во втором – стационарными.

В обоих случаях технологический процесс производства щепы и система машин для очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности взаимосвязаны. И одним из главных параметров, определяющих эту взаимосвязь, является качество собранной древесно-кустарниковой массы как исходного сырья для производства щепы.

В традиционных технологических схемах очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности удаление срезанной растительности производится бульдозерами. При сгребании растительности бульдозерами в собранную древесно-кустарниковую массу попадает большое количество грунта и камней, полное удаление которых практически невозможно даже при неоднократном перетряхивании собранной кучи. Такое сырье является непригодным для производства щепы. Частицы минерального грунта и мелкие камни, оставшиеся в собранной древесно-кустарниковой массе, при попадании в рубильную машину приводят к интенсивному износу режущих элементов, заклиниванию рабочего органа, а иногда и к аварийному выходу из строя рубильной машины. Тщательная же очистка древесно-кустарниковой массы с применением ручного труда является достаточно трудоемкой и малопроизводительной, что оказывает существенное влияние на продолжительность рабочего цикла рубильной машины.

В предложенной нами ресурсосберегающей технологии очистки каналов сбор древесно-кустарниковой массы производится специализированным подборщиком-собирателем (см. рис. 3.53). Рабочее оборудование подборщика позволяет при транспортировке собранной растительности к месту разгрузки приподнимать подборщик над поверхностью участка, что исключает загрязнение древесно-кустарниковой массы грунтом и камнями. Наличие нескольких уплотняющих гребенок дает возможность захвата значительно большего объема древесно-кустарниковой массы и формирования более плотных и компактных куч. Также необходимо отметить уникальную особенность грейферного оборудования погрузчика-собирателя, которая позволяет помимо уплотнения собираемой растительной массы производить ее дополнительную вибрационную очистку от грунта и мусора.

Таким образом, древесно-кустарниковая масса, собранная и подготовленная подборщиком-собирателем в компактные уплотненные кучи, является качественным исходным сырьем для дальнейшей переработки. Использование такого сырья для производства щепы рубильными машинами позволит повысить их производительность за счет исключения дополнительных операций подготовки сырья, увеличения времени непрерывной работы на одной стоянке (для передвижных рубильных машин), предотвращения простоев по причине аварийного выхода из строя. Все это, в конечном итоге, позволит повысить эффективность работы рубильных машин в целом.

3.4. Разработка технических средств для угнетения пней

В предложенной нами ресурсосберегающей технологии во избежание вторичного зарастания очищаемых участков предусмотрено угнетение пней. Наносить арборицидную смесь необходимо непосредственно на поверхность пня, что позволит не только сократить расход дорогостоящих химических препаратов, но и предотвратить попадание арборицидов в русло канала.

В рассмотренных ранее конструкциях кусторезов (см. рис. 3.2–3.9, 3.14–3.21) подача арборицида осуществляется одновременно со срезанием древесно-кустарниковой растительности. Арборицидную смесь наносят локально на поверхность пня через пильный рабочий орган кусторeза.

Нанесение арборицидной смеси на пни можно совместить также с операцией подбора срезанной древесно-кустарниковой растительности. Для этого мы рекомендуем использовать подборщик-собиратель, оснащенный навесным устройством для локального угнетения пней (*патент РФ на изобретение № 2308185 «Машина для сбора срезанной древесно-кустарни-ковой растительности и угнетения* пней») [197].

Предлагаемая машина (рис. 3.83) содержит смонтированную на базовом тракторе *1* толкающую раму *2*, на которой шарнирно закреплен рабочий орган, включающий основание *3*, зубья *4* и захват *5* для зажима собранной древесины. Захват *5* шарнирно соединен с основанием *3* посредством тяги *6*, а с рамой *2* – посредством гидроцилиндров *7*. Основание *3* выше места его крепления к раме *2* шарнирно, при помощи гидроцилиндра *8*, соединено с рамой *2*. В нижней части основания *3* шарнирно закреплены поворотные в поперечном направлении зубья *4*, снабженные шарнирно закрепленными на их концах утюжками *9*, которые подпружинены в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Для поворота в вертикальной плоскости рама *2* снабжена гидроцилиндрами *10*.

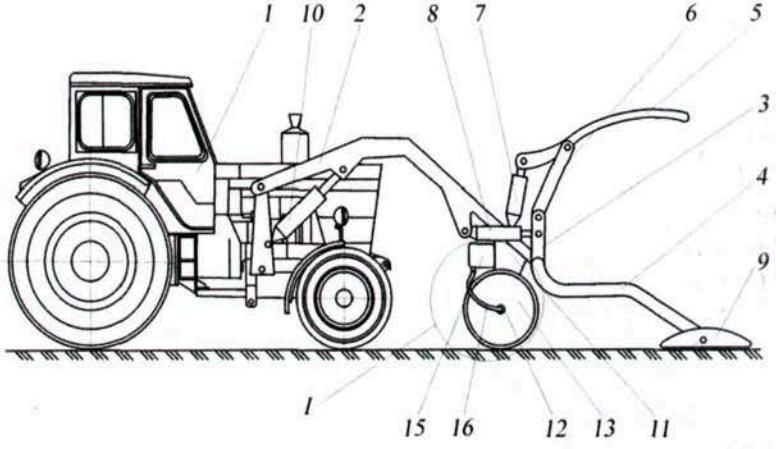


Рис. 3.83. Машина для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности и угнетения пней: *1* – базовый трактор; *2* – толкающая рама; *3* –основание; *4* – зубья; *5* – захват; *6* – тяга; *7, 8, 10* – гидроцилиндры; *9* – утюжки; *11* – стойки; *12* – ось; *13* –опорные колеса; *15* – емкость; *16* – гибкий трубопровод

На толкающей раме *2* позади зубьев *4* установлены стойки *11* (рис. 3.84), на которых шарнирно смонтирована

ось *12* с жестко закрепленными по краям опорными колесами *13* и установленным по центру полым барабаном *14*. На стойках *11* закреплена емкость *15* с арборицидной смесью, соединенная посредством гибкого трубопровода *16* с осью *12*, имеющей канал для подачи арборицидной смеси в полый барабан *14*. На полом барабане *14* закреплены устройства для нанесения арборицидной смеси на поверхность пней (рис. 3.85, 3.86), включающие цилиндр *17* с верхним перепускным клапаном *18*, возвратную пружину *19*, шток *20* с каналом и выходными отверстиями для подачи арборицидной смеси на поверхность пня. На штоке *20* установлен поршень *21*, в центре которого выполнено отверстие, соединенное с каналом внутри штока *20* посредством нижнего перепускного клапана *22*.

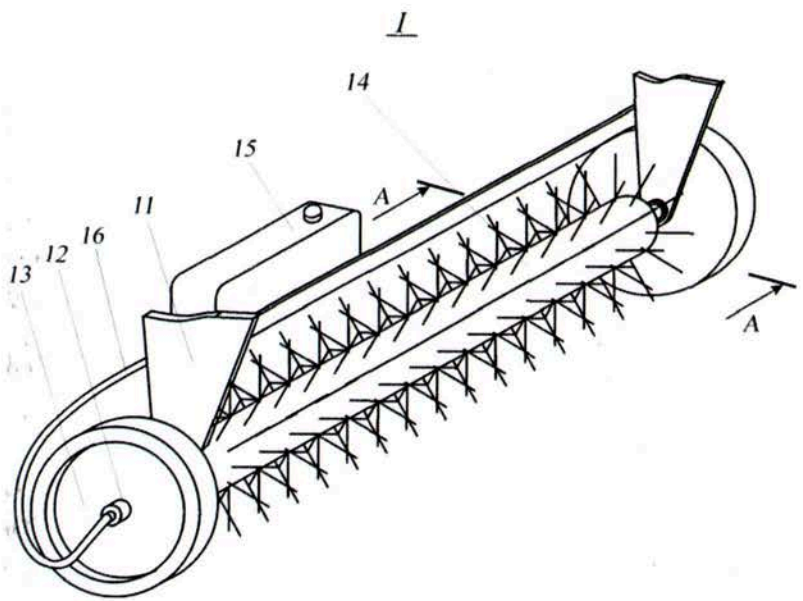


Рис. 3.84. Узел машины для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности и угнетения пней (узел *I* на рис. 3.83): *12* – ось; *13* – опорное колесо; *14* – полый барабан; *15* – емкость; *16* – гибкий трубопровод

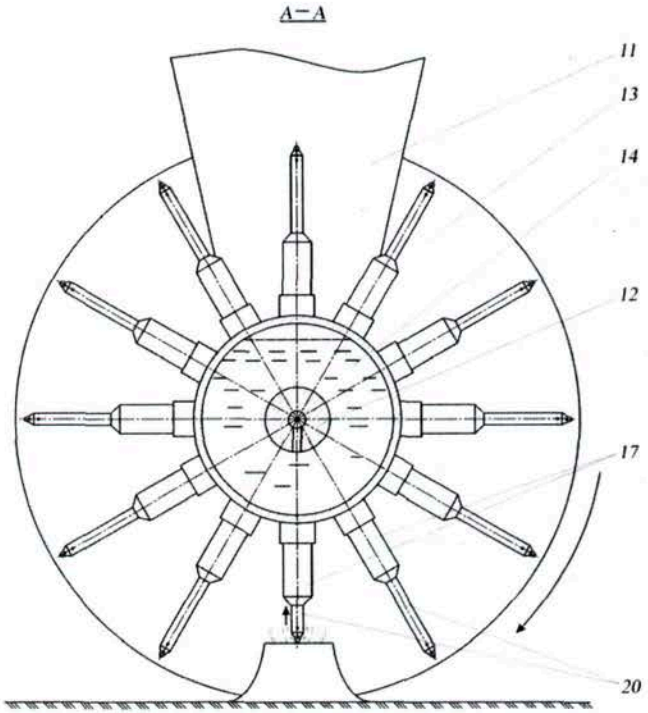


Рис. 3.85. Машина для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности и угнетения пней (сечение *А–А* на рис. 3.84): *11* – стойка; *12* – ось; *13* – опорное колесо; *14* – полый барабан; *17* – цилиндры; *20* – штоки.

Машина работает следующим образом. При помощи гидроцилиндров *10* опускается толкающая рама *2*. При этом опорные колеса *13* и утюжки *9* опираются на грунт. При помощи гидроцилиндров *7* раскрывается захват *5*. При движении трактора *1* вперед по очищаемому участку срезанная древесно-кустарниковая растительность приподнимается утюжками *9* и накапливается на горизонтальной части зубьев *4*.

Поворотные в поперечном направлении зубья *4*, снабженные шарнирно закрепленными на их концах подпружиненными в горизонтальной и вертикальной плоскостях утюжками *9*,

при встрече с пнями или другими препятствиями огибают их. После того как на зубьях *4* накопится достаточное количество срезанной древесно-кустарниковой растительности, при помощи гидроцилиндров *7* для надежной фиксации собранной древесной массы опускают захват *5*, гидроцилиндрами *10* поднимают толкающую раму *2* и груз направляют к месту выгрузки или погрузки в транспортное средство.

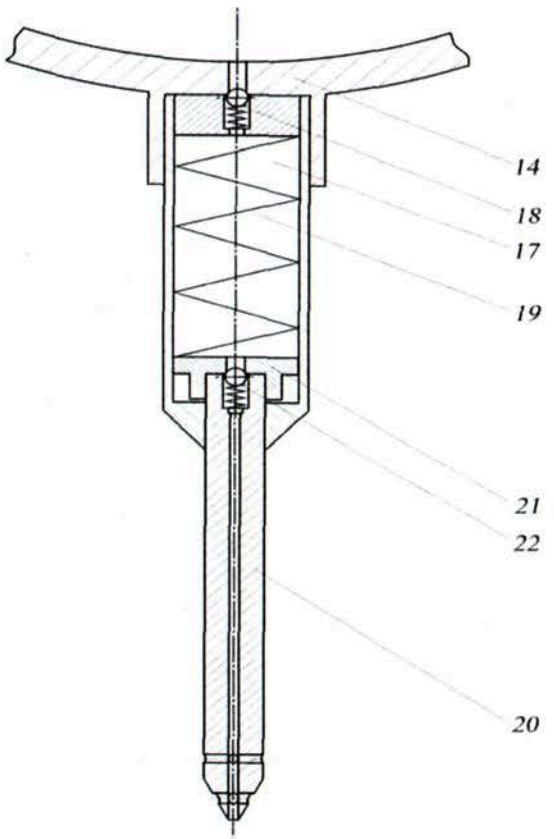


Рис. 3.86. Устройство для нанесения арборицидной смеси на поверхность пней: *14* – полый барабан; *17* – цилиндр; *18*, *22* – верхний и нижний перепускные клапаны; *19* – возвратная пружина; *20* – шток; *21* – поршень

При перемещении машины по очищаемому участку в процессе сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности происходит вращение опирающихся на грунт опорных колес *13*, которые вращают шарнирно закрепленную на стойках *11* ось *12* и барабан *14* с закрепленными на нем устройствами для нанесения арборицидной смеси на поверхность пней. При контакте одного из устройств с пнем происходит вдавливание штока *20* вместе с поршнем *21* в цилиндр *17*, в котором находится порция арборицидной смеси. При этом происходит сжатие возвратной пружины *19* и одновременно с ростом давления внутри цилиндра *17* открывается нижний перепускной клапан *22*, в результате чего через отверстие в центре поршня *21* арборицидная смесь поступает в канал штока *20* и наносится на поверхность пня через отверстия на свободном конце штока *20*. По окончании перемещения поршня *21* вместе со штоком *20* внутрь цилиндра *17* происходит закрытие нижнего перепускного клапана *22* и поступление арборицидной смеси на поверхность пня прекращается. При дальнейшем вращении оси *12* вместе с жестко закрепленным на ней барабаном *14* происходит постепенный выход штока *20* из контакта с пнем. При этом под воздействием возвратной пружины *19* поршень *21* вместе со штоком *20* возвращаются в исходное положение, в результате чего в полости цилиндра *17* возникает разряжение, происходит открытие верхнего перепускного клапана *18* и из барабана *14* в полость цилиндра *17* поступает новая порция арборицидной смеси. По возвращении поршня *21* в исходное положение верхний перепускной клапан *18* закрывается. В барабан *14* арборицидная жидкость поступает из зафиксированной на стойках *11* емкости *15* по гибкому трубопроводу *16*, соединенному с осью *12*, в которой выполнен канал для подачи арборицидной смеси в полость барабана *14*.

Предлагаемая машина дает возможность одновременно со сбором срезанной древесно-кустарниковой растительности производить локальную обработку оставшихся после срезки пней арборицидной смесью, что позволяет совместить операции по сбору срезанной растительности и угнетению пней, сократить сроки производства работ и повысить эффективность технологического процесса в целом.

Далее рассмотрим еще две конструкции рабочего оборудования, которое может быть смонтировано на подборщике для обработки пней арборицидами.

Патент РФ на изобретение № 2322055 «Орудие для нанесения арборицидной смеси на пни» [202].

Предлагаемое орудие (рис. 3.87) содержит раму *1* с проушинами *2* для присоединения к базовой машине. В нижней части рамы *1* установлена полая ось *3*, по краям которой жестко закреплены гидронасосы *4*, на цилиндрических стенках корпусов которых установлены подшипники *5*, наружными кольцами посаженные в ступицы опорных колес *6*, что обеспечивает возможность вращения опорных колес 6 относительно корпусов гидронасосов *4* и полой оси *3* (рис. 3.88).

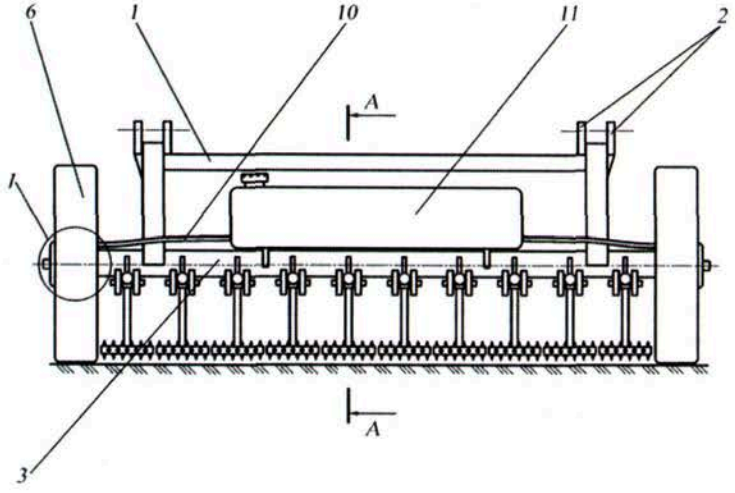


Рис. 3.87. Орудие для нанесения арборицидной смеси на пни:
1 – рама; *2* – проушины; *3* – полая ось; *6* – опорное колесо;
10 – магистраль; *11* – бак

На торцах опорных колес *6* посредством болтовых соединений *7* закреплены крышки *8*. Привод гидронасосов *4* осуществляется за счет того, что валы гидронасосов *4* с помощью шпонок *9* соединены с крышками *8* опорных колес *6*.

К гидронасосам *4* подводятся магистрали *10* для подачи арборицидной смеси из бака *11*, закрепленного вверху полой оси *3*. От гидронасосов *4* арборицидная смесь подается в полую ось *3* через перепускные трубки *12*. Рабочее давление в полой оси *3* поддерживается за счет перепускного клапана *13* и поршней *14*, каждый из которых размещен на перепускной трубке *12* и подпружинен относительно корпуса гидронасоса *4* при помощи пружины *15*. Перепускной клапан *13* соединяет полую ось *3* с полостью бака *11*.

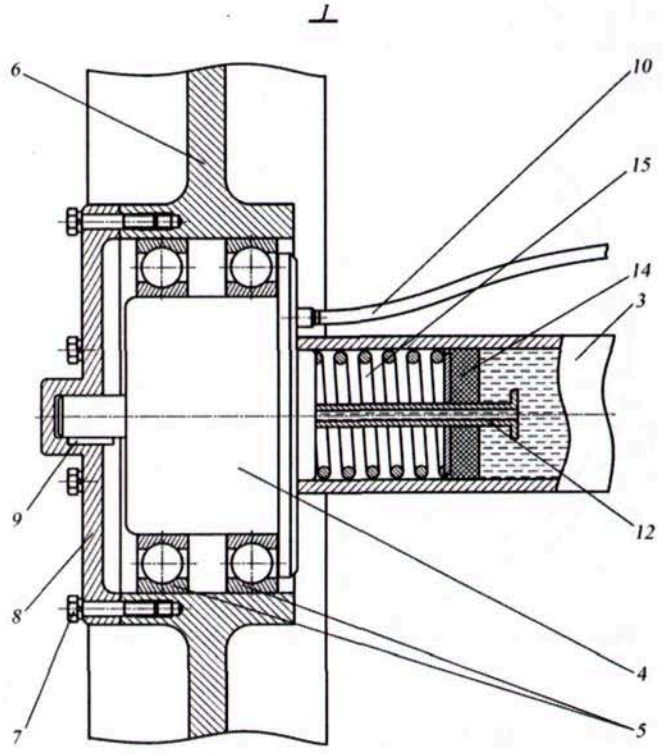


Рис. 3.88. Узел орудия для нанесения арборицидной смеси на пни (узел *1* на рис. 3.88): *3* – полая ось; *4* – гидронасос; *5* – подшипники; *6* – опорное колесо; *7* – болтовое соединение; *8* – крышка; *9* – шпонка; *10* – магистраль; *12* – перепускная трубка; *14* – поршень; *15* – пружина

Кроме того, на нижней части полой оси *3* жестко зафиксированы стойки *16* с шарнирно закрепленными подпружиненными рычагами *17*, на каждом из которых установлен рыхлитель поверхности пня *18*, выполненный в виде круглого прутка с зубьями *19* (рис. 3.89). При этом рычаги *17* подпружинены относительно полой оси *3* упругими элементами *20*.

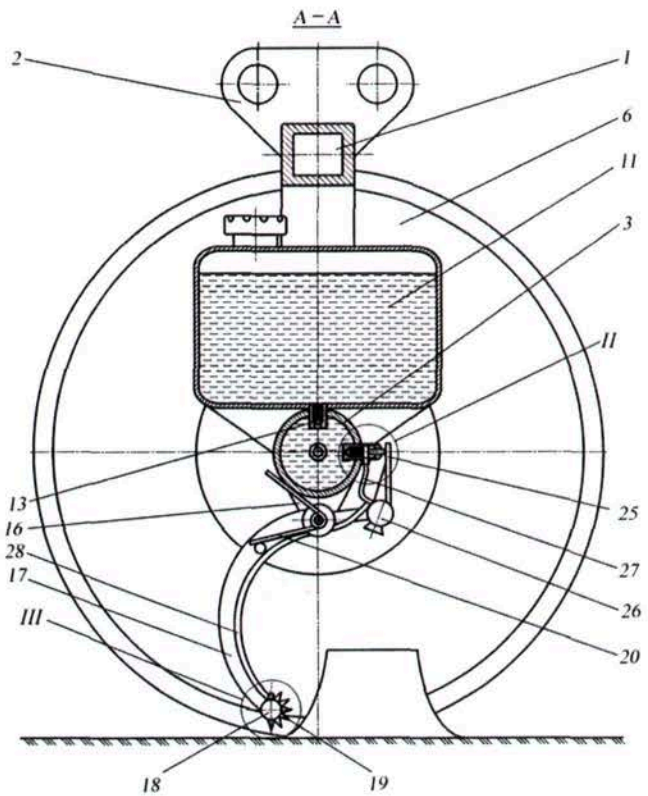


Рис. 3.89. Орудие для нанесения арборицидной смеси на пни (сечение *А–А* на рис. 3.87): *1* – рама; *2* – проушины; *3* – полая ось; *6* – опорное колесо; *11* – бак; *13* – перепускной клапан; *16* – стойка; *17* – подпружиненный рычаг; *18* – рыхлитель поверхности пня; *19* – зубья; *20* – упругий элемент; *25* – толкатель; *26* – распылитель; *27, 28* – трубопроводы

Также орудие содержит две системы одновременной подачи смеси на пни, одна из которых включает размещенные на полой оси *3* и связанные с ее полостью клапаны подачи арборицидной смеси (рис. 3.90), каждый из которых состоит из корпуса *21*, поршня *22*, возвратной пружины *23* и штока *24*. Для срабатывания клапанов подачи арборицидной смеси в верхней части каждого подпружиненного рычага *17* установлен толкатель *25*. Также в верхней части подпружиненного рычага *17* установлен распылитель *26*, соединенный с клапаном подачи арборицидной смеси посредством гибкого трубопровода *27*. Во второй системе подачи арборицидной смеси размещенные на полой оси *3* клапаны подачи арборицидной смеси через гибкие трубопроводы *27* соединены с закрепленными на подпружиненных рычагах *17* трубопроводами *28*, которые в свою очередь соединены с распределительными каналами *29*, выполненными внутри рыхлителей поверхности пня *18* (рис. 3.91).

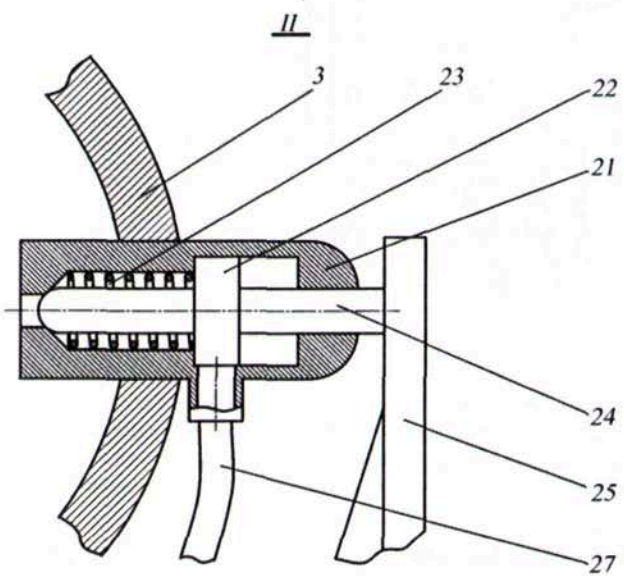


Рис. 3.90. Схема клапана подачи арборицидной смеси (узел *II* на рис. 3.89): *3* – полая ось; *21* – корпус; *22* – поршень; *23* – возвратная пружина; *24* – шток; *25* – толкатель; *27* – трубопровод

Орудие работает следующим образом. При движении по пнистой местности происходит вращение опорных колес *6*, что обеспечивает привод гидронасосов *4*. В результате этого гидронасосы *4* нагнетают арборицидную смесь из бака *11* по перепускным трубкам *12* в полую ось *3*. За счет того, что на перепускных трубках *12* размещены подпружиненные относительно корпусов гидронасосов *4* поршни *14*, в полой оси *3* возрастает давление. При достижении рабочего давления в полой оси *3* происходит срабатывание перепускного клапана *13*, и арборицидная смесь начинает поступать обратно в полость бака *11*, в результате чего в полой оси *3* поддерживается постоянное рабочее давление.

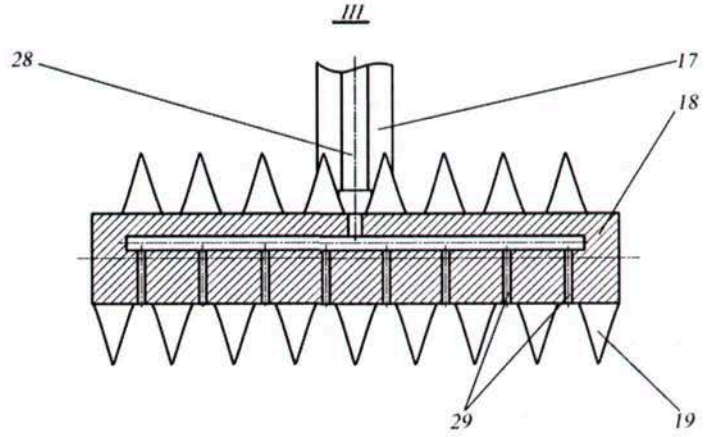


Рис. 3.91. Схема рыхлителя поверхности пня
с распределительными каналами (узел *III* на рис. 3.89):
17 – подпружиненный рычаг; *18* – рыхлитель поверхности пня;
19 – зубья; *28* – трубопровод; *29* – распределительные каналы

При встрече рыхлителя поверхности пня *18* с пнем зубья *19* внедряются в тело пня и начинают разрыхлять его поверхность. Одновременно с этим подпружиненный рычаг *17* начинает поворачиваться назад и сжимает упругий элемент *20*. При этом толкатель *25*, установленный в верхней части подпружиненного рычага *17*, выходит из контакта со штоком *24* клапана подачи арборицидной смеси, и срабатывают две системы одновременной подачи арборицидной смеси на поверхность пня (рис. 3.92).

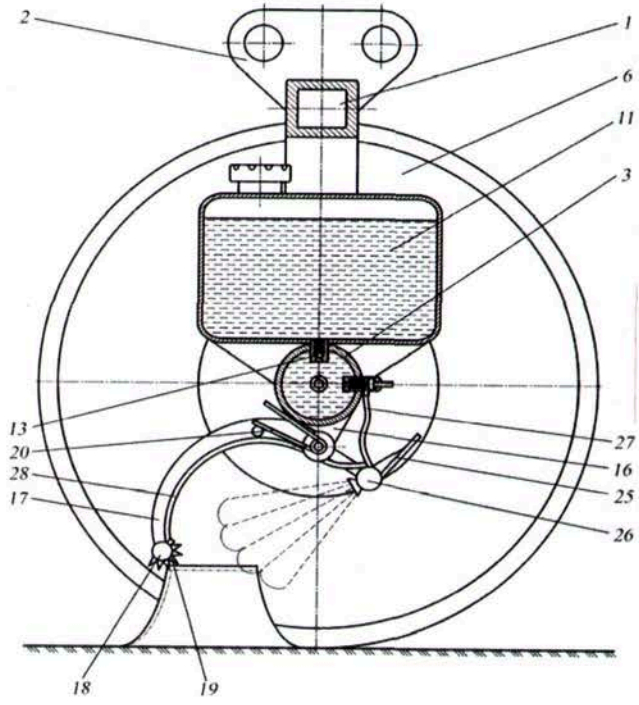


Рис. 3.92. Функциональная схема работы орудия: *1* – рама;
2 – проушины; *3* – полая ось; *6* – опорное колесо; *11* – бак;
13 – перепускной клапан; *16* – стойка; *17* – подпружиненный рычаг;
18 – рыхлитель поверхности пня; *19* – зубья; *20* – упругий элемент;
25 – толкатель; *26* – распылитель; *27, 28* – трубопроводы

Первая система подает смесь из клапана подачи арборицидной смеси по гибкому трубопроводу *27* к распылителю *26*, который разбрызгивает арборицидную смесь на поверхность пня. А вторая система подает смесь из клапана подачи арборицидной смеси через гибкий трубопровод *27* и трубопровод

28, закрепленный на подпружиненном рычаге *17*, к распределительным каналам *29*, выполненным внутри рыхлителя поверхности пня *18* и размещенным за зубьями *19*, что позволяет наносить арборицидную смесь на разрыхленную, хорошо впитывающую поверхность пня.

Предлагаемое орудие для нанесения арборицидной смеси на пни позволяет рационально использовать арборицидную смесь и повышает эффективность ее биологического воздействия за счет нанесения механических повреждений пням в процессе их обработки.

Патент РФ на изобретение № 2335889 «Устройство для угнетения пней» [203].

Предлагаемое устройство (рис. 3.93) содержит кронштейн *1* для крепления его к базовой машине, в нижней части жестко соединяющийся с осью *2*, опирающейся по краям на два опорных колеса *3*. На оси *2* смонтирован бак *4* с арборицидной смесью и магистралями *5* забора смеси. Также к оси *2* жестко крепятся стойки *6*, на которых смонтировано несколько механизмов подачи арборицидной смеси, каждый из которых состоит из нагнетательного цилиндра и пилообразного ножа *7* (рис. 3.94). При этом нагнетательный цилиндр содержит корпус *8* с впускным *9* и выпускным *10* клапанами, поршень *11* для стабилизации давления, установленный внутри корпуса *8* и подпружиненный относительно него посредством пружины *12*.

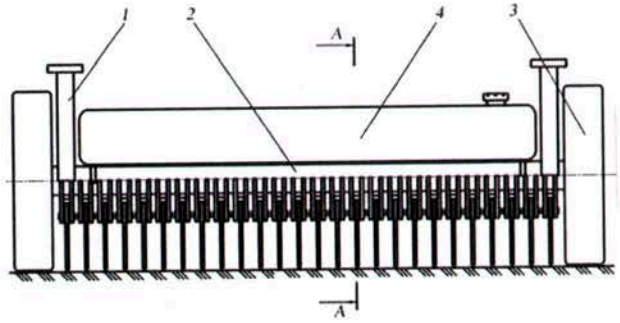


Рис. 3.93. Устройство для угнетения пней:
1 – кронштейн; *2* – ось; *3* – опорное колесо; *4* – бак

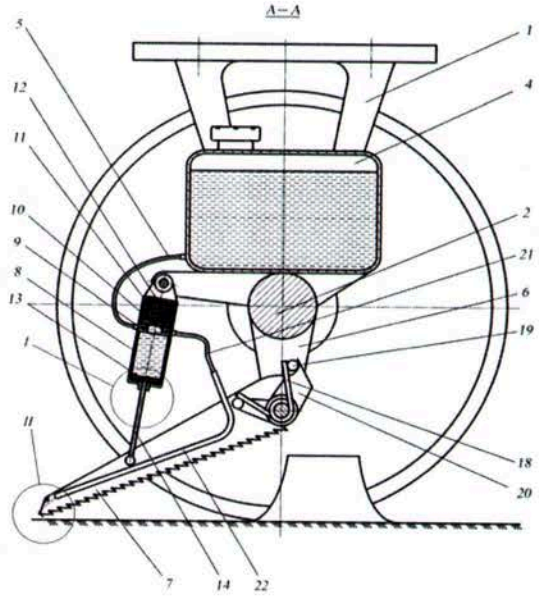


Рис. 3.94. Устройство для угнетения пней
(сечение *A–A* на рис. 3.93): *1* – кронштейн;
2 – ось; *4* – бак; *5* – магистраль; *6* – стойка;
7 – пилообразный нож; *8* – корпус;
9, *10* – впускной и выпускной клапаны;
11 – поршень; *12* – пружина;
13 – нагнетательный поршень;
14 – шток; *18* – пружина; *19* – ограничитель;
20 – стопор; *21* – гибкий трубопровод; *22* – трубка

Также в корпусе *8* размещен нагнетательный поршень *13*, соединенный со штоком *14*, внутри которого выполнен канал *15* подачи арборицидной смеси к распылителям *16*, выполненным в нижней части штока *14* (рис. 3.95). При этом полость корпуса *8* нагнетательного цилиндра сообщена с каналом подачи *15* через перепускной клапан *17*.

Шток *14* шарнирно соединен с пилообразным ножом *7*, который шарнирно закреплен на стойке *6* и подпружинен относительно нее посредством пружины *18*. Причем пилообразный нож *7* снабжен ограничителем *19* для взаимодействия со стопором *20*, размещенным на стойке *6* оси *2*.

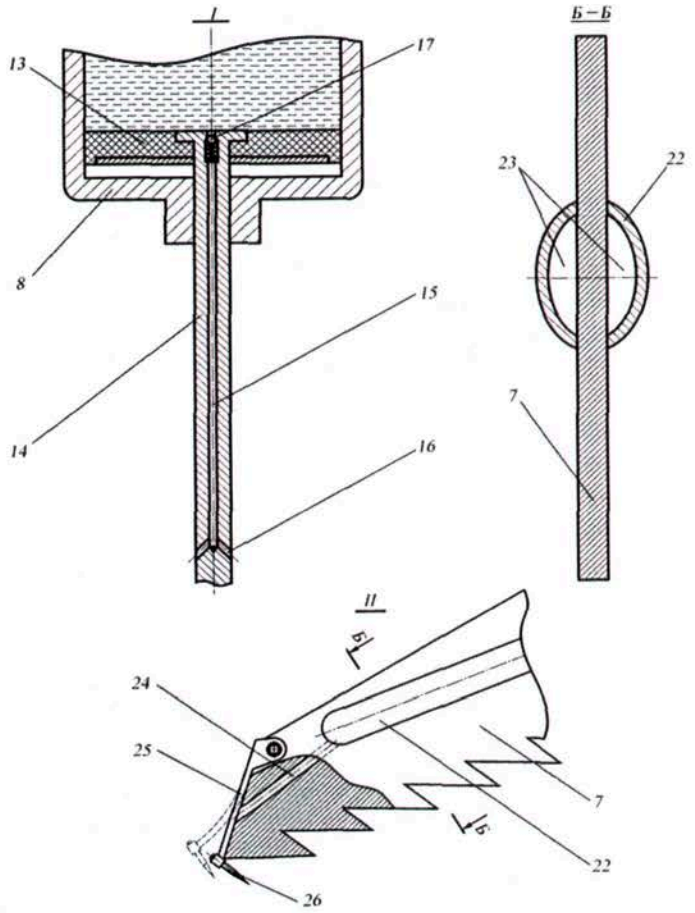


Рис. 3.95. Узлы устройства для угнетения пней (узлы *I*, *II* на рис. 3.94): *7* – пилообразный нож; *8* – корпус; *13* – нагнетательный поршень; *14* – шток; *15*, *23*, *24* – каналы; *16* – распылитель; *17* – перепускной клапан; *22* – трубка; *25* – упругая пластина; *26* – игла

Полость корпуса *8* нагнетательного цилиндра через выпускной клапан *10* посредством гибкого трубопровода *21* соединена с трубкой *22*, закрепленной на боковых поверхностях пилообразного ножа *7* и образующей каналы подачи смеси *23*,

сообщенные с центральным каналом *24*, выполненным внутри концевой части пилообразного ножа *7*. При этом центральный канал *24* заперт упругой пластиной *25*, закрепленной на пилообразном ноже *7* и имеющей на нижнем конце копирующую дно пропила иглу *26*.

Устройство работает следующим образом. При движении по пнистой местности происходит вращение опорных колес *3*, а при встрече подпружиненного пилообразного ножа *7* с пнем происходит его врезание в тело пня и образование по мере перемещения устройства пропила в пне. Одновременно с этим за счет взаимодействия с пнем пилообразный нож *7* начинает поворачиваться относительно стойки *6*, сжимая при этом пружину *18* и приводя в действие механизм подачи арборицидной смеси.

Срабатывание механизма подачи арборицидной смеси происходит следующим образом. Поворачивающийся пилообразный нож *7* обеспечивает задвигание штока *14* в корпус *8* нагнетательного цилиндра, в результате чего в его полости повышается давление, благодаря чему происходит открытие выпускного клапана *10* и арборицидная смесь поступает через гибкий трубопровод *21* и трубку *22* в центральный канал *24*. При копировании иглой *26* дна пропила происходит отгибание упругой пластины *25*, в результате чего открывается центральный канал *24* и арборицидная смесь вносится непосредственно в образованный пропил.

Кроме того, часть арборицидной смеси при повышении давления в полости цилиндра поступает через перепускной клапан *17* в канал подачи смеси *15*, выполненный в штоке *14*. Далее через распылители *16*, выполненные в нижней части штока *14*, смесь наносится на поверхность угнетаемых пней.

При выходе пилообразного ножа *7* из контакта с пнем пружина *18* возвращает пилообразный нож *7* в исходное положение. При этом в полости корпуса *8* нагнетательного цилиндра создается разрежение, открывается впускной клапан *9* и смесь из бака *4* поступает по магистрали *5* в полость корпуса *8* нагнетательного цилиндра, заполняя его новой порцией.

Предлагаемое устройство повышает эффективность биологического воздействия арборицидной смеси за счет внесения ее непосредственно на поверхность пней и в пропилы, образуемые пилообразным ножом.

Определение расхода арборицидов при локальной обработке пней

Расход рабочей жидкости при сплошной обработке пней арборицидами $Q_{спл}$ с применением различных механизированных опрыскивателей можно определить по формуле [170]:

$$Q_{спл} = \frac{600 q_р n_р}{V_а b_з}, \qquad (3.309)$$

где $Q_{спл}$ – расход жидкости при сплошной обработке, л/га; $q_р$ – расход жидкости через один распылитель, л/мин; $n_р$ – число распылителей, шт.; $V_а$ – скорость движения агрегата, км/ч; $b_з$ – ширина полосы, обрабатываемой за один проход агрегата, м.

В нашем случае, с учетом конструктивных особенностей разработанных технических средств, при локальной обработке пней арборицидами величина расхода рабочей жидкости будет напрямую зависеть от количества пней, встречающихся на пути движения агрегата. Тогда формулу (3.309) можно записать в следующем виде:

$$Q_{лок} = \frac{600 q_{пн.ср} n_{пн}}{V_а b_з}, \qquad (3.310)$$

где $Q_{лок}$ – расход жидкости при локальной обработке, л/га; $q_{пн.ср}$ – средний расход жидкости на обработку одного пня, л/мин; $n_{пн}$ – количество пней на обрабатываемом участке, шт.

В формуле (3.310) используется средний расход жидкости на обработку одного пня в связи с тем, что растительность, произрастающая на каналах, имеет различные размерные характеристики, в том числе и диаметры оставшихся после срезания пней.

Производительность подборщика, совмещающего операции сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности и обработки пней арборицидами можно определить по приведенным ранее формулам (3.225) и (3.226), если же подборщик оснащен уплотняющими гребенками – по формулам (3.231) и (3.232).

3.5. Разработка технических средств для очистки каналов

Как было отмечено ранее, очистка каналов от древесно-кустарниковой растительности необходима главным образом для обеспечения беспрепятственного доступа каналоочистительной техники к руслу канала. В комплексе эксплуатационно-ремонтных работ в обязательном порядке должна быть предусмотрена очистка каналов от водной растительности, наносов, мусора и донных отложений. В связи с этим нами была разработана и запатентована конструкция машины для удаления водной растительности из каналов (*патент РФ № 2215093 «Машина для удаления водной растительности из каналов»*) [191].

Предлагаемая машина (рис. 3.96) содержит базовый трактор *1*, основную раму *2* и закрепленную на ней раму *3* шнекового транспортирующего механизма и заборного устройства. Шнековое транспортирующее устройство включает шнековый рабочий орган *4*, приводной конический редуктор *5*, передающий вращение от вала отбора мощности трактора (или от гидромотора при использовании гидравлического привода), гидроцилиндр *6* перевода рамы *3* в вертикальное транспортное положение и гидроцилиндр *7* перемещения в петлях *8* заборного устройства. Данное устройство состоит из основного *9* и

двух боковых *10* щитов, выполненных с отверстиями и пазами для пропуска воды и снабженных острыми режущими кромками, служащими для подрезания водной растительности на откосах.

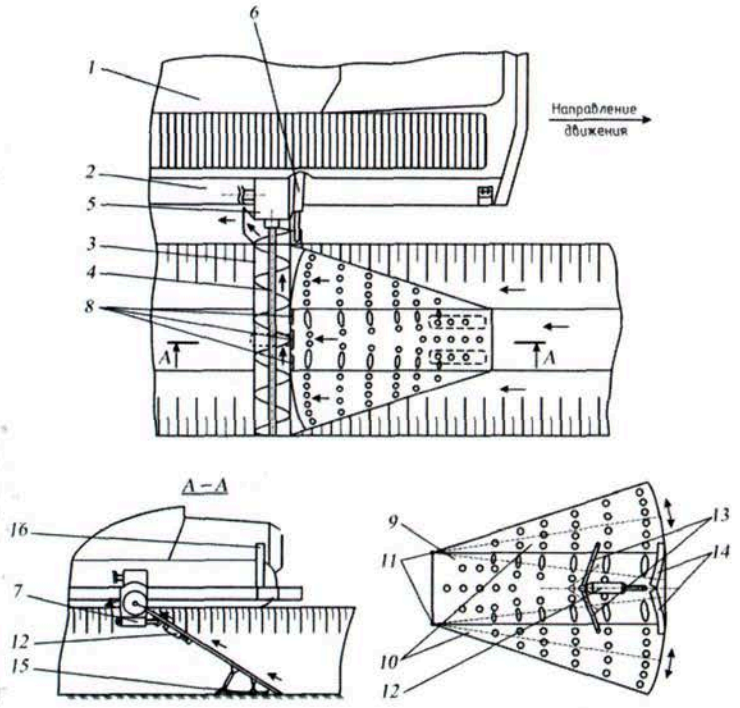


Рис. 3.96. Машина для удаления водной растительности из каналов:
1 – базовый трактор; *2* – основная рама; *3* – рама шнекового транспортирующего механизма и заборного устройства; *4* – шнековый рабочий орган; *5* – конический редуктор; *6*, *7*, *12* – гидроцилиндры; *8* – петли; *9* – основной щит; *10* – боковые щиты; *11* – шарниры; *13* – тяги; *14* – направляющие; *15* – лыжи; *16* – стойка

Боковые щиты *10* являются регулировочными (регулируются под определенный угол наклона откосов канала) и могут вращаться относительно шарниров *11* посредством гидроцилиндра *12* и тяг *13*, перемещаясь по направляющим *14*. При-

чем отверстия на боковых щитах выполнены таким образом, чтобы при перемещении боковых щитов *10* они совпадали с пазами на основном щите *9*, что обеспечивает перетекание воды через них.

Для передвижения по дну канала на основном щите *9* крепятся подпружиненные лыжи *15*. На основной раме *3* машины крепится стойка *16* для фиксации заборного устройства в транспортном положении.

Машина работает следующим образом. При движении агрегата вдоль канала навесной рабочий орган перемещается трактором по дну канала, опираясь на подпружиненные лыжи *15*. При этом гидроцилиндр *7* находится в «плавающем» положении. Одновременно от вала отбора мощности трактора через редуктор *5* (или от гидромотора при использовании гидропривода рабочего органа) осуществляется привод шнекового рабочего органа *4*, закрепленного на раме *3*.

В процессе работы увлекаемые течением и подрезанные режущими кромками боковых щитов *10* водоросли и растительные остатки перемещаются вверх по наклоненному заборному устройству к шнековому рабочему органу *4* и затем транспортируются им на берму канала или в транспортное средство.

Для перевода машины в транспортное положение гидроцилиндром *7* поднимают заборное устройство до горизонтального положения и затем гидроцилиндром *6* переводят раму *3*, а с ней и все рабочее оборудование, в вертикальное положение и фиксируют на стойке *16*.

Предложенная машина для удаления водной растительности позволяет качественно и производительно очищать находящиеся в эксплуатационном режиме каналы с различными параметрами. При очистке крупных каналов следует использовать две одновременно и параллельно движущиеся по противоположным бермам машины.

Для очистки каналов от травяной, мелкой кустарниковой и водной растительности, а также от плавающего мусора нами была разработана еще одна конструкция подобной машины (рис. 3.97).

Предлагаемая машина содержит базовый трактор *1*, режущий аппарат *2* и раму косилки *3*, навешиваемой с правой стороны трактора между передними и задними колесами.

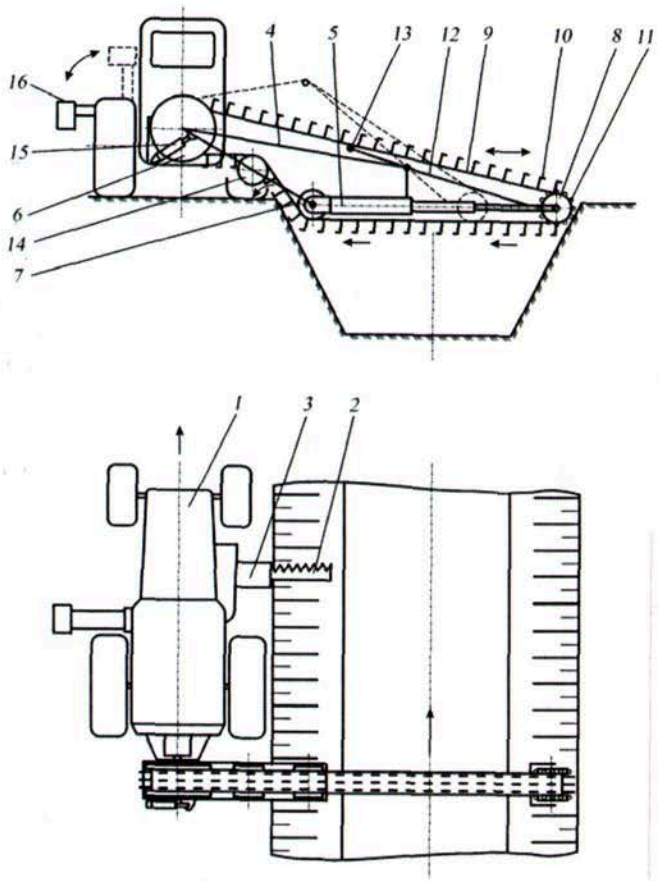


Рис. 3.97. Машина для очистки каналов от растительности:
1 – базовый трактор; *2* – режущий аппарат;
3 – рама косилки; *5* – телескопический гидроцилиндр;
6 – ведущий шкив; *7*, *8* – ведомые шкивы; *9* – ремень;
10 – крючкообразные захватывающие элементы;
11 – ролики; *12* – натяжное устройство; *13* – натяжной ролик;
14 – съемное устройство роликового типа;
15 – гидроцилиндр; *16* – противовес

В задней части машины навешивается механизм транспортирования плавающей растительности, включающий раму *4*, прикрепляющийся к ней телескопический гидроцилиндр *5* для регулирования длины очищаемой поверхности, ведущий *6* и два вспомогательных ведомых шкива *7*, *8*, которые охватывает ремень *9* с упругими крючкообразными захватывающими элементами *10*. Причем ведомый шкив *8* снабжен роликами *11*, позволяющими машине перекатываться по противоположному откосу при взаимодействии с ним и, тем самым, беспрепятственно перемещаться.

На телескопическом гидроцилиндре *5* и раме *4* смонтировано натяжное устройство в виде тяги *12* и натяжного ролика *13*.

Транспортирующий механизм также содержит съемное устройство *14* роликового типа, очищающее захватные элементы *10* от извлеченной из канала водной растительности. Данное устройство установлено на раме *4* непосредственно над поверхностью бермы (до барабана *6*), что позволяет складировать растительность на берме в одну технологическую полосу.

Для перевода рамы *4* в вертикальное транспортное положение предусмотрен гидроцилиндр *15*.

Все рабочее оборудование смещает центр тяжести машины и снижает устойчивость, поэтому в конструкции предусмотрена установка противовеса *16*.

Машина работает следующим образом. При движении базового трактора *1* вдоль канала навесной каналоокашивающий режущий рабочий орган *2*, закрепленный на раме *3* между передними и задними колесами, срезает травяную растительность с откосов. Затем используется механизм транспортирования срезаемой растительности, навешиваемый в задней части машины. При этом гидроцилиндром *15* рама *4* переводится в горизонтальное рабочее положение, включается привод (от вала отбора мощности), вращающий ведущий шкив *6*. Ремень *9* при вращении огибает ведомые шкивы *7*, *8*, а закрепленными на нем упругими крючкообразными захватными элементами

10 захватывает и перемещает на берму плавающую в воде водную растительность, мусор и срезанную с откосов режущим органом *2* травяную и мелкую кустарниковую растительность. Съемное устройство *14* очищает захватные элементы *10* от растительности, оставляя ее на берме или осуществляя непосредственную погрузку ее в транспортные средства для использования в дальнейшем в качестве органических удобрений.

Использование в конструкции телескопического гидроцилиндра *5* позволяет расширить сферу эксплуатации машины и применять ее на каналах с различными параметрами, а наличие натяжного устройства в виде тяги *12* и натяжного ролика *13* обеспечивает постоянство натяжения ремня *9*.

Для перевода транспортирующего механизма в транспортное положение гидроцилиндром *15* поднимают раму *3* в вертикальное положение.

Данная машина для очистки каналов от растительности позволяет качественно и эффективно очищать находящиеся в эксплуатационном режиме каналы с различными параметрами от травяной, мелкой кустарниковой и водной растительности, а также от плавающего мусора. Предлагаемая машина, аналогично рассмотренной ранее машине для удаления водной растительности из каналов, позволяет очищать крупные каналы при одновременном использовании двух машин.

Другой немаловажной задачей в комплексе эксплуатационно-ремонтных работ является очистка каналов от наносов, мусора и донных отложений. Согласно исследованиям, проведенным профессором Ф.К. Абдразаковым и О.В. Кабановым, выявлено, что толщина слоя наносов в отдельных случаях может достигать 800–900 мм и более. Однако по длине каналов наносы распределены неравномерно. Наибольший объем наносов и мусора скапливается у водозаборов, задвижек, разветвлений канала, в аванкамерах и т. д. Поэтому при производстве очистных работ необходимо особое внимание уделять именно этим местам скопления донных отложений [2]. Учитывая неравномерность распределения наносов и отсутствие фронта работ для каналоочистителей непрерывного действия, наиболее эффективным в данном случае будет использование машин циклического действия – одноковшовых экскаваторов.

По вопросу применения одноковшовых экскаваторов для очистки каналов от наносов нами также проводились научные исследования, в ходе которых было разработано телескопическое рабочее оборудование для экскаваторов III размерной группы и получен *патент на полезную модель РФ № 20917* [236].

Рабочее оборудование (рис. 3.98) состоит из стрелы *2*, установленной шарнирно на поворотной платформе экскаватора *1*, телескопической рукояти *3*, шарнирно закрепленной на конце стрелы *2*, гидромоторов с редуктором *4*, закрепленных на конце выдвигающейся части рукояти и осуществляющих поворот ковша *5*. Поворот стрелы *2* относительно платформы *1* осуществляется гидроцилиндром *6*, а поворот рукояти *3* относительно стрелы *2* – гидроцилиндром *7*. Возвратно-поступательное движение телескопической рукояти *3* осуществляется с помощью гидроцилиндра *8*.

Телескопическая рукоять состоит из неподвижной направляющей *11* и подвижной части *12*, которая перемещается на роликах *13* по неподвижной части *11*. Перемещение осуществляется гидроцилиндром *8*, один конец которого закреплен на неподвижной части *11* с помощью пальца *9*, а второй конец соединен с подвижной частью *12* пальцем *10* с таким расчетом, чтобы при максимальном выдвижении штока гидроцилиндра *8* при необходимости можно было извлечь палец *10*, а затем снять подвижную часть *12*.

Такая конструкция рукояти позволяет совмещать работу экскаватора в режиме обратной лопаты с режимом планировщика за счет движения телескопа рукояти. Применение данной конструкции будет еще более эффективным, если совместно с телескопическим рабочим оборудованием предусмотреть использование специализированных ковшей.

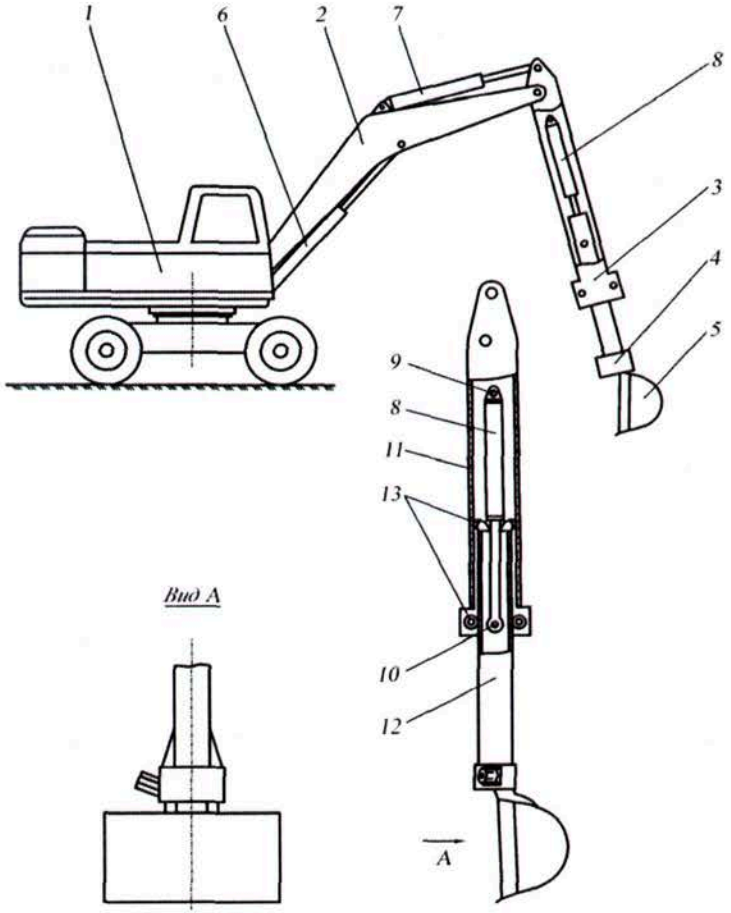


Рис. 3.98. Телескопическое рабочее оборудование экскаватора для очистки каналов от наносов:
1 – поворотная платформа экскаватора; *2* – стрела; *3* – телескопическая рукоять; *4* – гидромотор с редуктором; *5* – ковш; *6* – гидроцилиндр поворота стрелы; *7* – гидроцилиндр поворота рукояти; *8* – гидроцилиндр выдвижения телескопа; *9*, *10* – пальцы крепления гидроцилиндров; *11* – неподвижная направляющая; *12* – подвижная часть; *13* – ролики

В наносах и донных отложениях присутствует грунт с окружающих полей, попадающий в каналы за счет действия

ветра, и грунт, приносимый водой с мест водозабора, а также включения растительных и древесных отложений [2]. Для разработки наносного грунта одноковшовыми экскаваторами целесообразно использовать облегченные сменные ковши увеличенной вместимости. Если очистка канала производится без его опорожнения, то следует использовать специализированные конструкции ковшей, снабженные водовыпускными отверстиями. Таким образом, для очистки каналов от наносов и донных отложений может быть использован стандартный ковш облегченной конструкции (рис. 3.99), предназначенный для зачистки русел рек, водоемов от ила, растительных и древесных отложений [274].

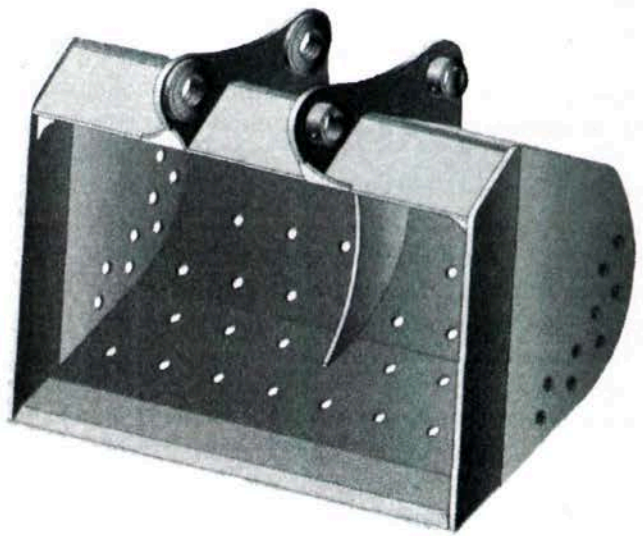


Рис. 3.99. Ковш для зачистки русел рек, водоемов от ила, растительных и древесных отложений

Применение телескопического оборудования совместно со специализированным облегченным ковшом, имеющим сплошную режущую кромку, обеспечит большую производительность работы экскаватора, а также позволит предотвратить разрушение облицовочного покрытия каналов.

Однако следует помнить, что выбор размера ковша тесно связан с устойчивостью экскаватора. Чрезмерная вместимость ковша может привести к ухудшению устойчивости машины, что, в свою очередь, создаст опасность опрокидывания. Принципиальный подход к вопросу выбора ковша с точки зрения устойчивости машины заключается в том, что рабочая нагрузка нового ковша (сумма массы ковша и массы груза) всегда должна быть меньшей или равной по величине максимально допустимой нагрузке для обеспечения боковой устойчивости экскаватора. Масса груза в ковше рассчитывается через произведение его номинальной вместимости на удельную массу разрабатываемого грунта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа состояния мелиоративного комплекса в России и Саратовском Заволжье установлено, что созданная до 1990 г. мощная мелиоративная база за период 1990–2000 гг. была практически разрушена. Происходило сокращение общей площади сельскохозяйственных угодий и площади орошаемых земель, ухудшались их мелиоративное состояние и хозяйственное использование; мелиоративные каналы зарастали древесно-кустарниковой растительностью, их русла засорялись водорослями и наносами; происходило сокращение, физическое и моральное старение парка технических средств, используемых для проведения эксплуатационно-ремонтных работ.

Однако в последние годы начался некоторый подъем в развитии мелиорации в России. Происходит постепенное улучшение основных показателей работы мелиоративного комплекса. Тем не менее, интенсивное развитие мелиорации, повышение продуктивности земель и обеспечение продовольственной безопасности страны не могут обойтись без совершенствования существующих и внедрения новых технологий и технических средств для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на мелиоративных системах.

Анализ существующих технологий эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах показал их недостаточную эффективность и выявил ряд существенных недостатков, устранение которых позволит создавать новые высокоэффективные технологии.

Технические средства, применяемые в технологических процессах эксплуатационно-ремонтных работ на каналах, не в полной мере соответствуют современным требованиям мелиоративного производства, требуют совершенствования, повышения их эффективности и экологической безопасности. Выявлена необходимость разработки новых и совершенствования

существующих машин для срезания древесно-кустарниковой растительности, ее сбора и переработки, обработки пней арборицидами, а также машин для очистки каналов от водной растительности, наносов и мусора.

На основании теоретических исследований и анализа исследовательских материалов предложен алгоритм моделирования структуры новых технологий и составления технологических комплексов машин, представлены способы рационального использования древесины кустарника и мелколесья, разработана комплексная ресурсосберегающая технология очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности с различными альтернативными технологическими схемами по переработке древесины.

Нами предложен основной технологический комплекс машин для выполнения работ по удалению древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов, разработаны и защищены патентами технические средства для срезания древесно-кустарниковой растительности (*патенты РФ на изобретения: № 2251836 «Кусторез маятникового типа»; № 2251837 «Рабочий орган кустореза»; № 2309578 «Рабочий орган для срезания кустарника и угнетения пней»; № 2161399 «Кусторез»; № 2258354 «Кусторез»; № 2309579 «Кусторез для работы на каналах»; № 2316206 «Кусторез»*), сбора и погрузки срезанной древесно-кустарниковой массы *(патенты на изобретения РФ: № 2258355 «Подборщик срезанной древесно-кустарниковой растительности»; № 2308411 «Грейфер»; патенты РФ на полезные модели: № 52664 «Подборщик-собиратель срезанной древесно-кустарниковой растительности»; № 45724 «Грейфер»),* обработки пней арборицидами *(патенты РФ на изобретения: № 2251836 «Кусторез маятникового типа»; № 2251837 «Рабочий орган кустореза»; № 2309579 «Кусторез для работы на каналах»; № 2308185 «Машина для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности и угнетения пней»; № 2322055 «Орудие для нанесения арборицидной смеси на пни»; № 2335889 «Устройство для угнетения пней»),* очистки каналов от водной растительности и наносов

(патент РФ на изобретение № 2215093 «Машина для удаления водной растительности из каналов» и патент на полезную модель РФ № 20917 «Рабочее оборудование гидравлического одноковшового экскаватора»).

В данной работе теоретически обоснованы конструкции кусторезов с дисковыми рабочими органами, рассмотрены кинематические параметры процесса срезания древесно-кустарниковой растительности, способы подачи дисковой пилы, а также геометрия зубьев пил и срезаемой стружки. Исследована динамика рабочих органов, разработаны элементы теории резания для кусторезов с прямолинейной и маятниковой подачей дискового рабочего органа и теоретически обосновано направление падения срезанного ствола. Определены зависимости для расчета мощности, затрачиваемой на привод, и производительности кусторезов, а также обоснованы их рациональные параметры. Предложена оригинальная имитационная энергетическая модель, позволяющая проводить различные экспериментальные исследования процесса резания древесины с использованием маятника.

Теоретически обоснованы конструкции подборщика и грейфера для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности. Рассмотрены конструктивные параметры подборщика с уплотняющими гребенками и влияние процесса уплотнения древесно-кустарниковой растительности на производительность подборщика. Разработаны теоретические положения по оптимизации конструктивных и технологических параметров подборщика, оснащенного уплотняющими гребенками, и определению конструктивных параметров дополнительных заборных зубьев подборщика. Теоретически обоснованы необходимая величина раскрытия и ширина челюстей грейфера, кривизна захватывающих зубьев, их количество и расстояние между ними. Определены зависимости для расчета энергозатрат на перемещение единичного ствола по внутренней поверхности зубьев грейфера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдразаков, Ф. К.* Высокая прибыль от низкосортной древесины / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Сельский механизатор. – 2005. – № 12. – С. 14–15.

2. *Абдразаков, Ф. К.* Интенсификация технологий и совершенствование технических средств в мелиоративном производстве / Ф. К. Абдразаков ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов. – 2002. – 352 с.

3. *Абдразаков, Ф. К.* Комплекс машин и безотходная технология для удаления древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Наукоемкие технологии в мелиорации : материалы Междунар. конф. – М. : ВНИИГиМ, 2005. – С. 467–472.

4. *Абдразаков, Ф. К.* Машины для прокладки и содержания каналов : учеб. пособие / Ф. К. Абдразаков ; Сарат. гос. с.-х. акад. – Саратов, 1997. – 184 с.

5. *Абдразаков, Ф. К.* Мелиоративный комплекс Саратовской области развивается / Ф. К. Абдразаков, В. С. Егоров // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – № 6. – С. 5–7.

6. *Абдразаков, Ф. К.* Механизация и организация удаления древесно-кустарниковой растительности на оросительных каналах / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Механизация строительства. – 2002. – № 7. – С. 12–16.

7. *Абдразаков, Ф. К.* Механизированная очистка каналов от срезанного кустарника / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Механизация строительства. – 2006. – № 1. – С. 8–10.

8. *Абдразаков, Ф. К.* Оптимизация параметров подборщика срезанной древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов, Д. А. Соловьев // Механизация строительства. – 2009. – № 10. – С. 11–14.

9. *Абдразаков, Ф. К.* Оптимизация парка землеройных машин для проведения строительных и эксплуатационных работ на мелиоративных системах / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2005. – 144 с.

10. *Абдразаков, Ф. К.* Оросительные каналы зарастают кустарником / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 2. – С.11–12.

11. *Абдразаков, Ф. К.* Перспективные способы очистки мелиоративных каналов / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Повышение эффективности использования и ресурса с.-х. техники : сб. науч. работ / Сарат. гос. агр. ун-т. – Саратов, 1999. – С. 160–167.

12. *Абдразаков, Ф. К.* Повышение экологической безопасности технологии очистки каналов от кустарника / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Основы рационального природопользования : сб. науч. работ ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2005. – С. 126–133.

13. *Абдразаков, Ф. К.* Пути использования низкосортной древесины / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 11. – С. 17.

14. *Абдразаков, Ф. К.* Развитие мелиоративного комплекса Саратовской области на основе внедрения новых технологий реконструкции оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, А. В. Волков // Организация, технология и механизация производства : сб. науч. работ ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2005. – С. 8–18.

15. *Абдразаков, Ф. К.* Разработка новой техники для очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, В. Н. Мараев // Вестн. Сарат. госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2006. – № 3. – С. 48–51.

16. *Абдразаков, Ф. К.* Разработка технологии, обеспечивающей рациональное использование удаляемой вдоль каналов древесной растительности / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Механизация строительства. – 2006. – № 8. – С. 23–27.

17. *Абдразаков, Ф. К.* Разработка эффективной технологии очистки оросительных каналов от кустарников / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Гидротехническое строительство, водное хозяйство и мелиорация земель на современном этапе : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. / Пензенская ГСХА. – Пенза, 1999. – С. 37–39.

18. *Абдразаков, Ф. К.* Сельскохозяйственное и мелиоративное производство Саратовской области, состояние и перспективы развития / Ф. К. Абдразаков, В. Н. Мараев // Организация, технология и механизация производства : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2006. – С. 14–18.

19. *Абдразаков, Ф. К.* Снижение эксплуатационных затрат при внедрении безотходной технологии удаления кустарника вдоль каналов / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Вавиловские чтения – 2004 : материалы Всерос. науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2004. – С. 1–4.

20. *Абдразаков, Ф. К.* Совершенствование конструкции подборщика древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Механизация строительства. – 2006. – № 4. – С. 7–8.

21. *Абдразаков, Ф. К.* Совершенствование технологии и технических средств утилизации древесно-кустарниковой растительности вдоль

каналов, дорог, ЛЭП. Ч. 1 / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Р. Н. Бахтиев // Строительные и дорожные машины. – 2003. – № 3. – С. 22–23.

22. *Абдразаков, Ф. К.* Совершенствование технологии и технических средств утилизации древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов, дорог, ЛЭП. Ч. 2 / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Р. Н. Бахтиев // Строительные и дорожные машины. – 2003. – № 5. – С. 29–30.

23. *Абдразаков, Ф. К.* Совершенствование технологии очистки мелиоративных каналов от древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Организация, технология и механизация производства : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2005. – С. 19–27.

24. *Абдразаков, Ф. К.* Совершенствование технологий реконструкции и ремонта оросительных каналов с рациональным использованием средств механизации / Ф. К. Абдразаков, А. В. Волков ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2006. – 148 с.

25. *Абдразаков, Ф. К.* Современное состояние и проблемы Энгельсской оросительной системы / Ф. К. Абдразаков, И. Н. Потапов // Организация, технология и механизация производства : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2006. – С. 19–29.

26. *Абдразаков, Ф. К.* Состояние мелиоративного комплекса Саратовской области и перспективы его развития / Ф. К. Абдразаков, В. С. Егоров // Вестн. Сарат. госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2003. – № 3. – С. 74–79.

27. *Абдразаков, Ф. К.* Состояние мелиоративных систем и их ремонтной базы в Саратовской области / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 6. – С. 5–6.

28. *Абдразаков, Ф. К.* Состояние технической базы оросительных систем Саратовской области и пути повышения ее эффективности / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Механизация строительства. – 2000. – № 5. – С. 5–7.

29. *Абдразаков, Ф. К.* Стенд для исследования процесса резания древесины : информлисток Саратовского ЦНТИ № 31–2000 / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев. – Саратов, 2000. – 4 с.

30. *Абдразаков, Ф. К.* Теоретическое обоснование конструктивных параметров подборщика с уплотняющими гребенками / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов, Д. А. Соловьев // Механизация строительства. – 2009. – № 4. – С. 17–20.

31. *Абдразаков, Ф. К.* Технологии и технические средства для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах / Ф. К. Абдразаков, В. С. Егоров, Р. Н. Бахтиев ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2008. – 152 с.

32. *Абдразаков, Ф. К.* Технология очистки каналов от кустарника и мелколесья : информлисток Саратовского ЦНТИ № 32–2000 / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, О. В. Кабанов. – Саратов, 2000. – 3 с.

33. *Абдразаков, Ф. К.* Хозяйственное использование древесной растительности, срезанной вдоль оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Вестн. Сарат. госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2005. – № 1. – С. 24–28.

34. *Абдразаков, Ф. К.* Экономическое состояние мелиоративного комплекса Саратовской области и пути его развития / Ф. К. Абдразаков, Е. Ф. Фиалковская // Организация, технология и механизация производства : сб. науч. работ ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» . – Саратов, 2006. – С. 30–34.

35. *Абдразаков, Ф. К.* Эффективные технологии и машины для очистки оросительных каналов от кустарника / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Строительные и дорожные машины. – 1999. – № 12. – С. 32–33.

36. *Айдаров, И. П.* Мелиорация и водное хозяйство. Орошение : справочник / И. П. Айдаров, К. П. Арент, В. Н. Басс ; под ред. Б. Б. Шумакова. – М. : Колос, 1999. – 432 с.

37. *Алексанкин, А. В.* Машины и технология для производства культуртехнических работ с утилизацией древесины / А. В. Алексанкин // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 5. – С. 72–82.

38. *Алтунин, В. С.* Мелиоративные каналы в земляных руслах / В. С. Алтунин. – М. : Колос, 1979. – 255 с.

39. *Амалицкий, В. В.* Деревообрабатывающие станки и инструменты / В. В. Амалицкий. – 5-е изд. – М. : Академия, 2009. – 400 с.

40. *Амалицкий, В. В.* Справочник молодого станочника по деревообработке / В. В. Амалицкий. – М. : Высш. школа, 1974. – 256 с.

41. Аналитическая геометрия на плоскости : учеб. пособие / А. Б. Соболев [и др.]. – Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2005. – 76 с.

42. *Аравийский, В. Л.* Анализ работы орудий для срезания древесных и кустарниковых насаждений / В. Л. Аравийский, И. Н. Пенькова // Механизация защитного лесоразведения : сб. науч. тр. – Волгоград : ВНИАЛМИ, 1986. – С. 95–107.

43. А. с. 1029901 СССР. Подборщик порубочных остатков / В. И. Малюков, В. И. Белоусов, А. К. Елисеев (СССР). – 1983. – Бюл. № 27.

44. А. с. 1253511 СССР. Подборщик порубочных остатков / А. К. Елисеев (СССР). – 1986. – Бюл. № 32.

45. А. с. 1291973 СССР. Устройство для сбора лесосечных отходов / Ю. Ф. Кичкин (СССР). – 1987. – Бюл. № 7.

46. А. с. 1393353 СССР. Устройство для подборки лесосечных отходов / П. М. Мазуркин (СССР). – 1988. – Бюл. № 17.

47. А. с. 1680015 СССР. Навесное устройство для сбора порубочных остатков / Ю. Ф. Кичкин (СССР). – 1991. – Бюл. № 36.

48. А. с. 1692391 СССР. Подборщик древесных отходов садоводства и виноградарства / И. А. Долгов [и др.] (СССР). – 1991. – Бюл. № 43.

49. А. с. 315670 СССР. Толкатель с челюстным захватом / А. В. Соколов [и др.] (СССР). – 1971. – Бюл. № 29.

50. А. с. 472636 СССР. Кустарниковые грабли / В. А. Скурдянис, П. П. Виршилас (СССР). – 1975. – Бюл. № 21.

51. А. с. 816431 СССР. Подборщик лесосечных отходов / М. О. Даугавиетис [и др.] (СССР). – 1981. – Бюл. № 12.

52. А. с. 895897 СССР. Грейфер / В. В. Красников, В. Ф. Дубинин, Л. И. Кирпичников (СССР). – 1982. – Бюл. № 1.

53. *Атяскин, О. П.* Исследование основных конструктивных и эксплуатационных параметров напорных грейферов для погрузки силоса на животноводческих фермах : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Атяскин О. П. – Краснодар, 1966. – 25 с.

54. *Афанасьев, П. С.* Конструкции деревообрабатывающих станков. Т. 1. Станки общего назначения / П. С. Афанасьев. – М. : Машгиз, 1954. – 620 с.

55. *Афанасьев, П. С.* Конструкции и расчеты деревообрабатывающего оборудования : справочник / П. С. Афанасьев. – М. : Машиностроение, 1970. – 400 с.

56. *Ачкасов, Г. П.* Технология и организация ремонта мелиоративных гидротехнических сооружений / Г. П. Ачкасов, Е. С. Иванов. – М. : Колос, 1984. – 174 с.

57. *Багров, М. Н.* Оросительные системы и их эксплуатация / М. Н. Багров, И. П. Кружилин. – М. : Агропромиздат, 1988. – 255 с.

58. *Бадаев, Л. И.* Техническая эксплуатация гидромелиоративных систем : справочник / Л. И. Бадаев, В. М. Донской. – М. : Колос, 1992. – 271 с.

59. *Балдинский, В. Л.* Производительность и долговечность землеройных мелиоративных машин / В. Л, Балдинский, Ю. Н. Пузырев, А. А. Кисленко. – Киев : Урожай, 1988. – 152 с.

60. *Балкай, Т. Г.* Борьба с сорной растительностью на открытых мелиоративных каналах гербицидом раундап / Т. Г. Балкай // Наукоемкие технологии в мелиорации. Костяковские чтения : материалы Междунар. конф. – М. : ВНИИА, 1998. – С. 482–485.

61. *Баранов, А. И.* Машины и механизмы для лесного хозяйства / А. И. Баранов. – М. : Гослесбумиздат, 1962. – 380 с.

62. *Барановский, В. А.* Системы машин для лесозаготовок / В. А. Барановский, Р. М. Некрасов. – М. : Лесная промышленность, 1977. – 248 с.

63. *Бартенев, И. М.* Машины и механизмы для рубок ухода: современный технический уровень / И. М. Бартенев, Г. Л. Котляр // Лесное хозяйство. – 1992. – № 2–3. – С. 48–50.

64. *Батеенков, П. С.* О развитии орошаемого земледелия в Поволжье / П. С. Батеенков, А. А. Кругликов // Организация, технология и механизация производства : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2006. – С. 60–76.

65. Безопилочное резание древесины каскадом тонких дисков : науч. отчет. – Л. : ЛЛТА, 1962. – 63 с.

66. Безотходная технология удаления древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2008. – № 2. – С. 21–23.

67. *Бершадский, А. Л.* Резание древесины / А. Л. Бершадский. – М.–Л. : Гослесбумиздат, 1958. – 328 с.

68. *Бершадский, А. Л.* Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск : Высш. шк., 1975. – 256 с.

69. *Бершадский, А. Л.* Справочник номографических расчетов режимов резания / А. Л. Бершадский. – М.–Л. : Гослесбумиздат, 1950. – 96 с.

70. *Бокщанин, Ю. Р.* Справочник мастера деревообработки / Ю. Р. Бокщанин, А. П. Квятковская, В. И. Лашманов. – М. : Лесная промышленность, 1987. – 280 с.

71. *Бондаровский, Ф. П.* Детали машин и подъемно-транспортные машины / Ф. П. Бондаровский, Г. В. Корнеев. – Киев : Юж. отд. Машгиза, 1962. – 552 с.

72. *Борисов, А. М.* Сельскохозяйственные погрузочно-разгрузочные машины / А. М. Борисов, М. Н. Фатеев, А. Х. Гохтель. – М. : Машиностроение, 1973. – 159 с.

73. *Борщов, Т. С.* Культуртехника в нечерноземной зоне / Т. С. Борщов, И. А. Гинтовт. – М. : Колос, 1981. – 253 с.

74. *Борщов, Т. С.* Мелиоративные машины / Т. С. Борщов, Р. А. Мансуров, В. А. Сергеев. – Л. : Агропромиздат, 1985. – 288 с.

75. *Борщов, Т. С.* Механизация и технология культуртехнических работ / Т. С. Борщов, В. Ш. Лифлянский, Ю. А. Телегин. – Л. : Лениздат, 1971. – 160 с.

76. *Борщов, Т. С.* Механизация и технология расчистки полей и лугов от кустарника и камней / Т. С. Борщов. – Л. : Лениздат, 1966. – 112 с.

77. *Борщов, Т. С.* Настройка и регулировка мелиоративных машин : справочник / Т. С. Борщов, И. В. Лисовский. – Л. : Агропромиздат, 1989. – 239 с.

78. *Борцов, Т. С.* Организация и технология мелиоративных работ : учебник для ср. с.-х. проф.-техн. училищ / сост. Т. С. Борцов, Р. А. Мансуров. – М. : Высш. шк., 1984. – 168 с.

79. *Босой, Е. С.* Режущие аппараты уборочных машин / Е. С. Босой. – М. : Машиностроение, 1967. – 167 с.

80. *Булыгин, И. П.* Дендрология / И. П. Булыгин. – Л. : Агропромиздат, 1991. – 352 с.

81. *Валягина-Малютина, Е. Т.* Деревья и кустарники зимой. Определитель древесных и кустарниковых пород по побегам и почкам в безлистном состоянии / Е. Т. Валягина-Малютина. – М. : Изд-во КМК, 2001. – 281 с.

82. *Виллисон, Э. Э.* Производство пиломатериалов / Э. Э. Виллисон ; пер. с англ. под ред. С. М. Хасдана. – М. : Лесная промышленность, 1981. – 384 с.

83. *Винокуров, В. Н.* Машины и механизмы лесного хозяйства и садово-паркого строительства : учебник для вузов / В. Н. Винокуров, Г. В. Силаев, А. А. Золотаревский. – М. : Академия, 2004. – 400 с.

84. *Воевода, Д. К.* Оборудование лесных складов / Д. К. Воевода, В. В. Назаров. – М. : Лесная промышленность, 1984. – 224 с.

85. *Волков, А. В.* Проблемы и перспективы развития мелиорации, рекультивации и охраны земель в Саратовской области / А. В. Волков // Организация, технология и механизация производства : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2005. – С. 61–67.

86. *Воскресенский, С. А.* Резание древесины / С. А. Воскресенский. – М.–Л. : Гослесбумиздат, 1955. – 200 с.

87. Вторичные материальные ресурсы лесной и деревообрабатывающей промышленности : справочник. – М. : Экономика, 1983. – 224 с.

88. *Габунин, Н. А.* Разработка, совершенствование и внедрение технологии и комплекса чаеподрезочных машин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Габунин Н. А. – Тбилиси, 1991. – 40 с.

89. Газ, тепло и электричество из древесных отходов / Е. М. Пузырев [и др.] // Дерево. RU. – 2010. – № 1. – С. 154–155. – Загл. с экрана.

90. *Гантман, В. Б.* Обоснование системы машин для эксплуатационно-ремонтных работ на осушительных системах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Гантман В. Б. – М. : МГУП. 1998. – 65 с.

91. *Гинтовт, И. А.* Коренное улучшение закустаренных земель / И. А. Гинтовт, К. И. Преображенский. – М. : Россельхозиздат, 1985. – 167 с.

92. *Гинтовт, И. А.* Новая технология удаления древесной растительности при мелиорации земель / И. А. Гинтовт, В. П. Дмитриев // Гидротехника и мелиорация. – 1985. – № 4. – С. 39–42.

93. *Гороховский, К. Ф.* Основы технологических расчетов оборудования для лесосечных и лесоскладских работ / К. Ф. Гороховский, Н. В. Лившиц. – М. : Лесная промышленность, 1987. – 256 с.

94. *Гороховский, К. Ф.* Технологии и машины лесосечных и лесоскладских работ / К. Ф. Гороховский, В. П. Калиновский, Н. В. Лившиц. – М. : Лесная промышленность, 1980. – 384 с.

95. *Горячкин, В. П.* Собр. соч. : в 3 т. / В. П. Горячкин. – М. : Колос, 1968.

96. ГОСТ 980–80. Пилы круглые плоские для распиловки древесины. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 25 с.

97. *Гостищев, Д. П.* Проблемы орошаемого земледелия в АПК Саратовской области / Д. П. Гостищев, М. И. Пушко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 3. – С. 27–29.

98. *Грубе, А. Э.* Дереворежущие инструменты / А. Э. Грубе. – М.–Л. : Гослесбумиздат, 1958. – 472 с.

99. *Гуляев, Ю. В.* Безотходные технологии и технические средства для освоения закустаренных и залесенных сельскохозяйственных земель : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Гуляев Ю. В. – М., 2000. – 56 с.

100. *Гусев, В. А.* Математика : справочные материалы / В. А. Гусев, А. Г. Мордкович. – М. : Просвещение, 1988. – 416 с.

101. *Дегтярева, Г. В.* Погода, урожай и качество зерна яровой пшеницы / Г. В. Дегтярева. – М. : Гидрометеоиздат, 1981. – 216 с.

102. Деревья и кустарники : справочник / Под ред. А. И. Колесникова. – М. : Лесная промышленность, 1970. – 475 с.

103. *Дешевой, М. А.* Механическая технология дерева. Ч. 1. / М. А. Дешевой. – Л. : Кубуч, 1934. – 512 с.

104. Дисковые пилы, твердосплавные пилы [Электронный ресурс] / Материалы сайта компании ООО «Бивер». – Режим доступа : http://www.biver.ru. – Загл. с экрана.

105. *Дмитриев, В. П.* Машины и оборудование для производства щепы при мелиорации земель : обзор. инф. / В. П. Дмитриев. Сер. Мелиоративные, торфяные, лесные машины и оборудование. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1988. – Вып. 1. – 44 с.

106. *Дмитриев, В. П.* Новые передвижные рубильные машины / В. П. Дмитриев, И. А. Гинтовт // Строительные и дорожные машины. – 1985. – № 11. – С. 27–28.

107. *Дмитриев, В. П.* Производство щепы из низкокачественной древесины за рубежом / В. П. Дмитриев, И. А. Гинтовт // Мелиорация и водное хозяйство : обзор. инф. – М. : ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1987. – 48 с. – (Сер. 1 «Орошение и оросительные системы» ; вып. 3).

108. *Добронравов, В. В.* Курс теоретической механики / В. В. Добронравов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1974. – 528 с.

109. *Добронравов, С. В.* Строительные машины и оборудование : справочник / В. В. Добронравов. – М. : Высш. шк., 1991. – 456 с.

110. *Добрынин, Ю. А.* Машины для технической эксплуатации лесоосушительных систем / Ю. А. Добрынин, В. В. Сенников // Лесное хозяйство. – 1994. – № 6. – С. 35–36.

111. *Долголенко, А. А.* Подъемно-транспортные машины / А. А. Долголенко. – Л.–М. : Речиздат, 1948. – 350 с.

112. *Долгушев, И. А.* Повышение эксплуатационной надежности оросительных каналов / И. А. Долгушев. – М. : Колос, 1975. – 136 с.

113. *Дружкин, А. В.* Машины для химической защиты растений и заготовки кормов : учеб.-метод. пособие / А. В. Дружкин, Б. Н. Емелин, С. Н. Бабанский ; Сарат. гос. агр. ун-т. – Саратов, 1999. – 60 с.

114. *Дубинин, В. Ф.* Исследование работы грейферных погрузчиков на животноводческих фермах : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Дубинин В. Ф. – Саратов, 1971. – 34 с.

115. *Дунаев, Е. А.* Деревянистые растения Подмосковья в осенне-зимний период: методы экологических исследований / Е. А. Дунаев. – М. : МосгорСЮН, 1999. – 232 с.

116. *Егоров, В. С.* Перспективы развития мелиорации в Саратовской области / В. С. Егоров // Вавиловские чтения – 2003 : материалы межрегион. науч. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2003. – С. 10–12.

117. *Егоров, В. С.* Совершенствование технологий и технических средств проведения эксплуатационных работ на оросительных каналах Саратовского Заволжья : дис. ... канд. техн. наук / Егоров В. С. – Саратов, 2004. – 182 с.

118. *Елсакова, В. А.* Машины манипуляторного типа на очистке мелиорируемых земель / В. А. Елсакова, В. П. Дмитриев // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – № 10. – С. 23–24.

119. *Емельянова, И. М.* Раундап – эффективное средство для уничтожения растительности на мелиоративных объектах / И. М. Емельянова, Н. А. Прокопович // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 3. – С. 45.

120. *Есипов, П. И.* Исследование профилировки зубьев круглых пил для поперечного пиления сосновой древесины / П. И. Есипов. – Архангельск. : Кн. изд-во, 1961. – 81 с.

121. *Ефимов, Н. П.* О центре тяжести надземной части деревьев / Н. П. Ефимов // Лесное хозяйство. – 1973. – № 2. – С. 52–53.

122. *Закревский, П. Б.* Лесозаготовительные системы машин / П. Б. Закревский, В. П. Большакова // Строительные и дорожные машины. – 1985. – № 11. – С. 25–27.

123. *Залегаллер, Б. Г.* Механизация и автоматизация работ на лесных складах / Б. Г. Залегаллер, П. В. Ласточкин. – М. : Лесная промышленность, 1973. – 408 с.

124. *Ивановский, Е. Г.* Резание древесины / Е. Г. Ивановский. – М. : Лесная промышленность, 1975. – 200 с.

125. *Изюмский, П. П.* Машина для рубок ухода в молодняках / П. П. Изюмский, Ф. Г. Стахейко, И. К. Ильиченко // Лесное хозяйство. – 1973. – № 10. – С. 56–58.

126. Использование мелиоративной древесины для производства топливных брикетов / З. М. Мамаев [и др.] // Перспективные технологии и научные методы организации производства мелиоративных работ : сб. науч. работ. – М. : ВНИИГиМ, 1983. – С. 79–84.

127. *Кабанов, О. В.* Повышение конкурентоспособности строительно-дорожной техники / О. В. Кабанов // Повышение эффективности использования и ресурса сельскохозяйственной техники : сб. науч. работ. Ч. II / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 1999. – С. 90–93.

128. *Кавешников, Н. Т.* Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений / Н. Т. Кавешников. – М. : Агропромиздат, 1989. – 272 с.

129. *Кадзаев, М. Б.* Совершенствование эксплуатации оросительных систем / М. Б. Кадзаев. – М. : Колос, 1983. – 82 с.

130. *Камышенцев, Л. А.* Мелиоративные и культуртехнические работы / Л. А. Камышенцев, К. И. Преображенский. – М. : Россельхозиздат, 1975. – 60 с.

131. *Камышенцев, Л. А.* Новая мелиоративная техника / Л. А. Камышенцев, В. С. Казаков, Ю. А. Соколов. – М. : Россельхозиздат, 1977. – 183 с.

132. Каналы систем водоснабжения и ирригации (рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов). – М. : Стройиздат, 1972. – 152 с.

133. *Кизяев, Б. М.* О возрождении и развитии разработки и производства техники для мелиоративных работ в России / Б. М. Кизяев, З. М. Мамаев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 5–8.

134. *Кизяев. Б. М.* Развитие технологий и средств комплексной механизации строительства и эксплуатации мелиоративных систем / Б. М. Кизяев // Мелиорация и водное хозяйство. – № 5. – 2002. – С. 11–12.

135. *Кирпичников, Л. И.* Повышение производительности грейферных погрузчиков типа ПЭ-0,8 при погрузке стебельчатых кормов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кирпичников Л. И. – Саратов, 1976. – 29 с.

136. *Колганов, А. В.* Орошение в России : природные ресурсы и возможности развития / А. В. Колганов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1997. – № 5. – С. 2–5.

137. Концепция мелиорации сельскохозяйственных земель в России / Под общ. ред. А. В. Гордеева, Г. А. Романенко. – М. : МГУП, 2005. – 70 с.

138. *Корженевский, А. Н.* Ремонтные работы на осушительных системах / А. Н. Корженевский. – М. : Колос, 1980. – 351 с.

139. *Коршиков, Л. А.* Машины для подготовки и проведения культуртехнических работ. Ч. 5. / Л. А. Коршиков. – Новочеркасск, 1994. – 57 с. – (Серия «Машины и оборудование для строительных и мелиоративных работ»).

140. *Коршиков, А. А.* Машины и оборудование для строительных и мелиоративных работ / А. А. Коршиков, А. В. Колганов, В. И. Шунько. – М. : Высш. шк., 2000. – 498 с.

141. *Кочегаров, В. Г.* Технология и машины лесосечных и лесоскладских работ / В. Г. Кочегаров, Ю. А. Бит, В. Н. Меньшиков. – М. : Лесная промышленность, 1990. – 392 с.

142. *Красников, В. В.* Краткий справочник по физико-механическим свойствам сельскохозяйственных грузов / В. В. Красников ; Сарат. с.-х. ин-т. – Саратов, 1971. – 80 с.

143. *Кубышкин, П. П.* Сельскохозяйственная мелиорация и лесоводство : учеб. пособие / П. П. Кубышкин, И. И. Полубояринов. – М. : Колос, 1971. – 407 с.

144. *Кузнецов, И. П.* На острие судьбы: Беседы. Статьи. Воспоминания / И. П. Кузнецов. – Саратов : Надежда, 1999. – 528 с.

145. *Кузнецов, Р. Е.* Повышение производительности подборщика срезанной древесно-кустарниковой массы / Р. Е. Кузнецов // Организация, технология и механизация производства : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2005. – С. 160–165.

146. Курсовое и дипломное проектирование по мелиоративным машинам / под ред. И. И. Мера. – М. : Колос, 1978. – 175 с.

147. *Лазаренко, Г. Г.* Передвижная рубильная установка ПД-17 / Г. Г. Лазаренко, Ю. Э. Ионан, Ю. В. Гуляев // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 7. – С. 50–51.

148. *Лазаренко, Г. Г.* Подборщик-измельчитель древесных масс МТП-82 / Г. Г. Лазаренко, В. И. Юдин, А. М. Грицюк // Строительные и дорожные машины. – 1985. – № 11. – С. 24–25.

149. *Ларюхин, Г. А.* Механизация лесного хозяйства и лесозаготовок / Г. А. Ларюхин, Л. С. Златоустов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 304 с.

150. *Лившиц, Н. В.* Исследование профиля зубьев круглых пил большого диаметра на поперечной распиловке леса / Н. В. Лившиц // Лесной журнал. – 1958. – № 2. – С. 78–83.

151. *Льгов, Г. К.* Орошаемое земледелие / Г. К. Льгов. – М. : Колос, 1979. – 191 с.

152. *Любченко, В. И.* Резание древесины и древесных материалов / В. И. Любченко. – М. : Лесная промышленность, 1986. – 296 с.

153. *Люманов, Р.* Машинная валка леса / Р. Люманов. – М. : Лесная промышленность, 1990. – 280 с.

154. *Мамаев, З. М.* Технико-экономическое обоснование безотходной технологии освоения закустаренных земель / З. М. Мамаев, В. В. Ямщиков // Перспективные технологии и научные методы организации производства мелиоративных работ : сб. науч. работ. – М. : ВНИИГиМ, 1983. – С. 154–159.

155. *Мануйлов, Ю. Г.* Машины для мелиоративного строительства : справочник / Ю. Г. Мануйлов, З. Е. Гарбузов, В. М. Донской. – М. : Машиностроение, 1978. – 222 с.

156. *Мараев, В. Н.* Современные технологии и машины для проведения эксплуатационных работ на оросительных каналах / В. Н. Мараев // Вавиловские чтения – 2005 : материалы конф / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2005. – С. 35–37.

157. *Марченко, И. И.* Особенности бесподпорного срезания древесных растений и определение скорости их срезания / И. И. Марченко // Перспективные технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем : сб. науч. трудов. – М. : Агропромиздат, 1990. – С. 62–67.

158. *Маслов, Б. С.* Справочник по мелиорации / Б. С. Маслов, И. В. Минаев, К. В. Губер. – М. : Росагропромиздат, 1989. – 384 с.

159. *Маслов, Ю. А.* Механизмы для рубок ухода / Ю. А. Маслов // Лесное хозяйство. – 1966. – № 6. – С. 75–77.

160. Машинно-тракторный парк в лесном хозяйстве / В. Г. Шаталов [и др.]. – М. : Лесная промышленность, 1972. – 152 с.

161. Машины для лесосечных работ / Н. Н. Горбачев [и др.]. – М. : Лесная промышленность, 1988. – 240 с.

162. Машины и механизмы по заготовке и переработке пневой древесины с торфяных полей. Обзор. инф. / Ю. М. Новоселов [и др.]. – М. : ЦНИИТЭстроймаш. 1983. – 45 с. – Сер. 5–6.

163. Машины и оборудование для строительства мелиоративных систем : каталог-справочник / сост. : В. Г. Солнцев [и др.]. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1975. – 588 с.

164. Машины, механизмы и оборудование лесного хозяйства : справочник / Сост. : В. Н. Винокуров [и др.]. – М. : МГУЛ, 2002. – 439 с.

165. Мелиоративные и строительные машины / Б. А. Васильев [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1986. – 431 с.

166. Мелиоративные машины / под ред. И. И. Мера. – М. : Колос, 1980. – 352 с.

167. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение : справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М. : Агропромиздат, 1990. – 415 с.

168. Мелиорация и водное хозяйство. Строительство : справочник / под ред. Л. Г. Балаева. – М. : Колос, 1984. – 344 с.

169. *Мелихов, В. В.* Орошаемое земледелие в XXI в. / В. В. Мелихов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – № 1. – С. 43–44.

170. Методические рекомендации по содержанию полосы отвода автомобильных дорог химико-механическим способом. Отраслевой дорожный методический документ. – М. : Мин. транспорта РФ. Гос. служба дорожного хоз-ва (Росавтодор), 2003. – 52 с.

171. Механизация обрезки возможна / В. К. Кутейников [и др.] // Садоводство. – 1967. – № 1. – С. 21–23.

172. *Микулинский, В. И.* О профилировке зубьев пил для поперечной распиловки / В. И. Микулинский // Лесной журнал. – 1960. – № 4. – С. 116–119.

173. *Микулинский, В. М.* О связи между угловыми параметрами зуба с косой заточкой / В. И. Микулинский // Сб. науч. тр. – Брянск : БЛТИ, 1957. – Вып 10. – С. 33–42.

174. *Можаев, Д. В.* Механизация лесозаготовок за рубежом / Д. В. Можаев, С. Н. Илюшкин. – М. : Лесная промышленность, 1988. – 296 с.

175. *Можаев, Д. В.* Новая лесозаготовительная техника за рубежом : обзор. инф. / Д. В. Можаев, С. Н. Илюшкин. Сер. 3. Мелиоративные, торфяные, лесные машины и оборудование. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1987. – Вып. 1. – 47 с.

176. *Морозов, В. Г.* Дереворежущий инструмент : справочник / В. Г. Морозов. – М. : Лесная промышленность, 1988. – 344 с.

177. *Наназашвили, И.* Х. Строительные материалы, изделия и конструкции : справочник / И. Х. Наназашвили. – М. : Высш. шк., 1990. – 495 с.

178. *Нарышкина, В. Л.* Машины для сводки кустарника и мелколесья : обзор. инф. / В. Л. Нарышкина, С. А. Винчи, И. Ш. Сумецкий. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1977. – 48 с.

179. *Натальчук, М. Ф.* Эксплуатация гидромелиоративных систем / М. Ф. Натальчук, В. И. Ольгаренко, В. А. Сурин. – М. : Колос, 1992. – 320 с.

180. *Никишов, В. Д.* Комплексное использование древесины / В. Д. Никишов. – М. : Лесная промышленность, 1985. – 264 с.

181. *Новиков, А. Л.* Определитель деревьев и кустарников в безлистном состоянии / А. Л. Новиков. – Киев : Гос. изд-во с.-х. лит-ры УССР, 1959. – 313 с.

182. Оборудование Farmi Forest [Электронный ресурс] / Материалы сайта Karasaw. – Режим доступа : http://www.karasaw.net. – Загл. с экрана.

183. *Овчинников, В. В.* Оборудование бесстружечной разделки лесоматериалов / В. В. Овчинников. – М. : Лесная промышленность, 1990. – 224 с.

184. *Ольгаренко, В. И.* Ремонтные работы на оросительных системах / В. И. Ольгаренко, И. А. Чуприн, П. В. Иоффе. – М. : Колос, 1976. – 64 с.

185. *Ольгаренко, В. И.* Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем / В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, В. Н. Рыбкин. – Коломна, 2006. – 391 с.

186. Определитель древесных растений в зимнее время. – М. : Полтекс, 2000. – 64 с.

187. Отчет о результатах пребывания в Финляндии 24–28 октября 2005 г. группы специалистов Республики Беларусь по энергетике, энергоэффективности и лесопромышленному производству с целью обучения в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Применение биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Беларуси» [Электронный ресурс] // Энергия биомассы. Проект Правительства Республики Беларусь. – Режим доступа : http://www.bioenergy.by. – Загл. с экрана.

188. *Парфенов, В. В.* Новый комплекс машин для расчистки закустаренных земель / В. В. Парфенов, А. И. Бахаров // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 4. – С. 50–52.

189. Пат. 2161399 Российская Федерация, МПК7 A 01 23/02, 23/06, 23/091. Кусторез / Абдразаков Ф. К., Соловьев Д. А., Кабанов О. В. – № 99106731/13 ; заявл. 05.04.1999 ; опубл. 10.01.01, Бюл. № 1. – 5 с. : ил.

190. Пат. 2167514 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/02, 23/06, 23/08. Устройство для срезания кустарника и мелколесья / Абдразаков Ф. К. [и др.]. – № 99127069/13 ; заявл. 27.12.1999 ; опубл. 27.05.01, Бюл. № 15. – 5 с. : ил.

191. Пат. 2215093 Российская Федерация МПК7 E 02 F 5/28. Машина для удаления водной растительности из каналов / Соловьев Д. А. [и др.]. – № 2002103176/03 ; заявл. 04.02.02 ; опубл. 27.10.03, Бюл. № 30. – 4 с. : ил.

192. Пат. 2250600 Российская Федерация. Способ механизированной полосной расчистки площади вырубки под лесные культуры / Кичкин Ю. Ф., Романов Е. М. – 2005, Бюл. № 2.

193. Пат. 2251836 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/02. Кусторез маятникового типа / Абдразаков Ф. К. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2003110587/12 ; заявл. 14.04.03 ; опубл. 20.05.05, Бюл. № 14. – 8 с. : ил.

194. Пат. 2251837 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/06. Рабочий орган кустореза / Абдразаков Ф. К. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2003116267/12 ; заявл. 02.06.03 ; опубл. 20.05.05, Бюл. № 14. – 5 с. : ил.

195. Пат. 2258354 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/06, 23/08, B 27 B 11/12. Кусторез / Абдразаков Ф. К. [и др.]. – № 2003135825/12 ; заявл. 10.12.03 ; опубл. 20.08.05, Бюл. № 23. – 8 с. : ил.

196. Пат. 2258355 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/06. Подборщик срезанной древесно-кустарниковой растительности / Абдразаков Ф. К., Соловьев Д. А., Кузнецов Р. Е. – № 2004111331/12 ; заявл. 13.04.04 ; опубл. 20.08.05, Бюл. № 23. – 6 с. : ил.

197. Пат. 2308185 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/06. Машина для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности и угнетения пней / Соловьев Д. А., Кузнецов Р. Е., Филиппова Е. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» – № 2005131815/12 ; заявл. 13.10.05 ; опубл. 20.10.07, Бюл. № 29. – 8 с. : ил.

198. Пат. 2308411 Российская Федерация, МПК7 B 66 C 3/04. Грейфер / Соловьев Д. А. [и др] ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2006107071/11 ; заявл. 06.03.06 ; опубл. 20.10.07, Бюл. № 29. – 12 с. : ил.

199. Пат. 2309578 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/06. Рабочий орган для срезания кустарника и угнетения пней / Соловьев Д. А. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2005136315/12 ; заявл. 22.11.05 ; опубл. 10.11.07, Бюл. № 31. – 7 с. : ил.

200. Пат. 2309579 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/06. Кусторез для работы на каналах / Соловьев Д. А., Кузнецов Р. Е., Филиппова Е. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2005136323/12 ; заявл. 22.11.05 ; опубл. 10.11.07, Бюл. № 31. – 11 с. : ил.

201. Пат. 2316206 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/06. Кусторез / Абдразаков Ф. К. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2005136324/12 ; заявл. 22.11.05 ; опубл. 10.02.08, Бюл. № 4. – 6 с. : ил.

202. Пат. 2322055 Российская Федерация, МПК7 A 01 M 7/00. Орудие для нанесения арборицидной смеси на пни / Соловьев Д. А. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2006117475/12 ; заявл. 22.05.06 ; опубл. 20.04.08, Бюл. № 11. – 9 с. : ил.

203. Пат. 2335889 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/06. Устройство для угнетения пней / Соловьев Д. А. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2006137543/12 ; заявл. 23.10.06 ; опубл. 27.04.08, Бюл. № 29. – 10 с : ил.

204. Пат. 48795/5. Усовершенствование зубчатых грейферов : перевод патента Великобритании № 573223, выданного 12.11.1945. – М. : Бюро переводов ВИНИТИ, 1965. – 16 с.

205. Пат. на полезную модель № 45724 Российская Федерация, МПК7 B 66 C 3/16. Грейфер / Абдразаков Ф. К. [и др.]. – № 2005100212/22 ; заявл. 11.01.05 ; опубл. 27.05.05, Бюл. № 15. – 2 с. : ил.

206. Пат. на полезную модель № 52664 Российская Федерация, МПК7 A 01 G 23/06. Подборщик-собиратель срезанной древесно-кустарниковой растительности / Абдразаков Ф. К. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2005121966/22 ; заявл. 11.07.05 ; опубл. 27.04.06, Бюл. № 12. – 2 с. : ил.

207. Пат. СССР. Топор-инъектор / Суворов В. И. [и др.]. – М. : ЦНИИПИ Гос. ком. Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий, 1973. – 2 с.

208. *Песков В. Г.* Механизация эксплуатационных работ на гидромелиоративных системах : справочник / В. Г. Песков, Л. В. Мобило, В. С. Зинь. – М. : Агропромиздат, 1986. – 143 с.

209. *Пискунов, Н. С.* Дифференциальное и интегральное исчисление / Н. С. Пискунов. – М. : Наука, 1978. – Т. 1. – 456 с.

210. *Питеев, В. Г.* Механизация рубок ухода за лесом : обзор. инф. / В. Г. Питеев, И. С. Соколов. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1988. – 48 с. – (Сер. 3. «Мелиоративные, торфяные, лесные машины и оборудование» ; вып. 1).

211. Подборщик-измельчитель древесины МТП-82 / Ю. В. Гуляев [и др.] // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 3. – С. 52–53.

212. Подъемно-транспортные машины / В. В. Красников [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1987. – 272 с.

213. *Полищук, Д. П.* Справочник по использованию мелиоративной техники / Д. П. Полищук, А. М. Сидоренко, В. С. Зинь. – Киев : Урожай, 1979. – 160 с.

214. *Полищук, Д. П.* Справочник по использованию мелиоративной техники/ Д. П. Полищук, А. М. Сидоренко, В. С. Зинь. – Киев : Урожай, 1986. – 208 с.

215. *Попов, К. В.* Мелиоративные каналы / К. В. Попов. – М. : Колос, 1969. – 184 с.

216. Постановление Правительства Саратовской области от 27 сентября 2005 г. № 334–П. О проекте областной целевой программы «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния Саратовской области на 2006–2010 годы» [Электронный ресурс] / ГАРАНТ. Информационно-правовой портал. – Режим доступа : http://www.garant.ru/hotlaw/saratov/126658/#review. – Загл. с экрана.

217. *Прохоров, А. Н.* Механизация рубок ухода в молодняках / А. Н. Прохоров, В. Ф. Зинин // Лесное хозяйство. – 1994. – № 3. – С. 47–50.

218. *Путятин, М. Д.* Эксплуатация мелиоративных машин / М. Д. Путятин. – М. : Колос, 1969. – 320 с.

219. Рабочий план проведения полевых работ на орошаемых землях Саратовской области в 2009 году / Правительство Саратовской области, министерство сельского хозяйства и продовольствия саратовской области. – Саратов, 2009. – 30 с.

220. *Райнин, В. Е.* Проблемы научного обоснования и целесообразности развития мелиораций / В. Е. Райнин // Мелиорация и водное хозяйство. – № 5. – 2002. – С. 9–10.

221. Режимы пиления круглыми пилами для круглопильных станков, применяемых в лесопилении. – Архангельск : ЦНИИМОД и УЛТИ, 1987. – 24 с.

222. *Резник, Н. Е.* Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с.

223. Результаты исследования заиления оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Вестн. Сарат. госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2003. – № 2. – С. 39–43.

224. Ресурсо- и энергосберегающие технологии и машины для эффективной эксплуатации оросительных систем / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Итоги науч.-исслед. и опытно-конструкторской работы за 1999–2002 гг.: аннотированный сб. / Ассоциация «Аграрное образование и наука». – Саратов, 2003. – С. 66–67.

225. *Росляков, А. А.* Оценка возможности лазерного резания древесины / А. А. Росляков // Сб. науч. тр. – М. : МЛТИ, 1989. – С. 44–47.

226. Рубительная техника Farmi Forest [Электронный ресурс] / материалы сайта Autra. – Режим доступа : http://www.autra.ee. – Загл. с экрана.

227. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами / Ю. М. Стахиев [и др.]. – Архангельск : ЦНИИМОД, 1988. – 74 с

228. *Рункевич, Ю. П.* Обоснование параметров подборщика садовых обрезков : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Рункевич Ю. П. – Ростов н/Д. : 1988. – 21 с.

229. *Рылов, В. Н.* Основы современной культуртехники / В. Н. Рылов, Х. Н. Стариков. – М. : Колос, 1973. – 272 с.

230. *Рябов, Г. А.* Мелиоративные и строительные машины / Г. А. Рябов, И. И. Мер, Г. Т. Прудников. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Колос, 1976. – 360 с.

231. *Сабо, Е. Д.* Справочник гидролесомелиоратора / Е. Д. Сабо, Ю. Н. Иванов, Д. А. Шатилло. – М. : Лесная промышленность, 1981. – 200 с.

232. *Самарцев, А. Я.* Комплексная механизация в защитном лесоразведении / А. Я. Самарцев. – Саратов : Приволж. кн. изд-во, 1973. – 160 с.

233. *Самарцев, А. Я.* Комплексная механизация рубок леса в защитных лесонасаждениях / А. Я. Самарцев // Лесное хозяйство. – 1993. – № 5. – С. 49–50.

234. *Санев, В. И.* Обработка древесины круглыми пилами / В. И. Санев. – М. : Лесная промышленность, 1980. – 323 с.

235. *Санников, Г. П.* Арборициды в мелиорации / Г. П. Санников. – Л. : Колос, 1974. – 112 с.

236. Свидетельство на полезную модель № 20917 Российская Федерация. Рабочее оборудование гидравлического одноковшового экскаватора / Абдразаков Ф. К. [и др.]. – 2001, Бюл. № 34.

237. *Свиридов, Л. Т.* Технологии, машины и оборудование в лесном хозяйстве : учеб. пособие / Л. Т. Свиридов, В. И. Вершинин. Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2002. – 312 с.

238. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации / А. А. Богушевский [и др.] ; под ред. Е. С. Маркова. – М. : Колос, 1981. – 375 с.

239. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1986–1995 годы. Ч. 4. Лесное хозяйство и защитное лесоразведение. – М., 1988. – 311 с.

240. *Смирнов, А. А.* Исследование процесса резания круглыми пилами при поперечном пилении / А. А. Смирнов // Труды АЛТИ. Архангельск, 1949. – Т. XII. – С. 23–28.

241. Современное состояние и перспективы развития машин и оборудования для ремонта и эксплуатации мелиоративных систем : обзор. инф. – М., 1985. – Вып. 2. – 43 с.

242. Современные машины для культуртехнических работ : обзор. инф. / С. А. Менчикова [и др.]. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1983. – 42 с. – (Сер. 5–6. «Машины и оборудование для мелиоративных систем, лесозаготовок, лесосплава и добычи торфа» ; вып. 1).

243. *Соловьев, А. А.* Наладка деревообрабатывающего оборудования / А. А. Соловьев, В. И. Коротков. – М. : Высш. шк., 1982. – 312 с.

244. *Соловьев, Д. А.* Анализ процесса резания для маятникового кустореза с дисковым пильным рабочим органом / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов // Вест. Сарат. госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2009. – № 6. – С. 48–57.

245. *Соловьев, Д. А.* Влияние зажима диска пильного рабочего органа на процесс пиления / Д. А. Соловьев // Молодые ученые ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» – агропромышленному комплексу Поволжского региона : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2003. – С. 689–693.

246. *Соловьев, Д. А.* Влияние угловых параметров зубьев на эффект самозатягивания дисковых пил / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов // Основы рационального природопользования : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2007. – С. 199–201.

247. *Соловьев, Д. А.* Заиление оросительных каналов в Саратовской области / Д. А. Соловьев, О. В. Кабанов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – № 4. – С. 46–47.

248. *Соловьев, Д. А.* Имитационная энергетическая модель процесса резания с использованием маятника / Д. А. Соловьев // Совершенствование машиноиспользования и технологических процессов АПК : сб. науч. тр. Поволжской межвуз. конф. / Самарская ГСХА. – Самара, 2002. – С. 346–349.

249. *Соловьев, Д. А.* Классификация способов и технических средств для борьбы с предотвращением роста древесно-кустарниковой растительности после ее срезания на оросительных каналах / Д. А. Соловьев, Л. А. Журавлева, Н. С. Отраднов // Роль природообустройства в обеспечении устойчивого функционирования и развития экосистем : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М. : МГУП, 2006. – С. 271–273.

250. *Соловьев, Д. А.* Новая технология удаления кустарника и мелколесья вдоль каналов / Д. А. Соловьев // Проблемы научного обеспечения и экономической эффективности орошаемого земледелия в рыночных условиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Волгоградская ГСХА. – Волгоград, 2001. – С. 58–60.

251. *Соловьев, Д. А.* Новая технология утилизации древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов, дорог, линий электропередач / Д. А. Соловьев // Совершенствование машиноиспользования и технологических процессов АПК : сб. науч. тр. Поволжской межвузовской конф. / Самарская ГСХА. – Самара, 2002. – С. 349–351.

252. *Соловьев, Д. А.* Совершенствование технологического процесса и конструкции кустореза для срезания древесно-кустарниковой растительности вдоль оросительных каналов : дис. ... канд. техн. наук / Соловьев Д. А. – Саратов, 2000. – 185 с.

253. *Соловьев, Д. А.* Способы борьбы с возобновлением древесно-кустарниковой растительности на оросительных каналах / Д. А. Соловьев, Л. А. Журавлева, Н. С. Отраднов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию со дня рождения проф. А. Г. Рыбалко. Ч. 2 / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2006. – С. 122–125.

254. *Соловьев, Д. А.* Теоретическое обоснование направления падения ствола, срезанного дисковым рабочим органом / Д. А. Соловьев // Лесное хозяйство Поволжья : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2003. – Вып. 6. – С. 276–278.

255. *Соловьев, Д. А.* Теоретическое обоснование способа подачи дисковой пилы / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов // Вестн. Сарат. госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2010. – № 2. – С. 46–51.

256. *Соловьев, Д. А.* Теория резания для кусторезов с прямолинейной подачей пильного диска / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов // Вестн. Сарат. госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2009. – № 3. – С. 46–54.

257. *Соловьев, Д. А.* Технология и технические средства комплексной очистки оросительных каналов / Д. А. Соловьев // Вопросы мелиорации и водного хозяйства Саратовской области: сб. науч. тр. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2002. – С. 55–60.

258. *Соловьев, Д. А.* Технология и технические средства комплексной очистки оросительных каналов / Д. А. Соловьев // Природоохранное обустройство территорий : сб. материалов науч.-техн. конф. – М. : МГУП, 2002. – С. 164–165.

259. Специализированная техника – основа безотходной технологии удаления древесной растительности / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Механизация строительства. – 2005. – № 5. – С. 9–12.

260. Справочник мелиоратора / сост. Б. С. Маслов. – М. : Россельхозиздат, 1976. – 235 с.

261. Справочник мелиоратора / сост. Б. С. Маслов. – М. : Россельхозиздат, 1980. – 256 с.

262. Справочник мелиоратора Поволжья / под общ. ред. И. А. Божко, Н. П. Яковлева. – Саратов : Приволж. кн. изд-во, 1983. – 216 с.

263. Справочник по эксплуатации мелиоративных систем Нечерноземной зоны РСФСР / сост. : Т. И. Даишев [и др.]. – Л. : Агропромиздат, Ленинград. отд., 1987. – 263 с.

264. *Стахиев, Ю. М.* Максимально допустимая, оптимальная и универсальная частоты вращения круглой пилы / Ю. М. Стахиев, С. В. Ершов // Лесной журнал. – № 1. – 1990. – С. 66–70.

265. *Стахиев, Ю. М.* Работоспособность плоских круглых пил / Ю. М. Стахиев. – М. : Лесная промышленность, 1989. – 384 с.

266. Строительные машины для механизации мелиоративных работ / Под ред. В. В. Сурикова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1991. – 463 с.

267. *Сумецкий, И. Ш.* Классификация машин для сводки древесно-кустарниковой растительности / И. Ш. Сумецкий, В. П. Корнеев, С. А. Менчикова // Строительные и дорожные машины. – 1988. – № 4. – С. 14–16.

268. *Суриков, В. В.* Эксплуатация мелиоративных машин в зимних условиях : справочник / В. В. Суриков. – М. : Агропромиздат, 1989. – 240 с.

269. *Таубер, Б. А.* Грейферные механизмы / Б. А. Таубер. – М. : Машиностроение, 1985. – 272 с.

270. *Таубер, Б. А.* Грейферные механизмы. Теория, расчет и конструкции / Б. А. Таубер. – М. : Машиностроение, 1967. – 424 с.

271. *Таубер, Б. А.* Подъемно-транспортные машины в лесной промышленности / Б. А. Таубер. – М.–Л. : Гослесбумиздат, 1952. – 532 с.

272. Тепловая энергия без затрат на энергоносители [Электронный ресурс] // Сайт компании Импет. – Режим доступа : http://www.rosimpet.ru. – Загл. с экрана.

273. *Тимонен, С. М.* О влиянии скорости резания на износ и затупляемость зубьев пил в работе / С. М. Тимонен // Лесной журнал. – № 3. – 1970. – С. 85–88.

274. Типы ковшей [Электронный ресурс] // Материалы сайта компании ООО «Бизнес Центр». – Режим доступа : http://www.bcritm.ru. – Загл. с экрана.

275. *Титов, В. Н.* Технологические решения при удалении и утилизации древесно-кустарниковой растительности с откосов мелиоративных каналов / В. Н. Титов // Природообустройство. – 2008. – № 5. – С. 80–84.

276. *Тищенко, А. И.* Физико-механические свойства древесины ветвей плодово-ягодных растений / А. И. Тищенко // Сборник ВИСХОМ. – М., 1962. – Вып. 32.

277. *Упоров, Н. Г.* Землесосные снаряды и перекачивающие установки / Н. Г. Упоров, С. Б. Энарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1974. – 288 с.

278. *Федяев, Л. Г.* Основные факторы, влияющие на валку деревьев / Л. Г. Федяев // Лесной журнал. – 1960. – № 3. – С. 78–84.

279. *Шевелев, Я. З.* Справочник-словарь мелиоратора / Я. З. Шевелев, В. И. Ревут, Ш. Т. Даишев. – Л. : Лениздат, 1988. – 207 с.

280. *Шнейдер, В. А.* Гидромелиоративные строительные машины и оборудование / В. А. Шнейдер, Н. А. Тищенко. – М. : Колос, 1968. – 576 с.

281. *Щедрин, В. Н.* Орошение сегодня : проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин. – М. : ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 255 с.

282. *Щелгунов, Ю. В.* Лесоэксплуатация и транспорт леса / Ю. В. Щелгунов, А. К. Горюнов, И. В. Ярцев. – М. : Лесная промышленность, 1989. – 520 с.

283. *Щелгунов, Ю. В.* Машины и оборудование лесозаготовок лесосплава и лесного хозяйства / Ю. В. Щелгунов, Г. М. Кутуков, Г. П. Ильин. – М. : Лесная промышленность, 1982. – 520 с.

284. *Эбаноидзе, Н. Е.* Аппарат для тяжелой подрезки кустов лавра благородного / Н. Е. Эбаноидзе // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 1. – С. 27–29.

285. *Эбаноидзе, Н. Е.* Безотходная технология и комплекс машин для производства сухих листьев лавра благородного / Н. Е. Эбаноидзе // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – № 1. – С. 26–28.

286. Эксплуатация гидромелиоративных систем / Под ред. Н. А. Орловой. – Киев : Вища школа, 1985. – 368 с.

287. Эффективная и производительная рубительная техника: рекламный буклет фирмы Farmi Forest [эдектронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.bioresurs.com. – Загл. с экрана.

288. *Яблонский, А. А.* Курс теоретической механики : учебник для вузов. Ч. 2. Динамика / А. А. Яблонский. – 5-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 1977. – 430 с.

289. *Якимук, П. Г.* Справочник механика по мелиоративным машинам / П. Г. Якимук. – М. : Колос, 1977. – 368 с.

290. *Якунин, Н. К.* Круглые пилы и их эксплуатация / Н. К. Якунин. – М.–Л. : Гослесбумиздат, 1960. – 152 с.

291. *Ямщиков, В. В.* Особенности технологии удаления древесно-кустарниковой растительности с одновременным срезанием и измельчением древесины на щепу / В. В. Ямщиков // Перспективные технологии и научные методы организации производства мелиоративных работ : сб. науч. работ. – М. : ВНИИГиМ, 1983. – С. 160–166.

292. *Ясинецкий, В. Г.* Организация и технология гидромелиоративных работ / В. Г. Ясинецкий, Н. К. Фенин. – М. : Агропромиздат, 1985. – 352 с.

293. *Arola, Rodger A.* Harvesting wood for energy / Rodger A. Arola, Edwin S. Miyata. 1981. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Research Paper NC-200. U.S. Department of Agriculture Forest Service, North Central Forest Experiment Station. St. Paul, Minesota. – 25 p.

294. *Böhrns, Anja.* Feinfühlig laden / Anja Böhrns // Profi elektronik. – 2000. – № 4. – С. 58–60.

295. *Bryan, E. L.* Higt Energy fits as a new concept in Wood machining / E. L. Bryan // For. Prod, 1963. – № 1. – P. 14.

296. *Baughman, Ronald K.* Utilizing residues from in-woods flail processing / Ronald K. Baughman, Bryce J. Stokes, William F. Watson. Proceedings of the International Energy Agency, Task VI, Activity 3 Workshop «Harvesting Small Trees and Forest Residues» ; 1990 May 28 ; Copenhagen, Denmark. Auburn, AL : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1990. – P. 21–30.

297. Farmi machines with 44 years experience [Электронный ресурс] / Материалы сайта Farmi Forest. – Режим доступа : http://www.farmiforest.fi. – Загл. с экрана.

298. *Hartsough, Bruce R.* Cut-to-length harvesting of short-rotation eucalyptus / Bruce R. Hartsough, David J. Cooper // Forest products journal. – 1999. – Vol. 49. – № 10. – P. 69–75.

299. *Ing Kare H., Jenisch.* Meliorations-maschinen 1 (Entwasserung) / Jenisch Ing Kare H. // Shinke. Holjewilken. VEB VERLAG TECHNIK BERLIN, 1989. – P. 238.

300. *Kenzie, W. M.* Lie Grundenforderungen an Schneideinrichtungen fur Holz als Zerspanung Werkstoff / W. M. Kenzie // Holz als Roh-und Werkstoff, 1966, № 9. – P. 380–389.

301. *Koch, Peter.* Harvesting energy chips from forest residues-some concepts for the southern pine region / Peter Koch. – U.S. Dep. Agric. For. Serv. Gen. Tech. Rep. SO33, South. For. Exp.. Stn., New Orleans, La, 1980. – 24 p.

302. *Kollman, F.* Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2 aufl. Band 2 / F. Kollman. – Berlin. : Springer-Verlag, 1955. – 1184 p.

303. *Kollman, F.* Wege zum Spanlosen Holzschneiden / F. Kollman // Holztechnik. – 1964. – № 4. – P. 167–169.

304. *Melvin, Gengler* (Beloit, KS, US). Rotary tree cutter attachment for tractor / Gengler Melvin // United States Patent 20030217784. – 2003.

305. *Melvin, Gengler* (Beloit, KS, US). Rotary tree cutter attachment for tractor / Gengler Melvin // United States Patent 6662835. – 2003.

306. *Stokes, Bryce J.* Harvesting small trees and forest residues / Bryce J. Stokes // Biomass and Bioenergy. – 1992. – Vol. 2, № 1–6. – P. 131–147.

307. *Stokes, Bryce J.* Recovery of forest residues in the southern United States / Bryce J. Stokes, Donald L. Sirois // Proceedings of the International Energy Agency, Task VI, Activity 3 Symposium «Harvesting Small Trees and Forest Residues» ; 1989 June 5–7 ; Auburn, AL : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1989. – P. 32–43.

308. *Thunell, B.* Några resultat från undersökningar över med-och motsagning / B. Thunell // Svenska Träforskningsinstitutet Träeknik, meddelande 53B, 1954. – 14 p.

309. *Twaddle, Alastair A.* Harvesting small stems and residues for biofuels : an international perspective / Alastair A. Twaddle, Bryce J. Stokes, William F. Watson // Written for presentation at the 1989 International Winter Meeting sponsored by the American Society of Agricultural Engineers. Marriott New Orleans Hotel. New Orleans, Louisiana, December 12–15, 1989. – 16 p.

310. *Woodfin, Sammy.* Select harvesting machines for short rotation intensive culture biomass plantations / Sammy Woodfin, Doug Frederick, Bryce Stokes // Written for presentation at the 1987 International Winter Meeting sponsored by the American Society of Agricultural Engineers. Hyatt Regency Chicago in Illinois Center, December 15–18, 1987. – 18 p.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 3
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ И САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ.. 5
1.1 Состояние оросительных систем и перспективы развития мелиоративного производства..... 5
1.1.1 Становление и развитие мелиоративного комплекса.. 5
1.1.2 Состояние мелиорируемых земель Российской Федерации и оросительных систем Саратовского Заволжья..... 11
1.1.3. Восстановление потенциала орошаемого земледелия и перспективы его развития..... 19
1.2. Технологии проведения эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах..... 24
1.2.1. Характеристика и классификация оросительных каналов..... 24
1.2.2. Виды и объемы эксплуатационных работ на каналах открытой оросительной сети..... 35
1.2.3. Существующие технологии проведения эксплуатационных работ на оросительных каналах..... 41
1.3. Механизация эксплуатационных работ на оросительных каналах..... 49
1.3.1. Технические средства, применяемые для окашивания каналов..... 49
1.3.2. Технические средства, применяемые для срезания кустарника и мелколесья..... 57
1.3.2.1. Выбор способа резания древесины..... 57
1.3.2.2. Классификация рабочих органов кусторезов.. 66
1.3.2.3. Обзор машин, используемых для срезания древесно-кустар-никовой растительности..... 68
1.3.2.4. Конструктивные параметры дисковых пил..... 81
1.3.3. Технические средства, применяемые для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности..... 86
1.3.3.1. Классификация технических средств, применяемых для сбора срезанной древесно-кустарнковой растительности..... 88
1.3.3.2. Обзор машин, используемых для очистки площадей от срезанной древесной растительности..... 91

1.3.3.3. Основные параметры подборщиков..... 108
1.3.3.4. Использование грейферных механизмов для подбора срезанной древесно-кустарниковой растительности..... 111
1.3.3.5. Классификация гидравлических грейферов, используемых для работ с древесной растительностью.... 113
1.3.3.6. Обзор грейферных механизмов, используемых для работ с древесно-кустарниковой растительностью..... 117
1.3.3.7. Основные параметры зубчатых грейферов..... 125
1.3.4. Оборудование, применяемое для переработки древесной растительности в щепу..... 134
1.3.5. Технические средства, применяемые для удаления и угнетения пней..... 139
1.3.5.1. Способы удаления пней..... 139
1.3.5.2. Обзор и классификация машин, используемых для удаления и угнетения пней..... 143
1.3.6. Технические средства, применяемые для очистки каналов..... 153
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КАНАЛОВ ОТ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ..... 161
2.1. Алгоритм моделирования структуры новых технологий и составления технологических комплексов машин..... 161
2.2. Рациональное использование древесины удаляемой растительности..... 163
2.2.1. Анализ способов рационального использования древесины кустарника и мелколесья..... 165
2.2.2. Основные направления использования щепы, получаемой из низкосортной древесины..... 170
2.3. Ресурсосберегающая технология очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности..... 177
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ ОЧИСТКИ КАНАЛОВ ОТ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ..... 185
3.1. Разработка кусторезов для срезания древесно-кустарниковой растительности на бермах и откосах каналов..... 186
3.1.1. Конструкции кусторезов, предназначенных для работы на бермах каналов..... 186

3.1.2. Конструкции кусторезов, предназначенных для работы на бермах и откосах каналов..... 197
3.1.3. Теоретическое обоснование конструкций кусторезов с дисковыми рабочими органами..... 218
3.1.3.1. Кинематические параметры процесса срезания древесно-кустарниковой растительности..... 218
3.1.3.2. Теоретическое обоснование способа подачи дисковой пилы..... 224
3.1.3.3. Геометрия зубьев пил и срезаемой стружки при поперечной распиловке..... 237
3.1.3.4. Динамика дискового рабочего органа кустореза..... 243
3.1.3.5. Теоретическое обоснование направления падения ствола, срезанного рабочим органом дискового кустореза..... 287
3.1.3.6. Определение мощности, подаваемой на привод кустореза с дисковым рабочим органом..... 296
3.1.3.7. Имитационная энергетическая модель процесса резания древесины с использованием маятника 297
3.1.3.8. Обоснование рациональных параметров кусторезов с дисковым рабочим органом..... 300
3.1.3.9. Производительность кустореза при работе на каналах..... 304
3.2. Разработка технических средств для сбора и погрузки срезанной древесно-кустарниковой растительности.... 310
3.2.1. Конструкция универсального подборщика-собирателя..... 310
3.2.2. Конструкция подборщика срезанной древесно-кустарниковой растительности..... 314
3.2.3. Конструкция грейферного оборудования, применяемого для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности..... 319
3.2.4. Теоретическое обоснование конструкции подборщика срезанной древесно-кустарниковой растительности..... 324
3.2.4.1. Теоретическое обоснование конструктивных параметров подборщика с уплотняющими гребенками.. 324
3.2.4.2. Влияние процесса уплотнения древесно-кустарниковой растительности на производительность подборщика..... 335

3.2.4.3. Оптимизация конструктивных и технологических параметров подборщика, оснащенного уплотняющими гребенками..... 340
3.2.4.4. Теоретическое обоснование конструктивных параметров дополнительных заборных зубьев подборщика..... 350
3.2.5. Теоретическое обоснование конструктивных параметров грейферов, используемых для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности..... 363
3.2.5.1. Обоснование выбора величины раскрытия и ширины челюстей, количества зубьев и расстояния между ними..... 365
3.2.5.2. Теоретическое обоснование кривизны захватывающих зубьев..... 367
3.2.5.3. Определение энергозатрат на перемещение единичного ствола по внутренней поверхности зубьев грейфера..... 382
3.3. Повышение эффективности работы технических средств, предназначенных для переработки древесины в щепу..... 384
3.4. Разработка технических средств для угнетения пней. 386
3.5. Разработка технических средств для очистки каналов.... 403
ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... 413
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 416

Научное издание

Соловьев Дмитрий Александрович
Кузнецов Роман Евгеньевич
Горюнов Дмитрий Геннадьевич

МЕХАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

ISBN 978-5-7011-0703-6

9 785701 107036

Редактор *И.М. Дуганова*
Компьютерная верстка *Ю.А. Живаевой*

Сдано в набор 02.08.10. Подписано в печать 30.08.10.
Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Печ. л. 27.75. Уч.-изд. л. 25.80. Тираж 500. Заказ 270/268.

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»
410600, Саратов, Театральная пл., 1.