

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет магистерской подготовки

_____ Р.Н.
Евдокимов
(подпись)

АНАЛИЗ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Направление 35.04.02 Технология лесозаготовительных и
деревообрабатывающих производств

Магистерская программа «Технология и оборудование
лесопромышленных производств»

диссертация
магистра

Руководитель ВКР
к.т.н., доцент

_____ Иванов В.А.
(подпись)

Декан ФМП

_____ Видищева Е.А.
(подпись)

Руководитель магистерского направления
к.т.н., профессор

_____ Иванов В.А.
(подпись)

Руководитель магистерской программы
к.т.н., профессор

_____ Иванов В.А.
(подпись)

Братск 2018 г.
ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН.....	6
1.1 Состояние и перспективы развития лесного машиностроения в России...6	
1.2 Общая характеристика многооперационных машин для сортиментной заготовки леса.....	19
2 КЛАССИФИКАЦИЯ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН.....	24
2.1 Колесно-харвестерные машины.....	24
2.2 Колесно-форвардерные машины.....	28
2.3 Лесные комбайны для сортиментной заготовки древесины.....	34
3 НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН.....	46
3.1 Расчет производительности удельных затрат при лесозаготовке древесины многооперационными машинами.....	46

3.2 Основные принципы формирования систем машин для лесосечных работ.....	54
3.3 Оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных машин.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	..68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	71

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Доля лесной промышленности в общем объеме производства промышленной продукции и экспорта России составляет более 4 процентов.

В лесной промышленности более 22 тысяч организаций, в том числе около 3 тысяч крупных и средних, из которых свыше 95 процентов акционированы. В отрасли занято свыше миллиона человек (7 процентов от численности работающих в промышленности).

Отрасль располагает 3 процентами основных фондов промышленности Российской Федерации.

Развитие лесной промышленности России базируется на научных исследованиях, направленных на создание современных технологических процессов и оборудования, способных обеспечить конкурентоспособность отечественной лесобумажной продукции.

В лесозаготовительной отрасли, учитывая разнообразие природно-производственных условий страны, Концепцией развития лесной промышленности предполагается внедрение машин нового поколения как для хлыстовой, так и для сортиментной технологий лесозаготовок, внедрение на нижнескладских работах оборудования модульного типа, а также технологии заготовки и переработки дровяной древесины для использования ее в энергетических целях.

В настоящее время большинство технологических процессов лесозаготовительных работ основывается на применении систем машин, классификация которых может быть выполнена по следующим основным признакам: по виду получаемой продукции, перечню и последовательности операций, технологическим, эксплуатационным и нагрузочным режимам, по энергоемкости, удельным затратам заготовки 1 м³ древесины, типу машин, конструктивным особенностям и параметрам машин, в том числе лесотехнологического оборудования, по требованиям экологического равновесия окружающей среды.

Наиболее спорными являются вопросы технологии лесозаготовок (хлыстовая, сортиментная, смешанная) и состава комплексов машин для их выполнения. По какому пути целесообразно развивать в дальнейшем в России технологии лесозаготовок и комплексы лесных машин – стратегический вопрос, поскольку переход с одной технологии на другую

связан с огромными материальными затратами.

В процессе организации лесозаготовок важно подобрать оптимальный комплекс лесозаготовительных машин, наиболее эффективный в конкретных условиях. На рынке предлагается большая номенклатура специализированной и универсальной лесозаготовительной техники, и это позволяет лесозаготовителям выбирать машины в комплекте с лесотехнологическим оборудованием для реализации различных технологий заготовки древесины с учетом региональных особенностей лесозаготовительных районов.

Динамично развивающееся лесопромышленное производство определяет требования к современной науке по созданию высокоэффективных и производительных лесозаготовительных машин. При этом должны выполняться условия эксплуатации и эффективной технологии заготовки лесных ресурсов. Применение предлагаемых методик позволит определять стратегию эффективной организации производства, технологию лесозаготовок и высвободит выработавшие свой ресурс машины, что сэкономит средства, затрачиваемые на ремонт, повысит экономичность технологического процесса. Для каждого условия предлагаемые модели помогут провести оптимизацию параметров и режимов работы лесозаготовительных машин, выбрать менее затратную технологию с целью их дальнейшего внедрения в ЛПК Иркутской области.

Степень разработанности темы исследования. Теоретической базой исследования явились труды российских и зарубежных ученых по изучению технологических нововведений в лесную промышленность. Исследования были сосредоточены на последних технических новшествах,

связанных с производительностью лесозаготовительных машин. Также было отмечено, что существует большой потенциал для увеличения производительности за счет развития существующих методов работы. Вопросы нахождения эффективной модели работы лесозаготовительных машин были рассмотрены в работах: Д. Андерсона, Л. Элиассона, В.П. Пашкова, Ф. Фульвио, Д. Бергстром, К. Конса, Т. Нордфджела, У. Халонборг, С. Бухта, С. Оласона. Изучение технологий и машин лесосечных работ представлены в научных работах: Э.Ф. Герца, В.А. Азаренка, А.В. Мехренцева, С.В. Залесова, С.Б. Якимовича, В.В. Иванова, Ю.Н. Безгиной, А.В. Жукова, М.А. Тетериной, И.В. Григорьева, А.К. Редькина, О. Ильина, М. Корпачевского, и других.

Целью настоящей магистерской работы является анализ лесозаготовительных машин, применяемых в современный период в лесопромышленном комплексе России, выявление проблемных вопросов практики применения и установление необходимых путей их решения.

Поставленная цель потребовала решения ряда задач:

- 1) проведение анализа состояния и перспектив развития лесного машиностроения в России;
- 2) рассмотрение теоретических аспектов многооперационных машин для сортиментной заготовки леса;
- 3) изучение классификации многооперационных лесозаготовительных машин;
- 4) выявление направлений совершенствования работы лесозаготовительных машин.

Практическая значимость. Внедрение полученных результатов позволяет повысить эффективность деятельности лесозаготовительных предприятий за счет обоснованного

выбора систем лесосечных машин для сортиментной заготовки. Разработанная система машин позволяет на стадии проектирования выбирать лесные комбайны, обеспечивающие эффективную эксплуатацию, повышая тем самым производительность лесного комбайна, соответственно увеличивая объемы лесозаготовок.

Объем и структура работы. Магистерская работа состоит из введения, трех глав, разбитых в свою очередь на пункты, заключения и списка использованной литературы.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

1.1 Состояние и перспективы развития лесного машиностроения в России

Лесной комплекс Российской Федерации, включающий в свой состав лесное хозяйство и лесопромышленные отрасли по заготовке и переработке древесины, занимает важное место в экономике страны. Леса России – один из важнейших возобновляемых природных ресурсов, составляют более четверти мировых запасов древесной биомассы и выполняют важнейшие средообразующие и средозащитные функции.

Имеющиеся запасы лесных ресурсов Российской Федерации позволяют обеспечить не только текущие и перспективные внутренние потребности страны в древесине и продуктах ее переработки, но и значительно расширить экспорт лесных товаров.

Продукция лесного комплекса широко используется во

многих отраслях промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, полиграфии, торговле, медицине. Объемы производства и потребления мебели и бумажно-картонной продукции оказывают непосредственное влияние на социальное и культурное развитие общества.

Воспроизводством и защитой лесов, заготовкой и переработкой древесины занимаются около 60 тысяч крупных, средних и мелких предприятий, расположенных во всех регионах страны. В 45 субъектах Российской Федерации производство лесобумажной продукции составляет от 10 до 50 процентов от общих объемов промышленной продукции этих регионов. На предприятиях и в организациях лесного комплекса занято более одного миллиона работающих.

Доля лесного комплекса в ВВП страны составила в 2016 г. 1,3%, в объеме отгруженной продукции - 4,7%, в численности работающих в промышленности - 3,2%, экспорте - 3,2%.

Состав лесного комплекса по видам экономической деятельности представлен на рис. 1.1.

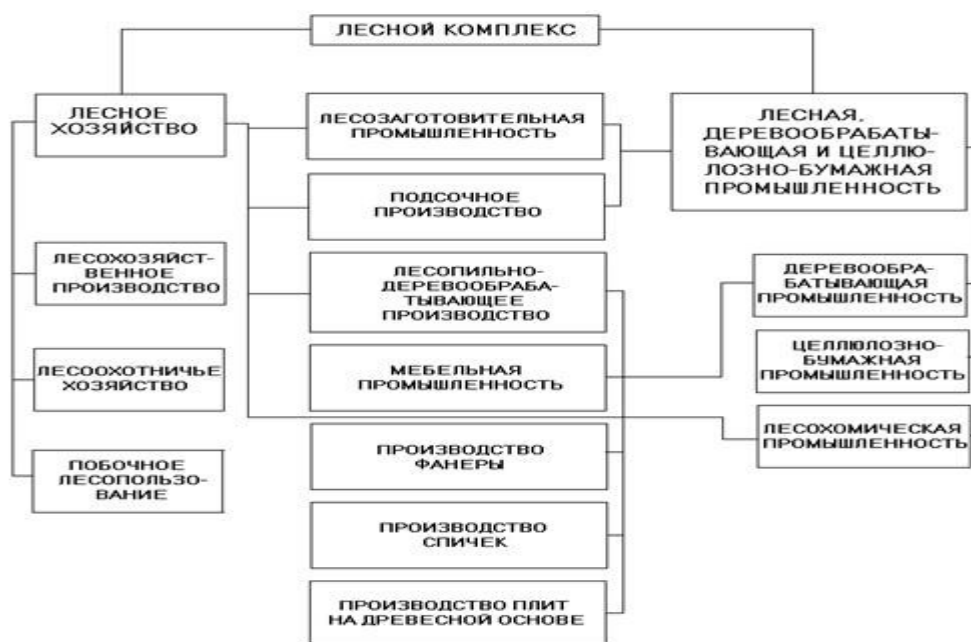


Рисунок. 1.1 – Состав лесного комплекса по видам

экономической
деятельности Российской Федерации

Объемы и динамика производства основных видов лесобумажной продукции в Российской Федерации за 2000 - 2016 гг. представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Динамика объемов производства основных видов продукции

лесного комплекса Российской Федерации

Наименование	2000	2008	2010	2015	2016	2016 в % к 2000
Заготовка древесины, млн. куб. м	303,8	130,2	167,9	185,0	207,0	68,1
Пиломатериалы, млн. куб. м	75,0	18,6	20,0	22,0	23,2	30,9
Фанера, млн. куб. м	1,6	1,1	1,5	2,6	2,8	175,0
Древесно-стружечные плиты, млн. куб. м	5,6	1,6	2,3	3,8	5,3	94,6
Древесно-волокнистые плиты, млн. куб. м	1,5	0,6	0,9	1,3	1,6	106,7
Бумага и картон, млн. т	8,3	3,6	5,3	7,1	7,6	91,6

Как видно из представленных в таблице 1.1 данных, объемы заготовки древесины, производства пиломатериалов, древесно-стружечных плит, целлюлозы, бумаги и картона в 2016 г. ниже уровня 2000 г.¹

Мировой лесной сектор за рассматриваемый период развивался более высокими темпами (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Объемы мирового лесопромышленного производства

за 2000 – 2016 гг. (без учета России)

¹ Евдокимов, Б.П. Эксплуатация машин в лесозаготовительных предприятиях [Текст] / Б.П. Евдокимов // Лесной комплекс Сибири. – 2016. – № 8. – С. 21-22.

Показатели	2000	2008	2015	2016	2016 в % к 2000
Заготовка древесины, млн. куб. м	3147,2	3129,2	3316,2	3400,0	108,0
Пиломатериалы, млн. куб. м	430,7	358,0	406,0	410,0	95,2
Фанера, млн. куб. м	46,2	49,0	66,4	74,1	160,8
Древесно-стружечные плиты, млн. куб. м	44,8	70,9	95,7	106,3	237,3
Древесно-волоконистые плиты, млн. куб. м	18,7	27,1	55,6	67,5	361,0
Бумага и картон, млн. т	230,7	298,1	347,1	365,1	158,2

За период 2000 - 2016 гг. в мире наиболее высокими темпами развивались производства по химико-механической и химической переработке древесины, в то время как в Российской Федерации по причине недостатка собственных мощностей по глубокой переработке древесины объем производства бумаги и картона находится на уровне 1990 г.

Неадекватность российского лесного машиностроения задачам развития лесного комплекса. К настоящему времени большинство заводов лесного машиностроения прекратило свою производственную деятельность. В результате резко снизились объемы выпуска лесозаготовительной техники и деревообрабатывающего оборудования. Так, выпуск трелевочных тракторов, валочно-пакетирующих и сучкорезных машин снизился в десятки раз.

Действующие предприятия лесного машиностроения не обеспечивают необходимый технический уровень и качество выпускаемой лесозаготовительной техники. Не соответствует современному уровню качества выпускаемое отечественное деревообрабатывающее оборудование, значительно

уступающее по показателям материало- и энергоемкости импортным аналогам. Разрушена отраслевая научно-исследовательская и проектная база развития лесного машиностроения. Отсутствует база сервисного и эксплуатационного обслуживания отечественной лесозаготовительной техники.¹

В России лесозаготовки осуществляются, в основном, тремя методами: деревьями, хлыстами и сортиментами. И хотя нехватка специализированного оборудования мешает увеличению доли сортиментной заготовки, этот метод становится в России все более популярным, так как он, например, лучше подходит для рубок ухода, имеет лучшую эффективность и оказывает меньше влияния на окружающую среду. Доля сортиментного метода в 2015-2016 годах достигла 90% от общего объема лесозаготовок в Иркутской области, тогда как в целом по стране его доля составляет приблизительно 50%.

Большинство машин, используемых для заготовки леса деревьями или хлыстами, производится на территории России. Машины, производимые в России для сортиментного метода заготовки, уступают по качеству западному оборудованию и поэтому их производство незначительно. Как результат, большие лесозаготовительные компании и лесопромышленные корпорации начинают закупать все больше западной лесозаготовительной техники, предназначенной для заготовки древесины деревьями и сортиментами.²

¹ Евдокимов, Б.П. Эксплуатация машин в лесозаготовительных предприятиях [Текст] / Б.П. Евдокимов // Лесной комплекс Сибири. - 2016. - № 8. - С. 21-22.

² Ярошенко, А.Ю. От сплошных рубок к выборочным [Текст] / А.Ю.Ярошенко // ЛесПромИнформ. - 2012. - № 3(85). - С. 18-21.

Ожидается, что российский рынок лесных машин значительно вырастет в будущем, в основном, из-за необходимости обновления парка лесозаготовительных машин и значительного потенциала российских лесов. Динамика использования различных методов лесозаготовки (сортиментами, хлыстами и деревьями) имеет значительное влияние на распределение долей между различными машинами на российском рынке.

Сортиментный метод с использованием лесозаготовительных машин стал обычным для лесозаготовительных регионов России в 90-е годы прошлого века. Сортиментный метод стал еще более распространенным в 2000-х годах в связи с увеличением импорта харвестеров и форвардеров. Производство харвестеров в России незначительно, поэтому преимущественно лесозаготовительная техника на предприятиях используется импортного производства.¹

В России импортная пошлина на харвестеры была достаточно низкой, всего 5%. В начале 2007 года импортная пошлина на харвестеры была отменена, но с 2009 года пошлина была введена снова в прежнем размере. Импортная пошлина на форвардеры была выше, чем на харвестеры, и до 2009 года составляла 15%. В начале 2009 года импортная пошлина на форвардеры была увеличена до 25%, что рассматривается как мера по защите отечественного производства. Эта мера также должна была способствовать переносу части производства лесных машин на территорию России.

¹ Евдокимов Б.П. Эксплуатация машин в лесозаготовительных предприятиях [Текст] / Б.П. Евдокимов // Лесной комплекс Сибири. - 2016. - № 8. - С. 21-22.

Несмотря на ужесточение таможенной политики, экспорт харвестеров из зарубежных стран в Россию увеличивался, в основном в 2008–2013 годах (рис. 1.2). В 2014 году при насыщении рынка, а также в связи с мировым финансовым кризисом, наблюдается резкий спад экспорта машин и оборудования для лесного хозяйства в целом.

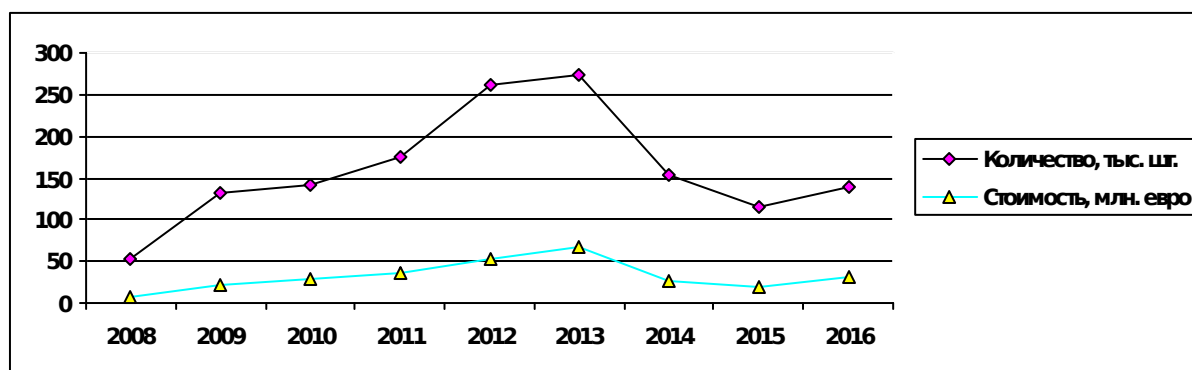


Рисунок 1.2 – Экспорт харвестеров в Россию в 2008 – 2016 г.

Экспорт форвардеров в Россию, измеренный в экспортной стоимости, также рос, в основном, в 2008–2013 годах (рис. 1.3). Количество экспортированных машин оставалось постоянным, но экспорт сфокусировался на тяжелых машинах (общий вес более 20 т) вместо легких (общий вес меньше 20 т). В соответствии с данными ФТС России, экспорт тяжелых машин сократился в 2014 году с 373 до 134 тыс. шт., а легких машин с 259 до 95 тыс. форвардеров. Экспорт харвестеров и форвардеров начал увеличиваться в 2015 году.

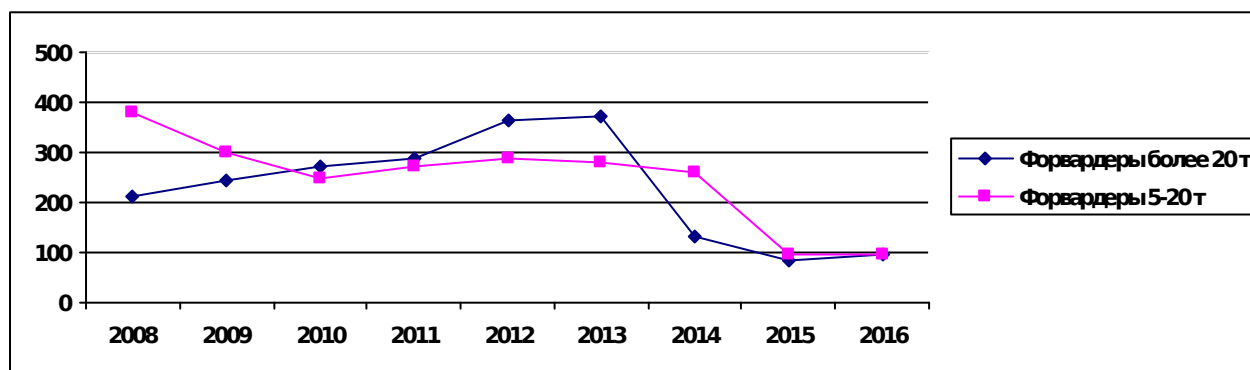


Рисунок 1.3 – Экспорт форвардеров из зарубежных стран в Россию в 2008 – 2016 годах, тыс. шт.

На рисунке 1.4 отображена динамика экспорта форвардеров в стоимостном выражении.

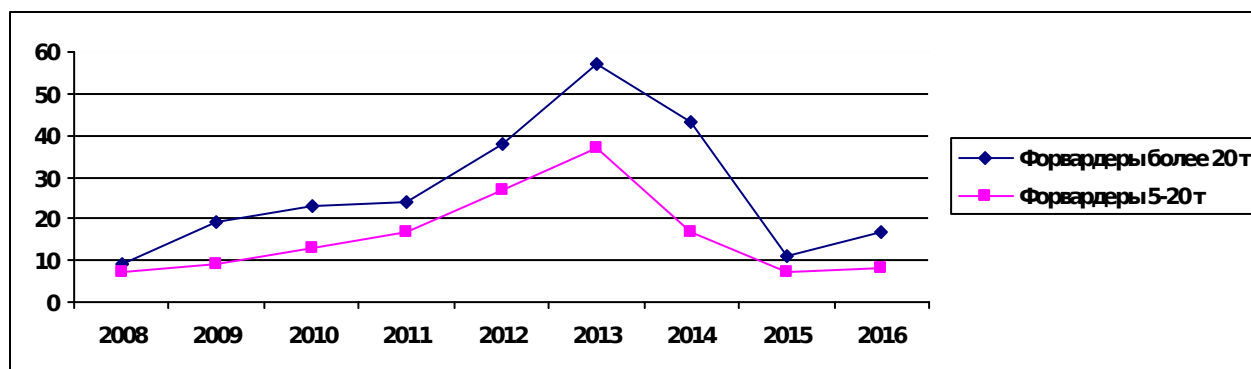


Рисунок 1.4 - Экспорт форвардеров из зарубежных стран в Россию в 2008 - 2016 годах, млн. евро

На рисунке 1.5 представлена динамика экспорта легких (общий вес 5-20 тонн) и тяжелых (общий вес более 20 тонн) машин в 2008-2016 годах. В начале этого периода экспорт легких машин был больше по числу, чем экспорт тяжелых машин. С 2010 года доля тяжелых машин стала больше доли легких машин. Экспорт новых машин также увеличился с 2010 года. Однако экспорт обеих групп машин снизился в 2014-2015 годах с увеличением в России импортной пошлины. Восстановление экспорта легких харвестеров в конце 2015 года предсказывает временный эффект от повышения импортной пошлины.

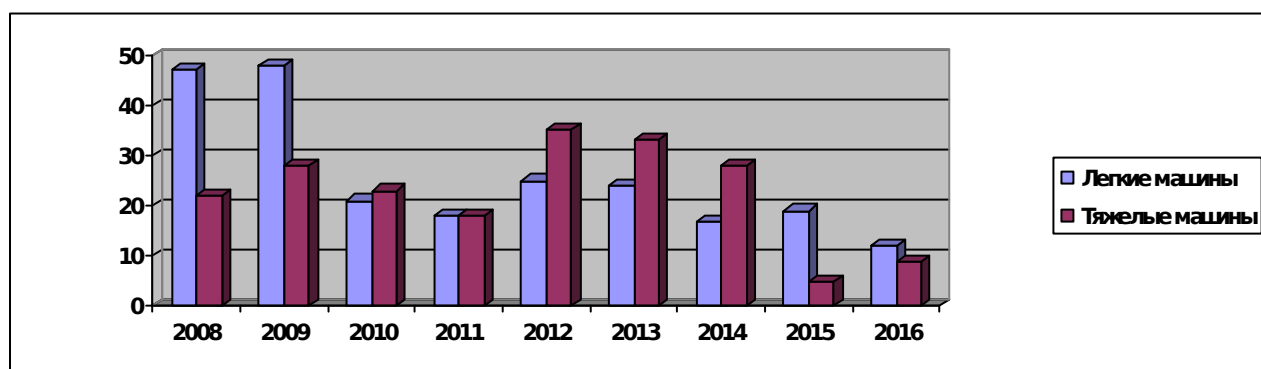


Рисунок 1.5 - Экспорт легких (5-20 тонн) и тяжелых (более 20 тонн) машин, включая харвесты и автомобили, в 2008 - 2016

годах, тыс. шт.

Экспорт обеих групп машин оставался незначительным и постоянным в количественном выражении в 2016 году.¹

Следует отметить, что за последние годы нарастающими темпами поставлено в регионы Восточной Сибири по импорту с вторичного рынка Китая 558 гусеничных трелевочных тракторов легкого класса эксплуатационной массой 6,5 и 8,7 т, с двигателями мощностью 37 и 57 кВт – аналогов тракторов ТДТ-40М и ТДТ-75, выпускаемых в 1970-е годы Онежским и Алтайским тракторными заводами. В 2016 г. поставлено 130 тракторов массой 6,5 т и с двигателями мощностью 37 кВт.²

Конъюнктура российского рынка лесозаготовительной техники, сложившаяся в последнее время, показывает снижение продаж техники отечественных производителей на 50% по сравнению с 2013 г., и пополнение рынка осуществляется в основном за счет импортной техники лесопромышленными структурами (ГК «Титан», ОАО «Соломбальский ЛДК», ОАО «Котласский ЦБК», ОАО «Усть-Илимский лесопромышленный комплекс»), доля которых составляет порядка 20% от общего числа лесозаготовительных предприятий.

Высокая доля импортной лесозаготовительной техники в структуре российского рынка объясняется прежде всего отсутствием отечественного производства техники широкой номенклатуры для сортиментной заготовки древесины, в том числе на колесных шасси. За рубежом отмечается стабильный

¹ Таможенная статистика внешней торговли: экспорт России из стран дальнего зарубежья за период 2008 – 2016 гг. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Федеральной таможенной службы: http://www.customs.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=13858&Itemid=2095

² Стрельцов, Э.С. Российский рынок лесозаготовительной техники [Текст] / Э.С. Стрельцов // Леспроектинформ. – 2017. - № 2. - С. 8-9.

рост разработок и выпуска как колесной специализированной, так и универсальной лесозаготовительной техники, создаваемой на базе бульдозеров (Caterpillar) и экскаваторов (Caterpillar, John Deere, Kobelco, Hitachi, МНТ) для различных методов заготовки древесины.

Количественный объем продаж отечественной лесозаготовительной техники сопоставим с поставками импортной техники. Социально-экономические проблемы вынуждают российские предприятия уделять основное внимание обеспечению занятости работников, а не мерам по механизации лесозаготовительного процесса за счет использования техники высокого технического уровня. Это ведет к сдерживанию собственных разработок отечественных лесозаготовительных машин, сопоставимых по уровню с импортной техникой.¹

В Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденной Приказом Минпромторга России и Минсельхоза России от 31.10.2008 г. № 248/482², перечислены основные факторы, обусловившие появление системных проблем в развитии лесопромышленного комплекса. В качестве одного из таких факторов названа неадекватность российского лесного машиностроения задачам развития лесного комплекса.

В этом документе отмечено, что к настоящему времени большинство заводов лесного машиностроения прекратило свою производственную деятельность. В результате резко снизились объемы выпуска лесозаготовительной техники и

¹ Редькин, А.К. Технология и оборудование лесозаготовок : учеб. пособие. 2-е изд. [Текст] / А.К. Редькин, В.Д. Никишов, С.Н. Смехов, И.В. Ярцев. - М. : ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012.- 178 с.

² Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года: [Приказ: Принят Минпромторгом России и Минсельхозом России 31.10.2008 г. № 248/482] // Российская газета. - 2008. - 07 ноября. - № 317.

деревообрабатывающего оборудования. Так, например, выпуск трелевочных тракторов, валочно-пакетирующих и сучкорезных машин сократился в десятки раз.

Действующие предприятия лесного машиностроения не обеспечивают необходимый технический уровень и качество выпускаемой лесной техники. Не соответствует современному мировому уровню и качество выпускаемого в России деревообрабатывающего оборудования, которое значительно уступает по показателям материало- и энергоемкости импортным аналогам. В этом же документе было официально признано, что отраслевая научно-исследовательская и проектная база развития лесного машиностроения разрушена. По сути, перестала существовать база сервисного и эксплуатационного обслуживания отечественной лесной техники.

Одной из основных предпосылок инновационного сценария развития лесного комплекса России, который предусматривал принятие целевых мер государственной поддержки лесного комплекса, в Стратегии развития ЛПК называлось восстановление отечественного лесного машиностроения на базе использования отечественного и зарубежного научно-технического потенциала, государственной поддержки инновационной деятельности и отраслевой научно-технической сферы, лицензий, организации совместных производств.¹

В качестве основных направлений НИОКР, призванных обеспечить инновационное развитие лесозаготовительного производства и лесного машиностроения, назывались

¹ Пятакин, В.И. Лесоэксплуатация : учебник для студ. высш. учеб. заведений [Текст]/ В.И.Пятакин, Э.О. Салминен, Ю.А. Бит. - М.: Академия, 2006. - 320 с.

следующие: разработки нового поколения лесных машин конкурентоспособного уровня с улучшенными функциональными характеристиками, щадящим воздействием на лесную среду, увеличенными показателями надежности; разработки импортозамещающих образцов машин и оборудования, в том числе: машин для заготовки сортиментов, колесных трелевочных машин, самоходных канатных трелевочных установок, лесопогрузчиков манипуляторного типа, лесовозных автопоездов с повышенной нагрузкой на ось; разработки лесозаготовительных машин и технологий для заготовки древесины в сложных природных условиях (слабонесущие грунты, сильно пересеченная местность, горные условия).

Таблица 1.3 – Объем рынка лесных машин в РФ, 2016 год

Вид техники	Отечественное производство		Импорт		Всего	
	Кол-во, шт.	Объем продаж, млн. руб.	Кол-во, шт.	Объем продаж, млн. руб.	Кол-во, шт.	Объем продаж, млн. руб.
Валочно-пакетирующие и валочно-трелеровочные машины	58	232	40	400	98	632
Гусеничные трелеровочные машины	732	1830	н/д	н/д	732	1830
Колесные трелеровочные машины	н/д	н/д	147	882	147	882
Харвестеры	н/д	н/д	349	4362,5	349	4362,5
Форвардеры	н/д	н/д	447	4335,9	447	4335,9
Итого	790	2062	983	9580,4	1773	11642,4

Таблица 1.4 – Объем рынка лесозаготовительных машин, 2016 год

Вид техники	Отечественное производство		Импорт		Всего	
	Кол-во, шт.	Объем продаж, млн. руб.	Кол-во, шт.	Объем продаж, млн. руб.	Кол-во, шт.	Объем продаж, млн. руб.
Валочно-пакетирующие и валочно-трелеровочные машины	19	114	51	724,2	70	838,2
Гусеничные трелеровочные машины	74	296	21	19,4	95	315,4
Колесные трелеровочные машины	н/д	н/д	62	585,7	62	585,7
Харвестеры	1	8	272	3769,1	273	3777,1
Форвардеры	3	21	195	2547	198	2568
Итого	97	439	601	7645,4	698	8084,4

Таблица 1.5 – Динамика лесного машиностроения, 1990–2015 годы

Основные производители (тракторные заводы)	Объемы выпуска техники в год	
	До 1990 года	2015 год
«Петрозаводскнаш» (г. Петрозаводск)	10 тыс. гусеничных тракторов	Не существует
Онежский	Более 10 тыс. гусеничных тракторов	50 гусеничных тракторов
Сыктывкарский	1200 сучкорезных и 200 сучкорезно-раскряжевочных машин	Не существует
Красноярский	Погрузчики,	Не существует

	бесчokerные трелеровщики, валочно-трелеровочные машины	
Пермский	400 валочно-трелеровочных машин, 600 бесчokerных трелеровщиков	Не существует
Екатеринбургский	600 сучкорезных машин 250 полуавтоматических раскрывочных линий, 50 сортировочных транспортеров	Единичный выпуск машин
Йошкар-Олинский	600 валочно-пакетирующих машин	Не существует
НПП «Лесагросервис»	Пильные цепи для валочных машин	Не существует

Со дня принятия вышеупомянутого документа прошло почти девять лет. Многие события, произошедшие за этот период, включая мировой экономический кризис 2008 года и западные санкции 2014 года, в той или иной мере способствовали или препятствовали развитию лесного комплекса нашей страны, в том числе и лесному машиностроению.

Сравнительный анализ данных табл. 1.4 и 1.5 показывает, что, к сожалению, благие намерения Минпромторга и Минсельхоза России не привели к положительным результатам. Более того, с момента принятия Стратегии развития ЛПК объем выпуска отечественных лесных машин упал почти в девять раз! А данные, представленные в табл. 1.3, позволяют понять глубину сложившегося кризиса в области лесного машиностроения России.

С другой стороны, данные табл. 1.5 позволяют по-новому взглянуть на перспективы развития лесного машиностроения в

России.

Они свидетельствуют о том, что, несмотря на катастрофическое сокращение выпуска в России новых лесных машин, продукция отечественного лесного машиностроения по-прежнему продолжает преобладать на лесозаготовительных предприятиях России. Причем очевидно, что степень ее износа давно перевалила за критическую. Еще в 2007 году степень износа парка лесных отечественных машин составляла почти 100%.

Практика работы мелких лесозаготовительных предприятий, которых в ЛПК РФ подавляющее большинство, показывает, что в основном используются старые тракторы, собранные из нескольких машин б/у. Лесозаготовители часто сталкиваются с проблемой отсутствия простых запасных частей, которые уже не выпускают машиностроительные заводы и не могут изготовить мелкие ремонтные предприятия ввиду отсутствия необходимых для этого рабочих кадров (фрезеровщиков, токарей и т. д.), а также в связи с полным износом станочного парка.

Таблица 1.6 – Динамика объемов заготовок древесины в РФ, 1990-2015 годы

Показатель	1990 год	2015 год
Объем лесозаготовок, млн м ³	305,3	196
Доля отечественных машин в объеме лесозаготовок, %	99,7	75

Исходя из данных табл. 1.6, которые характеризуют объемы применения технологий в общем объеме заготовок древесины, можно утверждать, что на лесозаготовительных предприятиях России преобладает сортиментная заготовка. Причем на рабочих операциях (валка, обрезка сучьев, раскряжевка) в основном используются бензиномоторные

пилы. Преобладание бензиномоторных пил при скандинавской технологии заготовки древесины, предусматривающей получение сортиментов у пня, в Финляндии наблюдалось в конце XX века. Особо следует отметить, что, к сожалению, еще в конце 2009 года в России был прекращен выпуск отечественного моторного инструмента для лесозаготовительной отрасли в связи с закрытием линии на пермском ФГУП «Машиностроительный завод имени Ф. Э. Дзержинского», которое выпускало всемирно известные марки бензиномоторных пил «Дружба» и «Урал».¹

Таблица 1.7 – Объемы применения технологий в общем объеме заготовки древесины²

Основные технологические операции	Основное лесозаготовительное оборудование	Доля в общем объеме, %
Валка + обрезка сучьев + трелевка	Бензопила + машина трелевочная чокерная (бесчокерная)	9
Валка, пакетирование деревьев + трелевка + обрезка сучьев	ВПМ + машина трелевочная бесчокерная (чокерная) + сучкорезная машина (процессор)	17
Валка + обрезка сучьев + трелевка + раскряжевка хлыстов на верхнем складе	Бензопила + машина трелевочная чокерная (бесчокерная) + бензопила	45
Валка + трелевка + раскряжевка хлыстов на верхнем складе	Бензопила + машина трелевочная чокерная (бесчокерная) + сучкорезно-раскряжевочная машин	1

¹ Бояринцев, А.К. Рынок лесозаготовительной техники: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] / А.К. Бояринцев, Е.А. Волков // Издательский дом Предприниматель URL: http://www.idpr.ru/projects/2221/2174/2598/_aview_b63433

² Миронов, Е.И. Машины и оборудование лесозаготовок: Справочник [Текст] / Е.И. Миронов, Д.Б. Рохленко, Л.Н. Беловзоров. – М.: Издательство Лесная промышленность, 2013. – 320 с.

	а (процессор)	
Валка, обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов + подвозка сортиментов	Харвестер + форвардер	20
Валка, обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов + подвозка сортиментов	Бензопила + форвардер	5
Валка, пакетирование деревьев + трелевка + обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов	ВПМ + машина трелевочная бесчокерная + сучкорезно-раскряжевочная машина (процессор)	3

Ситуация, складывающаяся в настоящее время в экономике России, и прежде всего высокий курс основных иностранных валют по отношению к рублю, позволяет надеяться на возрождение отечественного лесного машиностроения на базе отечественных разработок.

Меры по возрождению предприятий лесного машино- и станкостроения следует ориентировать в первую очередь на крупные и средние лесозаготовительные и перерабатывающие предприятия. Разработку новых образцов техники надо вести с учетом особенностей природно-производственных условий лесного фонда России, с использованием разработок, выполненных в отечественных научных и образовательных учреждениях. Например, на лесоинженерном факультете СПбГЛТУ только за последние годы разработано более 50 новых технических и технологических решений на уровне изобретений и полезных моделей, позволяющих существенно повысить эффективность лесохозяйственных, лесозаготовительных и деревообрабатывающих операций.

Принципиальным моментом следует считать то, что у России нет морального права скатываться до уровня

отверточно-сборочного производства импортных лесных машин. Необходимо правильно выбрать свой путь и помнить, что мы когда-то были законодателями мировой моды в области лесных машин и оборудования. Надо на базе действующих лесных вузов создать научно-производственные центры с достойным финансированием, которым следует дать госзадания на разработку, выпуск и испытание линейки определенных видов лесных машин (лесозаготовительных, трелевочных, погрузочных и т. п.) для эксплуатации в разных природно-производственных условиях России. Необходимо возродить государственные опытные лесозаготовительные предприятия для испытания новых машин, оборудования и технологий.¹

Сегодня следует работать над технологиями будущего, например, плантационного выращивания с последующей заготовкой и переработкой энергетической древесины и древесины для производства упаковочных материалов и другой продукции ЦБП. Внедрение таких технологий потребует принципиально новых подходов к разработке перспективных систем лесных машин.

1.2 Общая характеристика многооперационных машин для сортиментной заготовки леса

На сегодняшний день рынок производителей оборудования для заготовки древесины представляет собой широкий спектр предложений как зарубежного, так и

¹ Ващук, Л.Н. Динамика лесных пространств Иркутской области / Л.Н. Ващук, А.Д. Швиденко. - Иркутск: ИГУ, 2006. - 392 с.

российского производства от мини-харвестеров/форвардеров до комбинированных машин (харвардер/форвестер).¹

Лесозаготовительные машинные комплексы используются в качестве специального оборудования для обеспечения операций технологического процесса заготовки сортиментов и управляются операторами. Машинные комплексы подразделяют на группы в зависимости от назначения, конструкций технологического оборудования:

- Харвестер (англ. harvester, от harvest «собирать урожай») – это самоходная одномодульная универсальная лесозаготовительная машина, выполняющая операции валку дерева, обрезку сучьев, раскряжевку и обмер полученного сортимента.

- Процессор - это сучкорезно-раскряжевочная машина с возможностью сортировки сортиментов по длинам непосредственно на волоке при сплошных и несплошных рубках.

- Форвардер (англ. forvarder) – это двухмодульное транспортное средство, состоящее из погрузочного манипулятора и грузовой тележки, выполняющее трелевку лесоматериала на погрузочный или промежуточный пункт лесосеки.

- Харвардер (форвестер) – это универсальная лесозаготовительная машина, конструкция которой включает в себя комбинированный валочно-сучкорезный-раскряжевочно-погрузочный и грузовой (в виде транспортной платформы) модули, т.е. объединяет в себе функции харвестера и форвардера.

¹ Макаренко, А.В. Многооперационные машины для лесозаготовок и лесохозяйственного производства [Текст]/ А.В. Макаренко, М.А. Быковский. – М.: Академия, 2009 – 372 с.

Современные условия функционирования лесопромышленных предприятий заставляют их руководителей обращать внимание на сортиментную технологию заготовки древесины, которая позволяет значительно повысить эффективность производства при сохранении и воспроизводстве природной среды (подроста).

Парк лесосечных машин отечественного лесного комплекса в значительной мере постоянно обновляется за счет поступлений зарубежной техники. В большинстве своем она является продуктом высококлассного машиностроения, так как непрерывное техническое развитие привело харвестеры и форвардеры к популяризации из-за удобного управления многофункциональной машиной.

К примеру, большинство современных лесозаготовительных машин имеют в управлении лесозаготовительной машиной персональный встроенный компьютер. По своим функциональным качествам, проходимости, безопасности и экологичности, данные машины обладают повышенной приспособляемостью к выполнению лесозаготовительных работ. Практически все они имеют высокую производительность, надежность, низкие эксплуатационные расходы, хороший дизайн, комфортность и эргономичность рабочего места оператора.¹

Важнейшей особенностью развития зарубежной техники является ее постоянное совершенствование на конкурентной основе. Каждая модель импортируемых машин легко адаптируется к российским условиям.

¹ Азаренок, В.А. Сортиментная заготовка древесины: учебное пособие [Текст] / В.А. Азаренок, Э.Ф. Герц, С.В. Залесов, А.В. Мехренцев. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. - 140с.

Отличительной чертой зарубежной техники является ее высокая стоимость по сравнению с отечественной.

В настоящее время существующая и применяемая сортиментная заготовка леса производится в основном колесными харвестерными и форвардерными машинами (колесно-харвестерные машины и колесно-форвардерные), а хлыстовая – колесными и гусеничными харвестерными машинами (гусенично-харвестерные машины) и трелевочными колесными машинами (колесно-трелевочные машины). Компоновочные схемы основных их типов представлены на рис. 1.6.

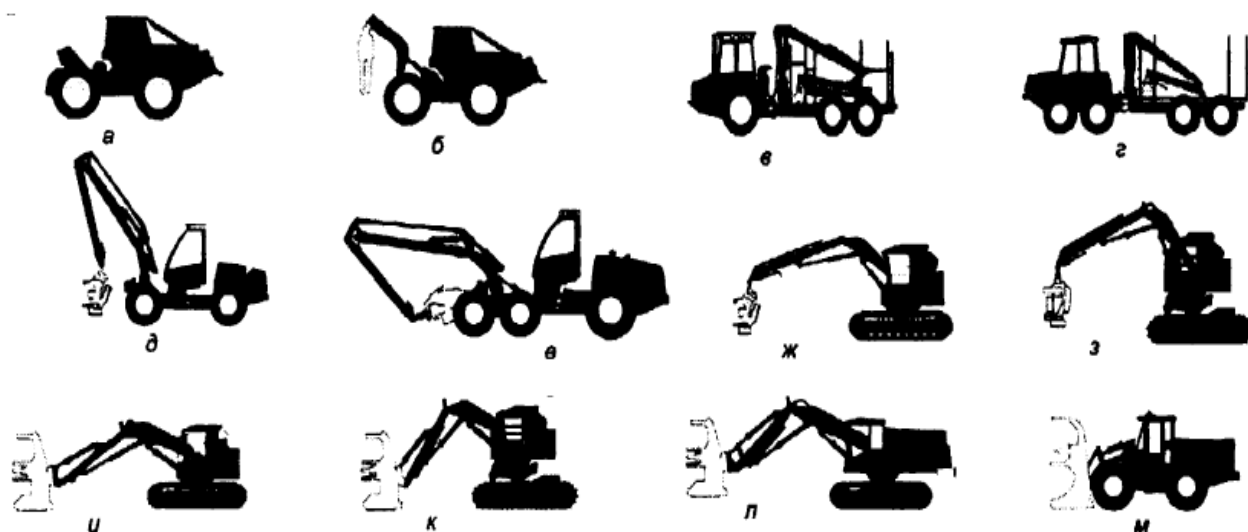


Рисунок 1.6 – Компоновочные схемы лесозаготовительных машин

На рисунке 1.6 указаны следующие виды машин:

- а и б – трелевочные машины (скиддеры) (4х4), тросочерной оснасткой (а) и грейферным захватом (б);
- в и г – погрузочно-транспортные машины (форвардеры) 6х6 (в) и 8 х8 (г);

- d и e – колесные валочно-харвестерные машины 4x4 (д) и 6x6 (e);

- ж и з – гусеничные валочно-раскряжевочные машины (харвестеры) с неизменяющимся (ж) и с изменяющимся (з) горизонтальным уровнем платформы и нулевым выступом хвостовой части;

- и, к, л – гусеничные валочно-пакетирующие машины с неизменяющимся (и, к) и с изменяющимся (л) горизонтальным уровнем платформы и нулевым выступом хвостовой части (и, л);

- м – узкозахватная валочно-пакетирующая машина фронтального типа с колесной схемой 4x4.¹

Производством лесозаготовительных машин занимаются свыше 30 фирм Западной Европы и Северной Америки. Из них по количеству номенклатур выпускаемых машин выделяются компании John Deere, Komatsu(Valmet), Ponsse, TimberPro, Logset, Rottne, Tigercat и Амкодор.

Лидирующее положение занимает John Deere (бывшая Timbeijaek).

В модельном ряде машины отличаются не только параметрами, но во многих случаях и компоновочными решениями. В целом внешняя компоновка машин имеет кубическое построение с доминирующим возвышением кабины оператора. Моделям каждой фирмы присущ свой характерный вид и свой фирменный цвет. Внешние формы выполнены с помощью дизайнерских идей, так и с прочностных факторов. Элементы моторного капота и кабины у большинства моделей выполнены с использованием овальных поверхностей.²

¹ Пятакин, В.И. Технология и машины лесосечных работ [Текст]/ В.И. Пятакин. - СПбГЛТУ, 2012. - 362 с.

² Пятакин, В.И. Технология и машины лесосечных работ [Текст] / В.И. Пятакин. -

Зарубежный парк лесозаготовительной техники в большинстве состоит из колесных машин. По сравнению с гусеничными, они имеют следующие преимущества:

- дешевле в производстве и низкие эксплуатационные расходы;
- широкий диапазон рабочих и транспортных скоростей движения;
- малоповреждаемое воздействие на лесную среду;
- меньшая металлоемкость;
- самостоятельное перемещение по дорогам общего назначения.

2 КЛАССИФИКАЦИЯ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

2.1 Колесно-харвестерные машины

Современная сортиментная заготовка леса проводится с широким применением колесных харвестерных машин. Все модели таких машин имеют двухмодульную компоновку. Энергетический и технологический модули шарнирно соединены между собой. На энергетическом модуле установлена моторная установка машины, а на технологическом - гидроманипулятор с подвешенной харвестерной головкой. На технологический модуль приходится 51,0...65,0% всей массы колесно-харвестерной машины. Это положительно влияет на устойчивость машин, следовательно, на повышение производительности.¹

Данная техника является внедорожными, полноприводными машинами с колесными схемами 4x4, 6x6 и 8x8. В общем виде они представляют собой двухмодульную компоновку с шарнирно-сочлененной рамой. Исключение составляет узкозахватная валочно-пакетирующая машина фронтального типа, которая имеет монорамную конструкцию. Сейчас выпускается более 60 моделей колесно-харвестерных машин. Приоритетные компании одновременно выпускают в основном по три или четыре модели одной машины с различными техническими характеристиками.

В соответствии со своими параметрами харвестерные машины предназначены для выполнения различных рубок ухода, спелых и перестойных насаждений. Они подразделены на три группы (табл. 2.1). Четкой границы разделения машин по группам назначения провести невозможно, но авторами В.А. Азаренком, Э.Ф. Герцем, С.В. Залесовым, А.В. Мехренцевым в учебнике «Сортиментная заготовка древесины: учебное

¹ Ширнин, Ю.А. Технология и машины лесосечных работ: учеб. пособие для студентов вузов [Текст] / Ю.А. Ширнин - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. - 83 с.

пособие»¹ предложено классифицировать колесно-харвестерные машины следующим образом (табл. 2.1):

Таблица 2.1 – Классификация харвестеров по назначению

№ группы	Назначение	Модели харвестерных машин
1	Выполнение прореживания, проходных рубок и сплошных рубок древостоев диаметром деревьев до 30 см	John Deere (1070e,1170e), Komatsu (901.901TX.1), Ponsse (Beaver, Fox, Ergo, Scorpion), Амкодор (2531, 2541, 2551)
2	Выполнение проходных рубок и сплошных рубок древостоев с диаметром деревьев до 50 см	John Deere (1270e),Komatsu (911,911.5,931,931.1), Ponsse (Beaver, Fox, ScorpionKing), Амкодор (2551)
3	Выполнение сплошных рубок	John Deere (1470e), Komatsu (941.1,951), Ponsse (Beaver, Fox, ScorpionKing)

В 1-ю группу входят наиболее компактные лесозаготовительные машины с массой не более 22 т и мощностью двигателя 90-205 кВт. В зависимости от размеров применяемых шин их ширина изменяется от 2,3 до 3,0 м. На данных машинах установлены гидроманипуляторы с грузовым моментом 43-252 кНм и радиусом действия до 11 м.

Во 2-ю группу входят харвестеры, имеющие среднюю массу 15,7-24,8 т и ширину машины 2,6-3,1 м. Двигатель у таких машин имеет мощность 132-240 кВт. Грузовой момент гидроманипуляторов 96-310 кНм и радиус их действия до 11 м.

В 3-ю группу входят самые крупные харвестеры с массой 21,7-24,8 т, шириной 2,7-3,2 м, мощностью 190-240 кВт. Их

¹ Азаренок, В.А. Сортиментная заготовка древесины: учебное пособие [Текст]/ В.А. Азаренок, Э.Ф. Герц, С.В. Залесов, А.В. Мехренцев. - Екатеринбург: Урал. гос.лесотехн.ун-т, 2015. - 140с.

гидроманипуляторы имеют грузовой момент 225-310 кНм и радиус действия до 11м.

Машины оснащены харвестерными головками с возможностью валки деревьев диаметром: для первой группы машин до 64см, 2-й и 3-ей до 80 см.

Колесная формула ходовой части рассматриваемых харвестеров выполнена в трех вариантах: 4х4(4WD), 6х6(6WD) и 8х8(8WD).

В работе «Технология и машины лесосечных работ» д.т.н. В.И. Пятякина предложено классифицировать колесные харвестеры следующим образом (табл. 2.2).¹

Таблица 2.2 – Классификация колесных харвестерных машин

Класс машин	Значение			Производитель и модель машины
	Масса, кг	Мощность, кВт	Макс. Диаметр спиливаемого дерева, см	
1. Лёгкий – для прореживания	До 13000	До 130	До 450	Ponsse Beaver; John Deere 770D; Rottne:H-8; Tigercat H-09; Sampo: 1046, 1066; Logman: 801, 81 1H; Valtra: F-Line; Lannen: 860 Forest; Prosilva: 810, 910 и др.
2. Средний для выборочных и сплошных рубок	13000 - 16000	110-150	до 600	Ponsse Ergo; John Deere 1070D; Caterpillar 550; Valmet: 901. 3, 91 1.1; Logset 6H;Silvatek 886TH; Rottne H14; ECO LOG: 550; Tigercat H-

¹ Пятякин, В.И. Технология и машины лесосечных работ [Текст] / В.И. Пятякин. - СПбГЛТУ, 2012. - 362 с.

				16; Cremo HPV; PIKA 956; HSM 208F-26,5", 904F-26,5" и др.
3. Тяжелый - для сплошных рубок	Свыше 16000	Свыше 150	до 800	John Deere: 1270D, 1470D; Caterpillar: 570, 580; Valmet: 91 1.3, 921. 1, 941; Logset 8H; Silvatek 896TH; Rottne H-20; ECO LOG:560B, 570B, 580B; TimberPro TB- 620E; Martimex LKT-120T-H и др.

Классификация колесно-харвестерных машин по массе, мощности двигателя и диаметру спиливаемого дерева приведена в таблице 2.2.

Наибольшее количество моделей по своим параметрам относится к 2-й группе (40,0%). Это универсальный класс средних колесно-харвестерных машин для выполнения выборочных и сплошных рубок со средним объемом ствола. Наиболее представительными в данной группе являются модели Ergo компании Ponsse, 901.3 компании Valmet, 1070D компании John Deere и H-14 компании Rottne. Большинство моделей в этом классе имеют повышенную устойчивость и маневренность. Они могут работать в насаждениях с различной сложностью рельефа. 1-ю группу составляют легкие компактные харвестерные машины (32,0%) для проведения практически всех видов рубок ухода. Яркими представителями этой группы являются модели H-8 компании Rottne и 770D компании John Deere. Имея небольшие размеры, данные машины обладают хорошей габаритной проходимостью и повышенной маневренностью в условиях густых насаждений.

3-ю группу представляют тяжёлые колесно-харвестерные машины.

Их доля составляет 28,0%. Основное предназначение данных машин является выполнение рубок главного пользования в крупных древостоях. Они также могут использоваться в средних древостоях, но эффект их применения будет значительно ниже. Наибольший эффект от машин этой группы достигается при крупномасштабных заготовках леса. В этой группе особо выделяются модели Н-20 компании Rottne, 1470D компании John Deere и ТВ-620Е компании TimberPro.

Большинство машин имеет колесную схему 6х6. Таких моделей колесно-харвестерных машин 61,0 %. Со схемой 4х4 их 26,0 % и 8х8 -13,0 %.

Диапазон мощностей таких машин данного типа составляет 85-205 кВт.

Однако основное количество машин (70,0 %) имеет двигатели мощностью 25-190 кВт. Масса всех колесно-харвестерных машин представлена широким интервалом от 7,0 до 23,5 т. В то же время масса основного количества машин расположена в диапазоне 14,0-21,0 т. Большая масса обеспечивает им надёжную устойчивость при валке. Номинальная мощность двигателей, устанавливаемых на колесно-харвестерных машинах, выше, чем на колесных трелевочных и форвардерных машинах, соответственно в 1,3-1,6 и 1,1-1,4 раза. Это объясняется повышенной энергоёмкостью операций, необходимостью одновременного их выполнения и обеспечения высокого качества обработки древесины. Обычно устанавливаются высокомоментные

двигатели, позволяющие одновременно выполнять обрезку сучьев и перемещать дерево.

Общая компоновка колесно-харвестерных машин определяется не только колесной схемой, но и, расположением относительно друг друга гидроманипулятора, кабины оператора и моторной установки на модулях машины. Характерным признаком для всех вариантов является установка гидроманипулятора по центру технологического модуля, что положительно влияет на устойчивость машины.

Харвестерные головки являются важным механизмом на начальной стадии лесозаготовительных работ. Они обеспечивают валку деревьев, обрезку сучьев и раскряжевку стволов на сортименты. Современные головки имеют высокую производительность и качество работы, технологическую и техническую надежность.¹

2.2 Колесно-форвардерные машины

В настоящее время большое распространение на выполнение сортиментных технологий получили колесные погрузочно-транспортные машины (форвардеры). Изготовителями форвардеров являются те же производители, которые выпускают харвестеры.

Большинство моделей колесно-форвардерных машин имеют двухмодульную компоновку. Энергетический и технологический модули шарнирно соединены между собой. На энергетическом модуле установлена моторная установка машины, а на технологическом - гидроманипулятор с грузовым

¹ Пятакин, В.И. Технология и машины лесосечных работ [Текст]/ В.И. Пятакин. - СПбГЛТУ, 2012. - 362 с.

отсеком. Форвардеры обычно работают совместно с харвестерами, но на практике они встречаются в работе с вальщиком.

Колесно-форвардерные машины предложено классифицировать следующим образом (табл. 2.4).

Таблица 2.4 – Классификация колесных форвардеров

Класс машин	Значение			Производитель и модель машины
	Масса, кг	Мощность, кВт	Грузоподъемность, кг	
1. Лёгкий – для прореживания	До 12000	До 125	До 12000	Ponsee: Cazelle; John Deere: 810D, 910, 1010D; Caterpillar: 554; Valmet: 820, 830.1, 840.2; Logset: 3F, 4F, 5F; Rottne: F9; HSM: 208F-22,5", 904F-22,5"; ECO LOG: 554B; Crema: 950R и др.
2. Средний – для выборочных и сплошных рубок	12000 - 16000	110 - 150	12000 - 15000	Ponsee: Garibou, Wisent, Bison; John Deere: 1110D, 1410D; Caterpillar: 574; Valmet: 860.1; Logset: 5F, 6F, 8F; Rottne: SMV RAPID, F125; ECO LOG: 564B; Tigercat: 1055; Crema: 1250 и др.
3. Тяжелый – для сплошных рубок	Свыше 16000	Свыше 150	Свыше 15000	Ponsee: Buffalo, Buffalo King; John Deere: 1710D; Valmet:

				90.2;Rottne:F14; Tigercat: 1065, 1075; ECO LOG: 574В и др.
--	--	--	--	---

На основании классификации, приведенной в таблице 2.4, наибольшее количество моделей колесно-форвардерных машин сосредоточено в группе средних машин (46,0%). Модели 2-й группы являются универсальными машинами. Они с успехом работают как на рубках ухода, так и на рубках главного пользования. Среди них следует выделить модели компаний John Deere 1110D и 1410D, Rottne Solid F12S и Solid F14, Valmet 860.1, Ponsse Wisent и Bison, Logset 6F.

Колесно-форвардерные машины данной группы имеют грузоподъемность от 12000 до 16000 кг. Их максимальные тяговые усилия достигают 130-180 кН.

Класс легких машин составляет 36,0%. В основном данные колесно-форвардерные машины предназначены для проведения всех видов рубок ухода. Они могут использоваться также на сплошных малообъемных рубках древостоев с небольшим объемом ствола. Наибольший интерес здесь представляют модели Cazelle компании Ponsse, 1010D компании John Deere, 830.1 компании Valmet и 554В компании ECO LOG. Грузоподъемность колесно-форвардерных машин этого класса составляет 9000-12000 кг, максимальное тяговое усилие - 120-150 кН.

В группе тяжелых машин, предназначенных для работы на сплошных рубках, сосредоточено 18% моделей колесно-форвардерных машин. Это дорогие машины с высокой грузоподъемностью, которые применяются на рубках главного пользования. При минимальном количестве рейсов они

выполняют в полном объеме производственную программу по вывозке древесины с лесосеки. Наибольшую эффективность применения имеют модели Buffalo King компании Ponsse, 1710D компании John Deere, 890.2 компании Valmet и TF820-E компании TimberPro. Диапазон изменения грузоподъемности машин данной группы составляет 16000-21000 кг. Они развивают максимальное тяговое усилие 180-230 кН.

Высота дорожного просвета у колесно-форвардерных машин составляет около 560-735 мм. Меньшие значения имеют легкие модели машин Solid F9-6 компании Rottne и 810D компании John Deere.

Максимальные значения этого параметра отмечаются у тяжелых машин Buffalo King компании Ponsse, 1710D компании John Deere, 890.2 компании Valmet и др. Диапазон изменения клиренса большинства машин составляет 600-680 мм.

Ширина стандартных шин у колесно-форвардерных машин с колесной схемой 6x6 равняется 600 или 700 мм, у машин с 8x8 - только 600 мм. Современные колесно-форвардерные машины имеют широкий диапазон давления на почво-грунт, который составляет 28,7...62,6 кПа. Наименьшие значения давления имеют легкие 8- колесные машины. Это Solid F9-6 компании Rottne и 830.1 компании Valmet. Наибольшее давление на почво-грунт оказывают модели TF820-E компании TimberPro и 1014 компании Tigercat. При полной загрузке грузового отсека давление у всех машин возрастает в 1,8-2,2 раза. Благоприятно сказывается на снижении давления использование шин более широких размеров. В качестве альтернативы предлагаются шины шириной 700 или 750 мм.

На большинстве машин с колесной схемой 6x6 применяются разные размеры передних и задних колес.

Увеличенный диаметр передних колес снижает их бульдозерное действие, уменьшает сопротивление качению, уменьшает уплотнение почвы, способствует преодолению больших по величине пороговых препятствий. Передние колеса, взаимодействуя с почвой, уплотняют ее, облегчая этим движение последующих за ними колес.

При многократных проходах колесно-форвардерных машин по одному следу решающее значение на глубину колеи оказывает максимальная нагрузка на колесо. Перегрузка задних колес при движении с возом неизбежно вызывает увеличение глубины колеи. Максимальное число проходов будет обеспечиваться, если нагрузка будет равномерно распределена по осям. Это условие в лучшей мере соблюдается при работе 8-колесной машины. По данным компании John Deere, распределение нагрузки между передней и задней тележками форвардера 810D при полной его загрузке составляет соответственно 41 и 59%.

Для повышения проходимости 8-колесных форвардеров на переувлажненных почвах компания Ponsse установила третью пару колес за тележкой технологического модуля с применением гусениц на обоих модулях. Создание колесно-форвардерных машин с колесной схемой 10x8 позволило снизить давление на почву и тем самым повысить его грузоподъемность. В результате уменьшается количество рейсов, повышается производительность, снижается расход топлива.

Учитывая главное целевое назначение колесно-форвардерных машин – доставку древесины к пункту

назначения, к конструкции грузового отсека предъявляются следующие особые требования:

- соответствие вместимости отсека грузоподъемности машины;

- исключение негативных воздействий габаритных размеров отсека на лесную среду и соответствие их нормам движения по автостраде;

- создание грузового пространства, обеспечивающего возможность формирования воза из сортиментов различной длины, равномерного распределения его массы по колесам, сохранения его формы при транспортировке и способствующего устойчивому движению машины;

- обеспечение удобства выполнения погрузочно-разгрузочных работ, сортировки и качества укладки;

- по своей конструкции отсек должен быть легким, прочным и эргономичным при технологическом и техническом обслуживании.¹

Несмотря на комплекс противоречивых требований, практически на всех моделях машин были найдены компромиссные решения, удовлетворяющие эти требования. Основным показателем, характеризующим грузовое пространство отсека, является его поперечное сечение. У современных колесно-форвардерных машин оно изменяется от 2,9 до 6,0 м².

Продолжительность выполнения погрузочно-разгрузочных работ при совершении колесно-форвардерными машинами технологического цикла достигает 70% затрат времени. С целью минимизации этих затрат разработчики машин

¹ Григорьев, И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования [Текст] / И.В. Григорьев. - СПб.: ЛТА, 2012. - 236 с.

постоянно уделяют большое внимание совершенствованию погрузочных устройств. Производители колесно-форвардерных машин устанавливают на свои машины манипуляторы собственного производства, а также специализированных компаний Loglift, Cranab, Foresteri и др. Изменения длины вылета стрелы существующих манипуляторов составляет 6,1-10,3 м. Оба крайних значения принадлежат кранам компании Foresteri. Манипуляторы имеют телескопические удлинители стрелы. Диапазон их удлинения изменяется в пределах 1,2-4,8 м.

Максимальный подъемный момент составляет 37-145 кН. Минимальное значение имеют манипуляторы компании Foresteri, наибольшее – компании Ponsse. Все манипуляторы поворачиваются на полный оборот и более.

Колесно-форвардерные машины последних поколений компаний TimberPro, Tigercat и John Deere имеют поворотную и выравниваемую кабину. Кабина автоматически следует за движением захвата стрелы, создавая 360-градусный обзор местности вокруг машины. Механизм выравнивания быстро и плавно реагирует на изменение рельефа местности.

Все это значительно повышает комфорт и эргономику боты оператора, что положительно отражается на эффективности использования машины.

В работе «Сортиментная заготовка древесины: учебное пособие»¹ авторов В.А. Азаренко, Э.Ф. Герца, С.В.Залесова, А.В. Мехренцева предложено классифицировать форвардеры следующим образом: по грузоподъемности. По данному показателю машины подразделяются на три группы. Первую

¹ Азаренко, В.А. Сортиментная заготовка древесины: учебное пособие [Текст]/ В.А. Азаренко, Э.Ф. Герц, С.В. Залесов, А.В. Мехренцев. - Екатеринбург: Урал. гос.лесотехн.ун-т, 2015. - 140с.

группу представляют форвардеры грузоподъемностью 5-10 т, вторую-с10 до14 т, третью свыше 14т.

Масса форвардеров каждой из групп изменяется в следующем диапазоне: 1-я группа 12800-14000 кг, 2-я группа 14700-19800 кг, 3-я группа16500-23800 кг.

Таблица 2.5 – Группировка форвардеров по грузоподъемности

№ группы	Грузоподъемность, т	Модели форвардеров
1	До 10	Ponsse (Gazelle) Амкодор(2631, 2641)
2	От 10 до 14	John Deere (1010E, 1110E, 1210E) Komatsu (835,855.1) Ponsse (Wisent, Elk, Buffalo) Амкодор (2661-01, 2662, 2662-01)
3	Свыше 14	John Deere (1510E, 1910) Komatsu (865, 895) Ponsse (BuffaloKing, Elephant, ElephantKing) Амкодор (2682-01)

Коэффициент использования тары представляет собой отношение грузоподъемности машины к ее массе, то потенциал эффективности использования форвардеров по данному показателю повышается с ростом их массы: в 1-й группе коэффициент составляет 0,55-0,71, 2-й 0,67-0,88, 3-й 0,73-1,00.

Мощность двигателей варьируется согласно энергетическому потенциалу: 1-я группа от 90 до 129 кВт, 2-я группа от 114 до 205 кВт и 3-я группа от 132 до 205 кВт.

Хорошие ходовые качества форвардеров и в сложных условиях бездорожья, и на дорогах с различным покрытием поддерживает комплексная система управления, микропроцессор контролирует и управляет гидронасосом и двигателем.

Точное и полное автоматическое регулирование позволяет получить максимальное тяговое усилие даже на низких

оборотах двигателя, а также создать благоприятные ездовые качества машины.

2.3 Лесные комбайны для сортиментной заготовки древесины

На сегодняшний день в мировой лесозаготовительной практике применяются различные способы и технологии заготовки древесины, которые различаются по разным классификационным признакам. К примеру, многообразие технологий делится по четырем типам: сортиментная, хлыстовая, целыми деревьями и щепой.

Существующая традиционная технология заготовки древесины с помощью однооперационных машин предполагает многократное манипулирование сначала спиленными деревьями, а затем хлыстами. Деревья срезает валочно-пакетирующая машина и укладывает на грунт разрабатываемой лесосеки мелкими пачками объемом 2-2,5 м³. Бесчокерная трелевочная машина, например манипуляторного типа с зажимным коником, подбирает их, трелюет воз деревьев объемом 8-10 м³ в полупогруженном положении и сбрасывает его в формируемый штабель на погрузочном пункте для последующей обработки.¹

На одну перекладку меньше делает валочно-трелевочная машина, укладывающая комли спиленных деревьев в свой зажимной коник для трелевки на погрузочный пункт. Затем деревья поштучно обрабатывает сучкорезная машина, срезает

¹ Азаренок В.А. Рекомендации по сортиментной заготовке древесины многооперационными машинами на территории Свердловской области [Текст]/ В.А. Азаренок, С.В. Залесов, Э.Ф. Герц, Г.А. Годовалов, и др. - Екатеринбург: Урал.гос.лесотехн.ун-т, 2010. - 67с.

с них сучья и уже хлыстами сбрасывает на землю. Лесопогрузчик вновь поднимает хлысты и укладывает их на специализированный транспорт для доставки на нижний склад, где хлысты вновь разгружают и падают на раскряжовочно-сортировочную линию, в карманы-накопители которой складывают лесоматериалы необходимой длины в виде сортиментов.

Все эти многочисленные погрузочно-разгрузочные операции и перемещения связаны с большими трудозатратами и оказывают вредное техногенное воздействие на внешнюю среду. При этом технологическом процессе заготовки древесины задействуются 3-4 лесозаготовительные машины, лесовозный автомобильный транспорт и рабочее оборудование нижнего склада.

Разработчики новой лесозаготовительной техники постоянно совершенствуют систему лесозаготовительных машин. Как показал опыт, на значительной части Российской Федерации в настоящее время наиболее эффективной является новая технология заготовки древесины системой машин харвестер-форвардер с ввозкой заготавливаемых сортиментов лесовозными автопоездами, оснащенными гидроманипуляторами для самозагрузки (разгрузки). Харвестер выполняет за один технологический подход валку деревьев, обрезку сучьев и раскряжевку, оставляя на лесосеке сортименты заготовленной древесины необходимой длины, как правило 4 и 6 м. Форвардер подбирает эти сортименты с грунта разрабатываемой лесосеки, формируя на грузовой платформе пакет объемом 8-12 м³, транспортирует его в погруженном положении на лесопогрузочный пункт и укладывает в штабели лесоматериалов. Затем сортименты автотранспортом

доставляются потребителю или перегружаются на другие виды транспорта для доставки к месту последующей переработки. В этом случае при заготовке лесоматериалов задействуются 2 лесозаготовительные машины и лесовозный автопоезд.

Однако весь цикл лесосечных работ можно выполнить с помощью одной единицы техники – харвардера (форвестера). Конструкция харвардера включает в себя комбинированный валочно-сучкорезно-раскряжевочно-погрузочный и грузовой (в виде транспортной платформы) модули. Он выполняет весь комплекс лесозаготовительных работ: валку, очистку деревьев от сучьев, раскряжевку хлыстов обрабатываемых деревьев, погрузку и транспортирование на погрузочный пункт верхнего склада, т.е. объединяет в себе функции харвестера и форвардера.

Область применения этого специализированного средства: малые предприятия с небольшим объемом заготовок древесины; участок где использование двух различных типов машин нецелесообразно, так как приводит к его загромождению и увеличению расходов на перебазирование, при работе на разрозненных участках лесосырьевого фонда предприятия; на выборочных и санитарных рубках ухода, а также при заготовке древесины в условиях разрабатываемых лесосек с малым и средним объемом хлыста, где затраты на выполнение работ достаточно велики по сравнению с объемом заготовленной в таких условиях древесины.

Производительность этих машин при двухсменном режиме работы составляет около 4500м³ в месяц в зависимости от вида рубок заготавливаемой древесины. Харвардер позволяет заменить комплекс лесозаготовительных машин, сократить

затраты на 40-50% по сравнению с приобретением харвестера и форвардера и снизить эксплуатационные расходы в 2 раза.

Первый вариант харвардера – это результат совместной разработки фирм австрийской Wolf и финской Sakari Pinomaki. Харвардеры Yuniog и Senior снабжены комбинированными харвестерными головками (агрегатами) Pika-400 и Pika -500, имеющими захватные рычаги рамной конструкции для выполнения погрузочно-разгрузочных работ. В настоящее время такие головки выпускает финская фирма AFM-Forest Ltd.

Интересна конструкция грузового модуля харвардера Valmet 801 Combi(произв. Финляндия). Грузовая платформа установлена на задней полупраме машины с возможностью поворота в горизонтальной плоскости и наклона в вертикальной для загрузки ее в процессе раскряжевки обрабатываемых деревьев, что сокращает время технологического цикла производства работ.

В 2017г. производство харвардера предлагают две фирмы – TimberPro (США), Ponsse Bufalo Dual (+Wisent Dual) (Финляндия). Автор статьи «Лесной комбайн для заготовки сортиментов» профессор Д.В. Кондратюк предложил табличную версию технических характеристик харвардеров в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Технические характеристики харвардеров

Параметры	TimberPro 830	Ponsse Bufalo Dual	Ponsse Wisent Dual
Колесная формула	8x8	8x8	6x6/8x8
Мощность двигателя, кВт	224	205	129
Скорость движения, км/ч	0-19,3	0-9/0-28	0-9/0-28
Вместимость топливного бака, л	382	150-400	130-400

Поперечное сечение грузовой платформы, м ² (на заказ)	4,76-5,61	4,5-5,1	4,3-4,5
Длина платформы, м (на заказ)	5,147-6,315	4,04-4,59 + удлинитель 0-0,7 м	4,04 + удлинитель 0-0,7 м
Манипулятор:		K90 Dual	K90 Dual
вылет, м	9,75	7,8(10)	7,8(10)
грузоподъемность, кг	2053	-	-
грузовой момент, кН*м	200	124	124
площадь захвата, м ²	0,36	0,28	0,28
Харвестерная головка	Kesla RH30	Ponsse H53	Ponsse H53
Грузоподъемность, т	18	14	12
Масса, кг в варианте харвестера/форвардера	23550	15700/16400	13400/14800//13600/15000

Конструкция харвардера состоит из шарнирно сочлененного восьмиколесного шасси, на одной части которого установлены энергетическая установка. Кабина машиниста и манипулятор с харвестерным агрегатом, а на другой - грузовая платформа со стойками для транспортирования круглого лесоматериала. Машины эффективно работают сначала в режиме харвестера с предварительной укладкой сортиментов на грунт разрабатываемой лесосеки, затем форвардера. Для этого они оснащены сменным оборудованием: харвестерной головкой для работы в режиме харвестера, грейферным захватом для работы в режиме форвардера или захватно-раскряжевочным грейфером Ponsse EH25 с системой контроля веса для заготовки дровяных лесоматериалов. Время рабочего оборудования составляет около 10 мин. При переоборудовании

машины в харвестер снимается удлинитель платформы и коники со стойками.

Аналогично предыдущей таблице, профессором Д.В. Кондратюк [«Лесной комбайн для заготовки сортиментов»]¹ составлена таблица 2.7, в которой представлены основные параметры харвестерных головок харвардеров производства фирм TimberPro и Ponsse.

Таблица 2.7 – Техническая характеристика харвестерных головок

Параметры	Kesla RH30	Ponsse Hs3	LogMax 5000c	AFM 50 combi
Диаметр (max), мм:				
пропила	750	640	550	560
обработки	480	520	430	430
Подача:				
тяговое усилие, кН	30	18	20,5	18-22
скорость обработки, м/с	0-4	0-5	0-5	0-5,5
тяговые вальцы, шт	2	3	2	3
Раскрытие сучкорезных ножей (захватов), мм	720	500	515	750
Масса, кг	1320	870	908	825

Анализируя классификации харвестера/форвардера профессора В.И. Пятякина и таблицу с техническими характеристиками нескольких харвардеров представленную профессором Д.В. Кондратюком, предлагаю на основании типовых таблиц классифицировать харвардеры по некоторым значениям, представленным в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Классификация харвардеров (форвестеров)

¹ Кондратюк, Д.В. Лесной комбайн для заготовки сортиментов [Текст] / Д.В. Кондратюк. - М.: МГУЛ, 2013. - 60 с.

Класс	Значение			Производитель и модель
	Масса, кг	Мощность, кВт	Максимальный диаметр спиливаемого дерева, см	
Малый	До 13500	До 150	До 400	PONSSE Wisent Dual (Финляндия), Vimek 610.2 Bioscombi (Швеция), ENTRACO N EF 45/EC60 (Чехия), Pikka 828 Pinox (Германия)
Средний	13500 - 16500	125 - 210	До 600	PONSSE Bufalo Dual (Финляндия), Logman811 С (Финляндия), Logman LC 8 (Финляндия), Valmet 801 Combi (Финляндия)
Тяжелый	Свыше 16500	Свыше 210	До 800	TimberPro TH 830/840(США)

В Федеральном государственном унитарном предприятии «Государственный научный центр лесопромышленного комплекса» разработаны три варианта конструкций гусеничного харвардера для загрузки сортиментов в грузовую платформу в процессе раскряжевки, способствующих сокращению времени цикла производства работ и повышению их производительности.

Первый вариант (рис. 2.1) – конструкция машины с передним (перед кабиной) расположением гидроманипулятора, оснащенного комбинированной харвестерной головкой AFM Combi (рис. 2.2), что позволяет эффективно проводить лесосечные работы без смены рабочего оборудования.

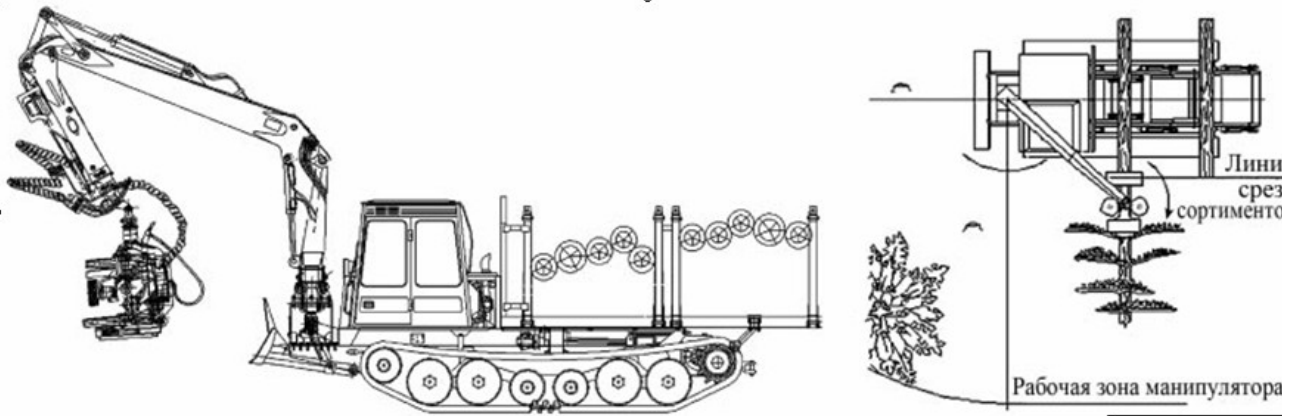


Рисунок 2.1 – Заготовка сортирентов длиной до 4мгсеничным харвардером конструкции ФГУП «ГНЦ ЛПК»



Рисунок 2.2 – Харвестерная головка AFM 50 Combi

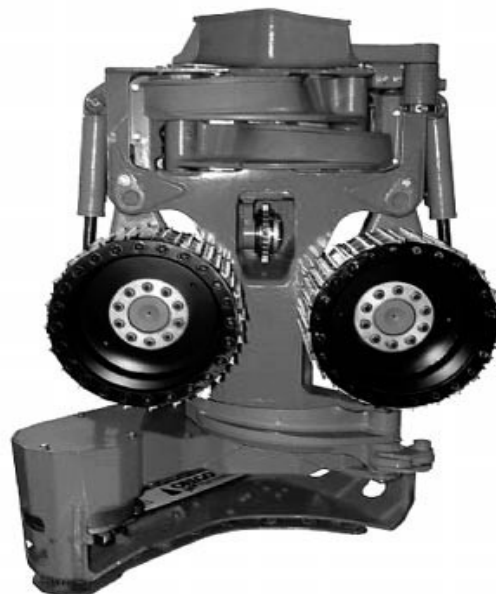


Рисунок 2.3 – Харвестерная головка LogMax 5000С

На раме машины за кабиной размещена грузовая платформа (рис. 2.4) со сдвинутыми средними стойками, образующими два кармана-накопителя для поперечного расположения сортиментов. При этом возможна подсортировка сортиментов по породам (хвойные и лиственные). Разгрузка платформы осуществляется гидроманипулятором.

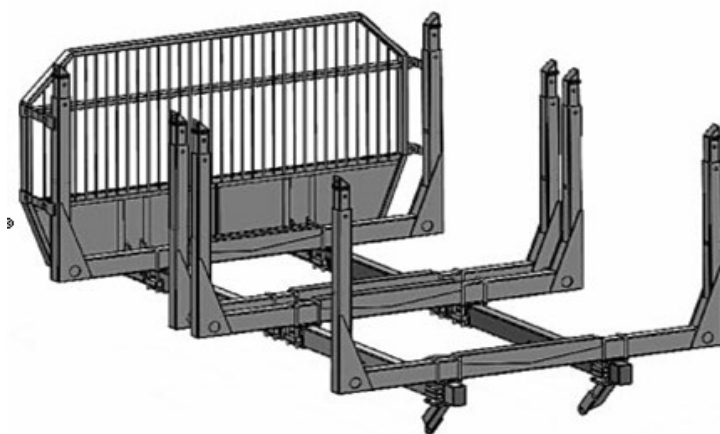


Рисунок 2.4 – Грузовая платформа гусеничного харвестера конструкции ФГУП «ГНЦ ЛПК»

Второй вариант (рис. 2.5) – конструкция, аналогичная конструкции первого; различие в том, что средние и задние стойки грузовой платформы выполнены с возможностью поворота в продольно-вертикальной плоскости для разгрузки сортиментов самосвальным способом, а в качестве рабочего оборудования используется харвестерная головка с более высокими техническими параметрами и показателями, что позволяет эффективнее выполнять лесосечные работы без смены рабочего оборудования.

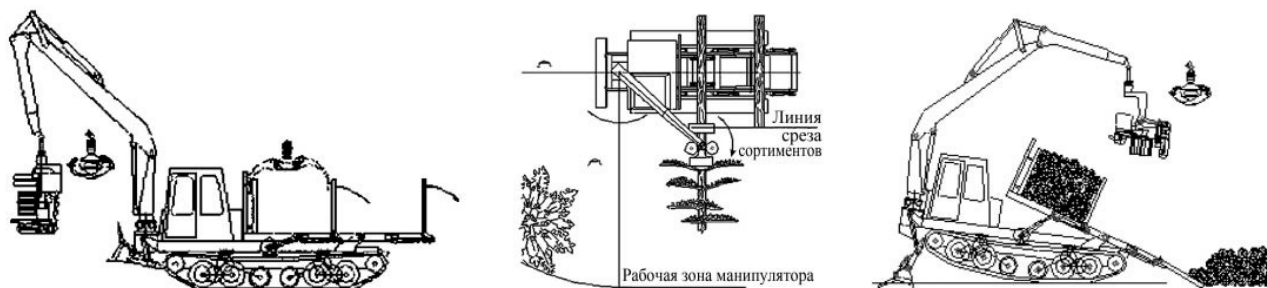


Рисунок 2.5 – Заготовка сортиментной древесины длиной до 4м с разгрузкой самосвальным способом гусеничным харвардером конструкции ФГУП «ГНЦ ЛПК»

Третий вариант (рис. 2.6) – конструкция, в которой грузовая платформа для транспортирования сортиментов длиной 6м в продольном положении установлена на шасси машины с возможностью поворота в горизонтальной плоскости, обеспечивающего загрузку в процессе раскряжевки поперечный сброс сортиментов при штабелевании на лесопогрузочном пункте верхнего склада. При этом боковые стойки, по крайней мере, с одной стороны выполнены поворотными в поперечно-вертикальной плоскости, образуя аппарели.

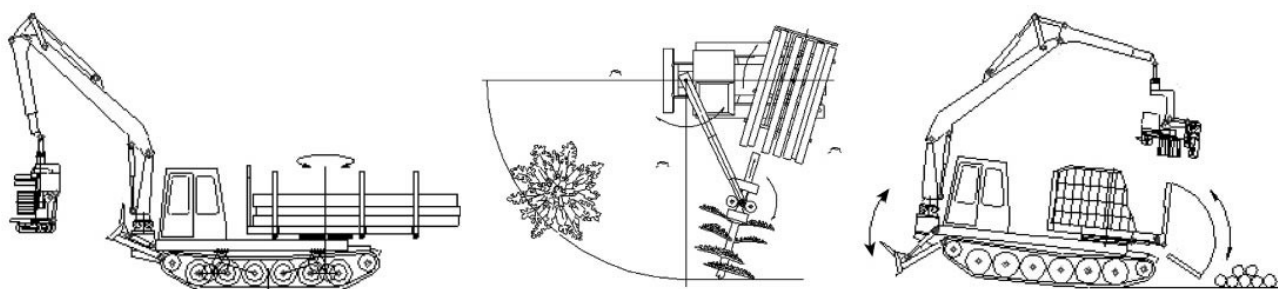


Рисунок 2.6 – Заготовка сортиментов длиной 6м гусеничным харвардером конструкции ФГУП «ГНЦ ЛПК»

Реализация таких технических решений предполагается ООО «Рубцовским агрегатным заводом» на базе гусеничного шасси типа ТТ-4м с установкой более мощного, экономичного и менее материалоемкого дизельного двигателя, автоматической электромеханической трансмиссии и системы управления ею. Это позволит обеспечить:

- повышение в 1,5-1,8 раза годового полезного экономического эффекта от производства эксплуатации машин;

- увеличение на 20% КПД привода трансмиссии и на 10-15% рабочих скоростей движения машины, снижение на 15-20% удельного расхода топлива;

- автоматическое регулирование скорости движения технического средства в зависимости от текущей нагрузки;

- исключение стартера для запуска дизеля генератора для питания бортовой машины и возможность использования электроприводов агрегатов исполнительных механизмов с активным приводом вместо механических или гидравлических устройств;

- снижение на 15-20% эксплуатационных расходов в результате повышения комплексных показателей надежности трансмиссии и электроприводов, уменьшения расходов на запчасти и смазочные материалы;

- улучшение условия труда машиниста;

- снижение в 3-5 раз уровня выбросов веществ (СО, СО₂, NO, HC) в отработавших газах;

- повышение гарантированного ресурса до 10 тыс.ч по мотосчетчику;

- электропитание внешних потребителей при работе в режиме передвижной электростанции.¹

В 2013 году шведский инженер-инноватор Кристен Леннартссон представил миру по его мнению идеальный харвардер.

«Это первый Харвардер для рубок главного пользования. Новая модель харвардера (лесозаготовительной машины, сочетающей функции харвестера и форвардера) обладает

¹ Азаренок, В.А. Рекомендации по сортиментной заготовке древесины многооперационными машинами на территории Свердловской области [Текст]/ В.А. Азаренок, С.В. Залесов, Э.Ф. Герц, Г.А. Годовалов, и др. -Екатеринбург: Урал.гос.лесотехн.ун-т, 2016. - 67с.

десятью колесами и имеет название «The Beauty» и имеет ряд новых решений. Что касается замены рабочего инструмента, решение было перемещено на погрузочную площадку.

Харвардер оснащен уникальной системой распределения нагрузки, которая снижает давление колес на грунт и исключает возможность поломки машины. Разработанное Леннартссоном и его коллегой Андреасом Андерссоном решение представляет собой машину с десятью колесами вместо обычных шести или восьми. Харвардер обладает задней и передними парами колес, сделанными из монолитной резины. Эти специализированные колеса оказывают ключевое влияние на производительность новой машины.

На колесах имеются поперечные канавки, которые по форме точно соответствуют надеваемым поверх стальным гусеницам, что обеспечивает большую мощность и безопасность. Сами гусеницы призваны распределить нагрузку по большей площади, тем самым уменьшая давление на почву и увеличивая проходимость машины. В четырех ступицах из десяти есть моторы, поэтому скоростью колес задней и передней оси можно индивидуально управлять. «У каждого колеса – индивидуальная подвеска: отдельные механизмы выравнивания и маятниковые рычаги.

Колеса могут преодолевать препятствия до 90 см. высотой без какого-либо наклона всей машины», сообщает Леннартссон. В условиях леса использование монолитной резины имеет особые преимущества. «Вы избегаете проколов, которые могут стать серьезной проблемой в лесу. Колеса, при этом, имеют некоторую упругость – они не передают так вибрацию и колебания, как жесткие.

В лесу машина работает как харвестер. Харвестерная головка используется для валки леса и обрезки сучьев. Раскряжевка осуществляется в месте погрузки. На погрузочной площадке харвестерная головка заменяется грейферным захватом. Замена производится с помощью недавно разработанной системы. «Оператор делает это за десять секунд из кабины – система замены харвестерной головки на грейферный захват прекрасно работает каждый раз» говорит Леннартссон. Машина эксплуатировалась в течение почти трех лет и работает на полную мощность с сентября 2012 года.

Машина показала практически 100-процентную готовность к работе. За время эксплуатации была только одна неисправность – разрыв шланга охлаждения. Согласно расчетам, «Красавица» способна экономить время работ на 25% и топливо до 10%. Другие нововведения: недавно разработанный манипулятор, способный поднимать до двух тонн груза с пределом досягаемости до десяти метров; гидравлическая передача с двигателем в каждой из десяти ступиц колес. Харвардер «The Beauty» имеет десять колес с индивидуальной самовыравнивающей подвеской, что позволяет работать в сложных условиях и значительно снизить нагрузку на грунт. Скорости вращения колес может быть разной и управляется индивидуально в зависимости от условий работы, что позволяет предотвратить повреждение почвенного покрова.¹

С ноября 2014 года пробную версию харвардера выпустила фирма Komatsu модель X19 на базе Valmet 801 Combi. В отличие от прежней машины, производство которых было

¹ Азаренок, В.А. Сортиментная заготовка древесины: учебное пособие [Текст] / В.А. Азаренок, Э.Ф. Герц, С.В. Залесов, А.В. Мехренцев. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. - 140с.

прекращено в 2007 году. Х19 имеет грузоподъемность 19 т., а 801 Combi, имел полезную нагрузку 13т. Х19 оптимизирован для работы при сплошных рубках. База харвардера является крупнейшим форвардером Komatsu 895. Харвардер имеет вращающийся и блок кабины крана и аналогичным образом с возможностью вращения и прицепа, для того чтобы, грузились сразу в прицеп, не кладя сортименты на почву. В то время как он имеет максимальный диаметр вырубкой не более 50 см, опыт в Германии показал, что его применение оптимальным является при диаметрах от 15 до 18 см.

Как и следовало ожидать, харвардер – испытательная машина, Андерса Лидена, тратит много времени – и на захват, так как захватывает слишком маленькие порции. Он выступает, чтобы изменить для сбора урожая или погрузочно-разгрузочных работ с помощью быстрой связи между захватом и головки харвестера. Эта концепция работает на его комбинированных машинах Ponsse Dual также швед Кристер Lennartsson на его харвардере «Beauty».

3 НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

3.1 Расчет производительности удельных затрат при лесозаготовке древесины многооперационными машинами

В течение последнего времени у лесозаготовителей с малыми объемами заготовок все больше и больше растет интерес к комбинированным лесозаготовительным машинам. Ведь такие типы машин совмещают в себе выполнение всего комплекса лесосечных работ от валки до трелевки сортиментов. Также харвардер позволяет минимизировать воздействие лесозаготовительных машин на почву за счет сокращения количества необходимых проходов машины по технологическому коридору.

Такое решение объединить в одной машине функции и харвестера и форвардера позволяет обеспечить быстроту и эффективность процессов пиления, погрузки трелевки лесоматериала.

При анализе оценки экономической эффективности того или иного технологического процесса лесозаготовок явным и важным показателем является производительность применяемых машин.¹

Под производительностью механизма машины поточной линии понимают количество работы, выполненной в единицу времени (час, смену, сутки и т.п.). На лесозаготовках количество работы оценивается в кубических метрах. Таким образом, часовая производительность оценивается в м³/ч. Но лесосечные работы являются довольно энергоёмким и трудоёмким процессом. Поэтому помимо расчёта часовой производительности используемых машин необходимо выявление технологий заготовки древесины, позволяющих получить продукцию при минимальных затратах энергии и минимальных трудозатратах, что является важной актуальной задачей.

Рассмотрим расчёт часовой производительности, удельных энерго- и трудозатрат таких многооперационных машин для лесосечных работ при сортиментной заготовке, как харвестеры и харвардеры.²

Сортиментная заготовка леса является экологически благоприятной и экономически выгодной, поэтому разработка методов энергетической оценки технологий рационального лесопользования очень востребована в настоящее время. Харвестеры, или валочно-сучкорезно-раскряжёвочные машины, получили в настоящее время довольно широкое распространение при проведении лесосечных работ.

¹ Ширнин, Ю.А. Разработка параметров оборудования и технологии экстремальных условий лесозаготовок [Текст] / Ю.А. Ширнин. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 232 с.

² Коломинова, М.В. Определение удельных энерго- и трудозатрат при работе харвестеров и форвардеров [Текст] / М.В. Коломинова // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник - 2013. - № 1(93). – С. 63-67.

Харвестеры работают обязательно в комплексе с трелёвочными машинами для сортиментов – форвардерами.

Харвардеры, или валочно-сучкорезно-раскряжёвочно-трелёвочные машины, пока не получили большого распространения на лесозаготовках в связи со значительной массой при наборе полновесной пачки и соответствующими большими сопротивлениями перемещению. Но эффективность использования машины, позволяющей выполнять все рабочие и транспортные операции лесосечных работ, очевидна.

Для правильной оценки технологического процесса необходимы показатели, по значению которых можно судить о ходе технологического процесса и дать его качественную оценку. К таким показателям относятся производительность машин, энергоёмкость процесса, себестоимость продукции, приведенные затрат.¹

Расчётная часовая производительность харвестеров и харвардеров, м³ в общем виде рассчитывается как:

$$P_{\text{расч}} = (3600 * V_i) / t_{\text{ц}}, \quad (3.1)$$

где 3600 – переводной коэффициент;

V_i – объём работы, выполненной за один цикл, м³;

$t_{\text{ц}}$ – время цикла, с.

Часовая производительность харвестеров (ВСРМ), м³/час, рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{ВСРМ}} = (3600 * V_x * \varphi_i) / T_{\text{цВСРМ}}, \quad (3.2)$$

где V_x – средний объём спиливаемого дерева (хлыста), м³;

¹ Дербин В.М. Совершенствование сортиментной заготовки [Текст] /В.М. Дербин, М.В. Дербин. – М.: Мир, 2014. – 130 с.

φ_i – коэффициент использования рабочего времени;

$T_{\text{цВСРМ}}$ – время цикла валки одного дерева, очистки ствола от сучьев и раскряжёвки хлыста на сортименты харвестером, с.

Время цикла валки одного дерева, очистки ствола от сучьев и раскряжёвки хлыста на сортименты харвестером, с., определяется по формуле:

$$T_{\text{цВСРМ}} = t_d + t_{\text{пр}} + t_c + t_{\text{переез}} = t_d + (I_x/v_{\text{пр}}) + ((\pi * d_{\text{ср}}^2 * (n_{\text{пр}} + 1)) / (4 * \Pi_{\text{чист.пил.}} * k_1) + (10^4 * V_x * k_2) / (\Delta * v_m * q)), \quad (3.3)$$

где t_d – время доставки манипулятором валочно-сучкорезно-раскряжёвочной головки (ВСРГ) к дереву и подтаскивание его к месту обработки, с;

$t_{\text{пр}}$ – время протаскивания дерева через сучкорезные ножи, с;

t_c – время на спиливание и раскряжёвку хлыста на сортименты, с;

$t_{\text{переез}}$ – время переездов в расчёте на одно дерево, с;

I_x – средняя длина спиливаемого дерева (хлыста), м;

$v_{\text{пр}}$ – скорость протаскивания при обрезке сучьев, м/с;

$\pi = 3,14$;

$d_{\text{ср}}$ – средний диаметр спиливаемого дерева (хлыста), м;

$n_{\text{пр}} + 1$ – число пропилов при раскряжёвке, включая спиливание;

$\Pi_{\text{чист.пил.}}$ – производительность чистого пиления цепной пилой ВСРГ, м²/с;

k_1 – коэффициент использования производительности чистого пиления;

Δ – ширина ленты, разрабатываемой ВСРМ, м;

v_m – средняя скорость движения машины по лесосеке, м/с;

q – средний запас на 1 га, м³/га;

k_2 – коэффициент, учитывающий время на повороты машины на границах деланки.

Часовая производительность харвардера, м³/час, рассчитывается как:

$$\begin{aligned} P_{\text{харвардера}} &= ((3600 * M_{\text{п}}) / (t_{\text{д}} + t_{\text{пр.}} + t_{\text{переез}} * k_{\text{п}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{сб.шт}}) = \\ &= (3600 * M_{\text{п}}) / ((t_{\text{д}} + (I_{\text{х}} / v_{\text{пр}}) + ((\pi * d_{\text{ср}}^2 * (n_{\text{пр}} + 1)) / (4 * \Pi_{\text{чист.пил}} * k_1) + \\ &+ ((10^4 * V_{\text{х}} * k_2) / (\Delta * v * q)) + ((2I_{\text{ср}} * k_3) / v_m) + ((2t_{\text{захв}} * M_{\text{п}}) / V_{\text{п.с}})) \quad (3.4) \end{aligned}$$

где $M_{\text{п}}$ – объём трелюемой пачки сортиментов, м³;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент использования производительности чистого пиления, м;

10^4 – переводной коэффициент;

$V_{\text{х}}$ – средний объём дерева (хлыста), м³;

$t_{\text{дв}}$ – время на передвижения харвардера за один рейс, с;

$t_{\text{сб.шт.}}$ – время на сбор и штабелёвку сортиментов за один рейс харвардера, с;

$I_{\text{ср}}$ – среднее расстояние трелёвки, м;

v_m – средняя скорость движения машины, м/с;

k_3 – коэффициент, учитывающий время манёвров харвардера на лесосеке и погрузочном пункте, с;

$t_{\text{захв}}$ – время одного цикла захвата пачки сортиментов, переноса их и укладки в штабель, с;

$V_{\text{п.с.}}$ – объём пачки сортиментов, захватываемых за один приём, м³.

Удельные энергозатраты при работе харвестера, кВт·час/м³, определяются по формуле:

$$g_{\text{всрм}} = g_{\text{ср}} + g_{\text{сп}} + g_{\text{оч}} + g_{\text{р}} + g_{\text{м}} + g_{\text{р.о}} \quad (3.5)$$

где обозначены удельные энергоёмкости следующих операций:

$g_{\text{ср}}$ – срезания деревьев;

$g_{\text{сп}}$ – снятия деревьев с пней;

$g_{\text{оч}}$ – очистки деревьев от сучьев;

$g_{\text{р}}$ – раскряжёвки хлыстов;

$g_{\text{м}}$ – движений машины в процессе работы;

$g_{\text{р.о}}$ – движений рабочих органов харвестера.¹

В общем виде формулу можно записать как:

$$g_{\text{всрм}} = ((C \cdot \pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot b \cdot K) / (4 \cdot V_x)) \cdot ((v_i / \eta_i) + ((C_2 \cdot u_{\text{п}} \cdot v_i) / (v_{\text{р}} \cdot \eta_i))) + ((C \cdot M \cdot \omega \cdot v_{\text{р.о}}) / (V_x \cdot \eta_{\text{р.о}})) + ((C \cdot v_i) / V_x) \cdot [K_{\text{р}} \cdot S + ((I_x \cdot (Q_x \cdot k' + G_{\text{пр}}) \cdot \mu_{\text{н}} + l_x \cdot (1 - k) \cdot Q_x \cdot \mu_x) / \eta_i)] + ((C \cdot \pi \cdot d_{\text{ср}}^2 \cdot b \cdot K \cdot n) / (4 \cdot V_x)) \cdot ((v_i / \eta_i) + ((C_2 \cdot u_{\text{п}} \cdot v_i) / (v_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{п}}))) + ((10^4 \cdot C \cdot G_{\text{м}} \cdot \psi_{\text{м}} \cdot v_{\text{м}} \cdot (1 + m_1)) / (q \cdot \Delta \cdot \eta_{\text{м}})) + ((C \cdot A_{\text{д}} \cdot v_{\text{р.о}}) / (V_x \cdot \eta_{\text{р.о}})) \quad (3.6)$$

где $C = 1/3600$ – переводной коэффициент;

b – ширина пропила, м;

K – удельная работа резания при спиливании деревьев или раскряжёвке хлыстов, кДж/м³;

v_i – коэффициент, учитывающий непроизводительные действия рабочих органов и самой машины;

η_i – к.п.д. рабочих органов и самой машины;

C_2 – отношение усилия резания к усилию подачи;

$u_{\text{п}}$ – скорость подачи режущего механизма, м/с;

$v_{\text{р}}$ – скорость резания, м/с;

M – момент силы столкновения дерева с пня, кН·м;

¹ Герасимов, Ю.Ю. Расчет эксплуатационных затрат лесосечных машин [Текст] / Ю.Ю.Герасимов, Е.Н.Сибиряков, С.Л. Мошков, С. Карвинен. – Финляндия: Научно-исследовательский институт леса Финляндии Йозэнсу, 2009. – 130 с.

ω – угол сопровождения дерева валочным рычагом при столкновении дерева с пня, рад;

K_p – удельная работа резания при срезании сучьев, кДж/м²;

S – суммарная площадь среза сучьев, м²;

Q_x – сила тяжести хлыста, кН;

k – коэффициент, показывающий, какая доля силы тяжести хлыста давит на протаскивающий механизм;

$G_{пр}$ – сила тяжести элементов протаскивающего механизма, кН.;

G_m – сила тяжести машины, кН;

ψ_m – коэффициент сопротивления движению машины;

μ_n – коэффициент сопротивления движению хлыста движущихся элементов протаскивающего механизма по направляющим;

V_x – коэффициент сопротивления движению хлыста по поддерживающей его плоскости и по ножам;

A_d – работа по доставке рабочих устройств к дереву и установке в транспортное положение, кДж.

Удельные энергозатраты при работе харвардера, кВт·час/м³, определяются как:

$$g_{\text{харвардера}} = g_{\text{ср}} + g_{\text{сн}} + g_{\text{оч}} + g_p + g_m + g_{\text{ро}} + 2g_{\text{укл}} + g_{\text{тр}} \quad (3.7)$$

где обозначены удельные энергоёмкости следующих операций:

$g_{\text{укл}}$ – сбора и разгрузки трелюемой пачки сортиментов;

$g_{\text{тр}}$ – самого процесса трелёвки.

Подробнее формулу можно записать как:

$$\begin{aligned}
g_{\text{харвардера}} = & ((C \cdot \Pi \cdot d_{\text{cp}}^2 \cdot b \cdot K) / (4 \cdot V_x)) \cdot ((v_i / \eta_i) + (C_2 \cdot u_i \cdot v_i) / (v_p \cdot \eta_i)) + \\
& ((C \cdot M \cdot \omega \cdot v_{\text{p.o.}}) / (V_x \cdot \eta_{\text{p.o.}})) + ((C \cdot v_i) / V_x) \cdot [K_p \cdot S + (I_x \cdot (Q_x \cdot k + G_{\text{пр}}) \cdot \mu_n + \\
& I_x \cdot (1 - k) \cdot Q_x \cdot \mu_x) / \eta_i] + ((C \cdot \Pi \cdot d_{\text{cp}}^2 \cdot b \cdot K \cdot n) / (4 \cdot V_x)) \cdot ((v_i / \eta_i) + \\
& (C_2 \cdot u_i \cdot v_i) / (v_p \cdot \eta_i)) + ((10^4 \cdot C \cdot G_m \cdot \psi_m \cdot v_m \cdot (1 + m_1)) / (q \cdot \Delta \cdot \eta_m)) + (C \cdot A_d \cdot v_{\text{p.o.}}) / \\
& (V_x \cdot \eta_{\text{p.o.}}) + ((2C \cdot [\gamma \cdot (h_1 + r_{\text{ман}} \cdot \omega_{\text{ман}}) + (A_{\text{с.м}} / V_c)] \cdot v_{\text{ман}}) / \eta_{\text{ман}}) + \\
& ((2C \cdot I_{\text{ср}} \cdot \gamma \cdot k_0 \cdot \psi_m \cdot (1 + 2 \cdot a) \cdot v_m) / \eta_m), \tag{3.8}
\end{aligned}$$

где γ – объёмная сила тяжести древесины, кН/м³;

h_1 – высота подъёма при укладке сортиментов на харвардер, м;

$r_{\text{ман}}$ – радиус поворота манипулятора, м;

$\omega_{\text{ман}}$ – средний угол поворота манипулятора, рад;

k_0 – коэффициент, учитывающий увеличение пути, проходимого машиной с пачкой сортиментов, по отношению к расчётному;

a – отношение силы тяжести харвардера к силе тяжести трелюемой пачки.

Удельные трудозатраты, чел.-дн./м³, в общем виде определяются как:

$$T = (m \cdot t_{\text{ц}}) / ((M_{\text{ц}} \cdot (t_{\text{см}} - t_{\text{р}})) \tag{3.9}$$

где m – число рабочих, обслуживающих машину или механизм;

$M_{\text{ц}}$ – объём выполненной работы за один цикл, м³;

$t_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены, с;

t_p - время на регламентированные простои, подготовительные и заключительные работы, время отдыха рабочих, с.

Удельные трудозатраты, чел.-дн./м³, при работе харвестера определяются по формуле:

$$T_{\text{всрм}} = (m \cdot (t_d + t_{\text{пр}} + t_c + t_{\text{переез}})) / (V_x \cdot (t_{\text{см}} - t_p)), \quad (3.10)$$

где m - число рабочих, обслуживающих машину или механизм;

t_d - время доставки манипулятором валочно-сучкорезно-раскряжёвочной головки (ВСРГ) к дереву и подтаскивание его к месту обработки;

$t_{\text{пр}}$ - время протаскивания дерева через сучкорезные ножи, с;

t_c - время спиливания и раскряжёвки, с;

$t_{\text{перех}}$ - время перехода между рабочими позициями в расчёте на одно дерево, с;

$t_{\text{см}}$ - продолжительность рабочей смены, с;

t_p - регламентированные простои, подготовительно-заключительное время и время отдыха рабочих, с.

В общем виде формулу можно записать как:

$$T_{\text{всрм}} = (m \cdot (t_d + (I_x / v_{\text{пр}}) + ((\pi \cdot d_{\text{ср}}^2 \cdot (n_{\text{пр}} + 1)) / 4 \cdot \Pi_{\text{чист.пил}} \cdot k_1)) + ((10^4 \cdot V_x \cdot k_2) / (\Delta \cdot v \cdot q))) / (V_x \cdot (t_{\text{см}} - t_p)) \quad (3.11)$$

Удельные трудозатраты, чел.-дн./м³, при работе харвардера определяются по формуле:

$$T_{\text{харвардера}} = m \cdot (t_d + (I_x / v_{\text{пр}})) + ((\pi \cdot d_{\text{ср}}^2 \cdot (n_{\text{пр}} + 1)) / (4 \cdot \Pi_{\text{чист.пил}} \cdot k_1)) + ((10^4 \cdot V_x \cdot k_2) / (\Delta \cdot v \cdot q)) + ((2I_{\text{ср}} \cdot k_3) / v_m) + ((2t_{\text{переез}} \cdot M_n) / V_{\text{п.с}})) / (M_n \cdot (t_{\text{см}} - t_p)) \quad (12)$$

Далее приведены результаты расчетов в таб. 3.1¹:

Таблица 3.1 – Удельные затраты удельной энергоемкости при работе

харвестера и харвардера, кВт*час/м³

Наименование работы	Объем хлыста, м ³				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Валка, очистка деревьев от сучьев, раскряжевка хлыстов харвестером	10,45	12,73	17,39	21,42	24,73
Валка, очистка деревьев от сучьев, раскряжевка хлыстов и трелевка сортиментов харвардером	7,06	11,09	12,80	15,96	15,23

Все расчёты часовой производительности харвестера и харвардера, м³/час, в зависимости от объёма хлыста при числе получаемых сортиментов 3, среднем расстоянии трелевки 200 м и объёме трелюемой пачки сортиментов 8 м³ сводятся в таблицу 3.1, удельных энергозатрат – в таблицу 3.2, удельных трудозатрат – в таблицу 3.3.

Таблица 3.2 – Удельные энергозатраты при работе харвестера и харвардера,

кВт*час/м³

Наименование работы	Объем хлыста, м ³				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Валка, очистка деревьев от сучьев, раскряжевка хлыстов харвестером	0,960	0,574	0,434	0,362	0,318
Валка, очистка деревьев	1,745	1,322	1,071	0,999	0,955

¹ Коломинова, М.В. Определение удельных энерго- и трудозатрат при работе харвестеров и форвардеров [Текст] //Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. - 2013. -№ 1(93). - С. 63-67.

от сучьев, раскряжевка хлыстов и трелевка сортиментов харвардером					
---	--	--	--	--	--

Таблица 3.3 – Удельные трудозатраты при работе харвестера и харвардера,

чел.-дн./м³

Наименование работы	Объем хлыста, м ³				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Валка, очистка деревьев от сучьев, раскряжевка хлыстов харвестером	0,026	0,015	0,011	0,009	0,008
Валка, очистка деревьев от сучьев, раскряжевка хлыстов и трелевка сортиментов харвардером	0,027	0,016	0,014	0,011	0,012

3.2 Основные принципы формирования систем машин для лесосечных работ

Эффективное функционирование машин и механизмов в конкретных условиях невозможно без формирования из них определенной системы. Под системой машин для лесосечных работ понимают совокупность машин и оборудования, необходимых для выполнения технологических операций, взаимно указанных по техническим, технологическим и эксплуатационным параметрам и обеспечивающих заготовку лесоматериалов в заданных природно-производственных условиях в установленные сроки и с требуемыми экономическими показателями при соблюдении природоохранных мероприятий.¹

¹ Макаренко, А.В. Влияние технологических решений на условия и эффективность работы манипуляторных лесозаготовительных машин [Текст] / А.В. Макаренко, А.К. Редькин // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. - 2014. - № 2. - С. 7 - 11.

В состав системы входят машины, предназначенные для выполнения в различной последовательности технологических (обрабатывающих) и переместительных операций. К первой группе технологических операций относят: валку деревьев, очистку от сучьев, раскряжевку. Ко второй группе относят: трелевку, пакетирование и сортировку деревьев, хлыстов или сортиментов. Для выполнения комплекса технологических операций при сортиментной заготовке помимо механизированного инструмента применяют специальные машины, которые классифицируют в зависимости от набора выполняемых операций на следующие 4 типа: ВСРМ, СРМ, ПТМ, ВСРТМ.¹

Кроме этих машин, для реализации задач сортиментной технологии, применяют также валочно-пакетирующие и валочно-трелевочные машины.

Для оценки эффективности систем машин, по исследованиям В.Ф. Кушляева, наряду с основными показателями производительности и энергоемкости на заготовку 1м³ древесины целесообразно учитывать такие параметры, как масса системы машин ($M_{см}$), мощность энергоустановки системы машин ($N_{см}$), удельная энергонасыщенность ($N_{см}/M_{см}$) и удельная металлоемкость ($M_{см}/N_{см}$) системы машин.

Следует отметить, что для формирования системы машин для сортиментной технологии заготовки древесины необходимо учитывать применение машин или оборудования для сортировки лесоматериалов. Если системы машин, включающие форвардер, обеспечивают сортировку в процессе

¹ Якимович, С.Б. Экспериментальная оценка синхронизации обрабатывающе-транспортной системы «харвестер-форвардер» [Текст] / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Вестник МГУЛ. Лесной Вестник. - 2014. - № 4. - С. 48-51.

погрузки и разгрузки грузовой платформы форвардера, то при работе системы машин с бензопилой на раскряжке обязательно применение специальных сортировочных тележек на рельсовом пути или лесоштабелера. Это оборудование позволит произвести сортировку и штабелевку лесоматериалов перед погрузкой на лесовозный подвижной состав.

При организации процесса лесозаготовок большое значение имеет правильное инженерное обоснование систем машин, которое должно основываться на необходимости выполнить заданный объем работ в установленные сроки с необходимым экономическими и экологическими показателями. Структура системы и ее комплектация зависят от природно-производственных условий и параметров, входящих в нее машин.

Основными факторами, определяющими природно-производственные условия, являются: объем производства, размер лесосек и их концентрация, рельеф местности, таксационные характеристики лесонасаждения, наличие жизнеспособного подроста, допустимый вид рубок, почвенно-грунтовые условия. Структуру и комплектацию системы определяют на основе энергосиловых, кинематических и технологических параметров машин, силового агрегата, максимальное тяговое усилие на движителе и исполнительных механизмах технологического оборудования, рабочее давление в гидросистеме, удельное давление на грунт.¹

Кинематические параметры: диапазон рабочих и холостых скоростей двигателя, радиус поворота машины, скорости исполнительных механизмов технологического оборудования,

¹ Тетерина, М.А. Экологически щадящие, ресурсосберегающие транспортно-обрабатывающие системы: управление схемами работы машин [Текст] / М.А. Тетерина // Фундаментальные исследования. - 2011. - № 8. - Ч. 1 - С. 178-184.

угол поворота манипулятора, предельный угол устойчивого движения машины.

Технологические параметры: грузоподъемность машины, ширина и колея машины, вылет и грузоподъемность манипулятора, максимальный диаметр обрабатываемого дерева, продолжительность цикла обработки одного дерева(пачки), площадь грузового отсека.

Выделяют следующие принципы формирования системы машин:

- минимизация числа типов машин в системе;
- согласование производительности машин, выполняющих различные операции технологического процесса;
- обеспечение максимальной загрузки каждой машины, входящей в систему;
- обеспечение эксплуатационной надежности системы машин;
- минимизация техногенного воздействия системы машин на природную среду.¹

Методика формирования системы машин для заданных природно-производственных условий предусматривает следующие этапы. На 1-ом этапе исходя из ограничений по таксационным характеристикам лесонасаждений, рельефу, почвенно-грунтовым условиям, виду рубок и наличию сохраняемого подроста, выбираются машины и оборудование, обеспечивающие освоение лесного массива с заданными характеристиками.

При наличии альтернативных вариантов выбираются системы, обеспечивающие минимальные проведенные затраты

¹ Быковский, М.А. Высокотехнологичные лесозаготовительные производства на базе многофункциональных машин [Текст]/ М.А. Быковский, А.К. Редькин // Вестник МГУЛ - Лесной вестник. - 2011. - № 5(81). - С. 41-42.

на заготовку обезличенного кубометра древесины с минимальным воздействием на природную среду. На следующем этапе необходимо из выбранных машин сформировать системы с определением количества машин каждого типа. При этом в качестве ограничительного фактора для определения возможного количества машин служит минимальное число проходов машин по одному технологическому коридору при освоении заданного лесного массива тем или иным видом рубок. С учетом этого ограничения далее определяют значения управляемых параметров: длин технологических коридоров, расстояние трелевки, объемы межоперационных запасов, сменность работы машин. При расчете количества машин применительно к конкретным условиям одна из технологических операций принимается за базовую, а машина, выполняющая эту операцию, становится основной в системе. К основным машинам далее подбираются вспомогательные.¹

Основным эксплуатационным показателем, определяющим эффективность применения лесозаготовительной техники является ее производительность. Производительность машины определяется объемом древесины, заготовленной или обработанной в единицу времени. При определении эксплуатационной производительности учитываются организационные простои машины, т.е. время на выполнение подготовительно-заключительных работ и отдых.

Производительность систем машин определяется по основным машинам и механизмам, входящим в систему.

¹ Лаптев, А.В. Параметры рабочей позиции многооперационной машины манипуляторного типа [Текст] / А.В.Лаптев //Вестник МГУЛ. Лесной Вестник. - 2013. -№ 1(93). - С. 85-91.

Вспомогательные машины при этом подбираются к основным из расчета, что их производительность должна несколько превышать производительность основных машин.

Оценка производительности системы машин в целом является многокритериальной задачей. Наиболее универсальным методом решения этой задачи является имитационное статистическое моделирование работы машин в составе системы. Выбор параметров системы осуществляется главным образом по экономическим критериям. В качестве такого показателя повсеместно применяется размер удельных приведенных затрат (руб./м³), являющийся определяющим для расчета отпускной цены круглых лесоматериалов.¹

3.3 Оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных машин

Современные условия динамично развивающегося лесопромышленного производства определяют требования к современной науке по созданию высокоэффективных и производительных лесозаготовительных машин, при этом должны выполняться условия эксплуатации и эффективной технологии заготовки лесных ресурсов.

Используя методику (3.13), применяемую для лесозаготовительного производства:

$$\text{ПМ} = \text{P}_{\text{см}} * \text{N}_{\text{см}} * \text{Др} * \text{K}_{\text{см}} * \text{K}_{\text{тг}} * \text{K}_{\text{р}} * \text{K}_{\text{ор}}$$

(3.13)

¹ Рунова, Е.М. Оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных и лесохозяйственных машин предприятий Иркутской области [Текст] / Е.М. Рунова, А.Н. Сухих Н., В.А. Савченкова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2009. - № 8. - С. 25.

где ПМ – производственная мощность;

Рсм – сменная производительность техники, м³;

Нсм – среднесписочное количество техники, шт.;

Др – режимное число дней в году;

Ксм – коэффициент сменности работы техники;

Ктг – коэффициент технической готовности;

Кр – коэффициент, учитывающий простой техники в резерве;

Кор – коэффициент использования техники на основных работах.

Учитывая, что развитие технического прогресса в лесозаготовительной отрасли требует использования передового опыта, технологии, техники и организации производства, а также создания отечественных разработок, отвечающих передовому мировому уровню, по многим интересующим российских специалистов вопросам технико-экономического анализа лесозаготовительного производства (производительности, экономической эффективности и т.д.) методик недостаточно, а существующие недостаточно эффективны. Поэтому с учетом реализации всех направлений стратегии развития ЛПК нельзя упускать из поля зрения основные показатели эффективности развития, деятельности и неистощительного лесопользования ЛПК Иркутской области, это параметры и режимы работы лесозаготовительных и лесохозяйственных машин.

Авторами С.А. Семеновым и А.Н. Сухих разработаны изменения в существующую методику с учетом решения

поставленных задач, направленных на оптимизацию параметров и режимов работы лесозаготовительных машин.¹

Для оценки возможной производительности лесозаготовительных машин предлагается математическая методика (3.14), отражающая основные показатели, влияющие на производительность лесозаготовительного оборудования, определяющиеся организацией производства и условиями работ на предприятии:

$$E = P * k_{см} * k_{пр} * N * (1 - n_n/N) * (1 - n_p/(N-n_n)) * (1 - n_0/(N - n_n - n_p)) \quad (3.14)$$

где E - показатель технологической эффективности использования лесозаготовительного оборудования и машин, m^3 ;

P - нормативная производительность лесозаготовительных машин и оборудования, m^3 ;

$k_{см}$ - коэффициент сменности,

$k_{пр}$ - коэффициент продолжительности смены,

N - используемое время оцениваемого периода производственного процесса, день;

n_n - показатель затрат времени из-за выходных и праздничных дней, день;

n_p - показатель затрат времени на техническое обслуживание и ремонты, день;

n_0 - показатель организации производства, определяется использованием календарного времени, инженерно-технической подготовкой и человеческим

¹ Семенов, С.А. Оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных машин [Текст] / С.А. Семенов, А.Н. Сухих // Вестник КрасГАУ. - 2009. - № 9. - С. 26-29.

фактором, неблагоприятными природными воздействиями, день.

Коэффициент продолжительности смены, формула (3.15)

$$k_{\text{пр}} = n_d / n \quad (3.15)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент продолжительности смены;

n_d – фактическая продолжительность смены, час;

n – продолжительность смены в соответствии с нормой выработки, час.

Используя в качестве модели зависимость (3.13) как основную составляющую или единицу лесозаготовительной техники для каждого условия использования лесозаготовительных машин, можно судить о положительной динамике использования основного лесозаготовительного оборудования и интенсивности использования машин, повышении эффективности организации производственного процесса и необходимости распространения данного технологического решения на основные фазы технологического процесса лесозаготовок.

Для оценки производств по фазам заготовки на различных предприятиях предлагается использовать зависимость (3.13) в расчете на единицу состава лесозаготовительного оборудования различных марок машин, но одного назначения или комплекса выполняемых работ, формула (3.16).

$$E_e = \Sigma [P * k_{\text{см}} * k_{\text{пр}} * N * (1 - n_n/N) * (1 - n_p/(N-n_n)) * (1 - n_0/(N - n_n - n_p))] : \eta \quad (3.16)$$

где E_e – показатель технологической эффективности использования единицы лесозаготовительного оборудования и машин, m^3 ;

P – нормативная производительность лесозаготовительных машин и оборудования, m^3 ;

N – используемое время оцениваемого периода производственного процесса, день;

n_n – показатель затрат времени на выходные и праздничные дни, дни;

n_p – показатель затрат времени на техническое обслуживание и ремонты, день;

n_o – показатель организации производства, определяется использованием календарного времени, инженерно технической подготовкой и человеческим фактором, неблагоприятными природными воздействиями, день;

η – количество единиц лесозаготовительного оборудования или машин, шт.

При оценке и выборе наиболее производительного комплекса на различных фазах заготовки из различных систем машин предлагается определять выработку на списочную машину комплекса формулы (3.5), (3.6). Для машин, выполняющих одну операцию лесосечных работ из комплекса лесосечных работ:

- валку (ЛП-19А, ЛП-19Б, МЛ-119);
- трелевку (ТТ-4М, 2ЛП18, ЛТ187);
- погрузку (ЛП-65, ПЛ-87, ЛТ188)

$$E_e = \Sigma [P * k_{см} * k_{пп} * N * (1 - n_n/N) * (1 - n_p/(N-n_n)) * (1 - n_o/(N - n_n - n_p))] : \eta \quad (3.17)$$

Для различных систем машин, выполняющих весь комплекс лесосечных работ, может быть определена средневзвешенная производительность одной единицы лесозаготовительной техники: МЛ-119+2ЛТ187+ЛТ-188; ЛП-19+2ЛП18+ЛТ188; ЛП-19+2ЛП18+ЛП-33+ЛТ188А.

$$E_e = \Sigma [P * k_{см} * k_{пр} * N * (1 - n_n/N) * (1 - n_p/(N-n_n)) * (1 - n_o/(N - n_n - n_p))] : \eta \quad (3.18)$$

Применение данного подхода позволит определять стратегию эффективной организации производства, технологию лесозаготовок, высвободит выработавшие свой ресурс машины, что сэкономит средства, затрачиваемые на ремонт, повысит экономичность технологического процесса.

Неизбежные потери при создании комплексов систем машин вызываются несоответствием производительности отдельных единиц комплекса и потерями времени при начале технологического процесса и его окончании. Оценка производительности и методика выбора оптимального комплекса, его эффективная эксплуатация важны и актуальны для лесопромышленного производства. Для выбора оптимального сочетания лесозаготовительных машин, выполняющих последовательные операции при работе их комплексе с использованием зависимости (3.2), предлагается методика оценки их совместимости с применением формулы (3.7) на примере совместимости валочных и трелевочных машин:

$$C = (aE_v / bE_t) * 100 \% \quad (3.19)$$

где C – совместимость по относительной производительности лесозаготовительных машин различного назначения при работе их в комплексе последовательно, %;

E_B – показатель технологической эффективности использования валочных машин, м³;

E_T – показатель технологической эффективности использования трелевочных машин, м³;

a и b – соответственно, количество валочных и трелевочных машин в комплексе, шт.

Аналогично выполняется расчет совместимости других машин комплекса.

Дополнительной оценкой оптимальности использования лесозаготовительных машин на исследуемом предприятии послужит показатель часовой выработки за исследуемый период – месяц (20), год (21) или другой необходимый период:

$$E_{\text{чм}} = \sum [P * k_{\text{см}} * k_{\text{пр}} * N * (1 - n_n / N) * (1 - n_p / (N - n_n)) * (1 - n_o / (N - n_n - n_p))] : \Phi \quad (3.20)$$

$$E_{\text{чг}} = \sum [P * k_{\text{см}} * k_{\text{пр}} * N * (1 - n_n / N) * (1 - n_p / (N - n_n)) * (1 - n_o / (N - n_n - n_p))] : \Phi \quad (3.21)$$

где $E_{\text{чм}}$ – часовой показатель технологической эффективности за месяц использования лесозаготовительного оборудования и машин, м³;

$E_{\text{чг}}$ – часовой показатель технологической эффективности использования лесозаготовительного оборудования и машин за год, м³;

P – нормативная производительность лесозаготовительных машин и оборудования, м³;

$k_{см}$ – коэффициент сменности;

$k_{пр}$ – коэффициент продолжительности смены;

N – используемое время оцениваемого периода производственного процесса, день;

$п_{п}$ – показатель затрат времени из-за выходных и праздничных дней, день;

$п_{р}$ – показатель затрат времени на техническое обслуживание и ремонты, день;

$п_{о}$ – показатель организации производства, определяется использованием календарного времени, инженерно технической подготовкой и человеческим фактором, неблагоприятными природными воздействиями, день;

Φ – часовой фонд периода оценки времени месяца или года, час.

Часовой фонд оцениваемого периода времени рассчитывается по формуле (3.22):

$$\Phi = 24N \quad (3.22)$$

где Φ – часовой фонд периода времени оценки месяца или года, час;

24 – возможное к использованию время, количество часов в сутках, час;

N – используемое время оцениваемого периода производственного процесса, день.

Вместе с тем, было бы абсурдно предполагать, что планирование не оказывает прямого воздействия на эффективную организацию производства. Поэтому проведенный анализ производственных планов

лесозаготовительных предприятий Братского и Усть-Илимского района и литературных источников позволил сделать некоторые обобщения, ряд выводов и необходимые предложения, которые позволят проводить более достоверную оценку организации производства и использования лесозаготовительных машин, что позволит дать рекомендации и предложения по совершенствованию и современные методики оценки состояния эффективности технологии лесозаготовок и самой организации производства.

Также решения по данной задаче позволят принять предлагаемую модель, где коэффициент использования K_u по отдельным по назначению группам машин и оборудования за определенный период времени (месяц, квартал, год) представляет собой отношение числа машинодней в работе МДЭ к числу машинодней пребывания машин и оборудования в хозяйстве.¹

$$K_u = \text{МД}_э / \text{МД}_{сп} \quad (3.23)$$

Для реализации объективной оценки предлагается изменить сложившуюся методику. Известная зависимость примет следующий вид:

$$K_u = N_c * \text{МД}_э / 24 * \text{МД}_{сп} \quad (3.24)$$

где N_c – продолжительность работы машины в течении суток;

24 – количество часов в сутках.

¹ Фетищева, З.И. Технико-экономическое проектирование: Учебное пособие к практическим занятиям [Текст] / З.И. Фетищева, Т.В.Рыжкова. – М.: МГУЛ, 2009 – 78 с.

Методика позволит на начальном этапе планирования выстроить эффективную организацию производственного процесса и даст действительную оценку использования машин. Вместе с этим, не менее важным в процессе эксплуатации фактором, который необходимо учитывать, является падение производительности в результате износа машин и неэффективной организации производства. Совместное использование полученных и предлагаемых зависимостей позволит эффективно влиять на режимы работы лесозаготовительных машин и оптимизировать их параметры.

Установлены зависимости производительности от длительности эксплуатации лесозаготовительных машин, позволяющие при их использовании делать оценку и влиять на технологию и организацию технологического процесса лесозаготовок, что даст возможность совершенствования технологического процесса и позволит повысить эффективность работы самого предприятия. Результаты расчетов, представленные в таблице 1 по данным работы лесозаготовительных машин, действующих предприятий Братского и Усть-Илимского районов, предполагают возможность изменения сложившихся на предприятиях режимов работы лесозаготовительных машин и технологии производства.

Таблица 3.4 – Расчетный баланс работы машин и механизмов предприятия

Данные о механи зме, марка	Год выпу ска	Расчет ные данны е месячн ого	Вырабо тка на одну машин у по одной	Вырабо тка на одну машин у компле	Совмести мость по относит. Произв., %	Часов. показател ь технологи ч. эффективн	Сущ. к-т испол ьз-ия за перио	Предложе нный фактическ ий, к-т использ- ия
--	--------------------	--	--	--	---	--	--	--

		объема , мЗ	опраци и	кса		ости, мЗ	д	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЛП-19	1999	1674,8 81				2,251	0,306	0,089
ЛП-19	1999	Резерв .						
ЛП-19	2003	2144,2 14				2,882	0,393	0,114
ЛП-19	2004	2211,2 62				2,972	0,405	0,118
МЛ-119	2004	2211,2 62				2,972	0,405	0,118
ЛП-19	2006	4824,8 1				6,484	0,442	0,257
			2613,8 6			3,512		
ЛП-19	1992	Резерв .						
ЛП-18	1993	784,52				1,054	0,289	0,084
ЛП-18	2004	1184,8 94				1,592	0,437	0,127
ЛП-18	2006	2554,5 77				3,433	0,471	0,275
ЛП-18	2006	1338,8 85				1,799	0,494	0,144
ЛП-18	2006	1338,8 85				1,799	0,494	0,144
ЛП-18	2006	1338,8 85				1,799	0,494	0,144
ЛТ-187	2003	1350,0 16				1,814	0,443	0,129
ЛТ-187	2003	1350,0 16				1,814	0,443	0,129
ЛТ-187	2004	1380,8 79				1,856	0,453	0,132
			1402,9 5		103,52			
ЛТ-188	2003	2653,2 57				3,566	0,445	0,130
ЛТ-188	2004	5065,1 43				6,807	0,425	0,248
ЛТ-188	2006	5789,2 57				7,781	0,486	0,283
ЛТ-188	2006	5789,2 57				7,781	0,486	0,283
			4824,2	2499,1	65,407	6,484		

Очевидны результаты оценки работы лесозаготовительных машин на анализируемом предприятии – низкие показатели использования машин по показателям производительности, совместимости по относительной производительности отдельных операций, низкий часовой показатель за месяц использования лесозаготовительных машин. Более объективен и предложенный коэффициент фактического использования лесозаготовительных машин.

Для оптимизации параметров и режимов работы лесозаготовительных машин необходимы интенсификация производства, отказ от эксплуатации машин, выработавших свой эффективный ресурс, оценка показателя совместимости по относительной производительности.

Предложенные методики позволяют сделать более объективной оценку использования лесозаготовительных машин. Также следует учитывать вышеперечисленное при организации оптимального лесозаготовительного процесса применительно к местным климатическим условиям, рельефу, почвенно-грунтовым условиям. Для каждого условия предлагаемые модели позволят провести оптимизацию параметров и режимов работы лесозаготовительных машин, выбрать менее затратную технологию с целью ее последующего внедрения в ЛПК Иркутской области.¹

¹ Семенов, С.А., Оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных машин [Текст] / С.А. Семенов, А.Н. Сухих // Вестник КрасГАУ. - 2009. - № 9. - С. 26-29.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лесозаготовительная отрасль лесопромышленного комплекса представляет собой сложную организационно-технологическую структуру, имеющую достаточно четко выраженную отраслевую специфику. Это касается организации лесосечных работ, разнообразия применяемых систем машин и оборудования, специфики их работы, применяемых технологий обслуживания и ремонта, территориальной разобщенности мест дислокации и обслуживания машин от района выполнения основных лесозаготовительных работ, удаленности лесозаготовительных предприятий от объектов социальной сферы, специфического кадрового состава и др. особенностей.

Иркутская область располагает уникальными лесными ресурсами. По данным учета лесного фонда, покрытые лесной растительностью земли занимают 60,1 млн га. По этому показателю регион относится к числу наиболее многолесных среди субъектов Российской Федерации. Общий запас древесины в лесах области 9,05 млрд м³, в том числе в спелых и перестойных лесах – 5,22 млрд м³, из них в древостоях с преобладанием хвойных древесных пород – 4,54 млрд м³. С учетом реализации всех направлений стратегии развития лесопромышленного комплекса нельзя упускать из поля зрения основные показатели эффективности развития, деятельности и неистощительного лесопользования ЛПК Иркутской области. Это параметры и режимы работы лесозаготовительных и лесохозяйственных машин. В настоящее время для создания эффективного лесозаготовительного предприятия необходима всеобъемлющая техническая модернизация ЛПК Иркутской области, выход на мировой рынок с высокотехнологичными товарами глубокой переработки и большой добавленной стоимостью, доведение до товарной ценности всех отходов лесопользования и переработка лиственных насаждений на реконструированных производствах.

Динамично развивающееся лесопромышленное производство определяет требования к современной науке по созданию высокоэффективных и производительных лесозаготовительных машин. При этом должны выполняться условия эксплуатации и эффективной технологии заготовки лесных ресурсов. Применение предлагаемых методик позволит определять стратегию эффективной организации производства, технологию лесозаготовок и высвободит выработавшие свой

ресурс машины, что сэкономит средства, затрачиваемые на ремонт, повысит экономичность технологического процесса. Для каждого условия предлагаемые модели помогут провести оптимизацию параметров и режимов работы лесозаготовительных машин, выбрать менее затратную технологию с целью их дальнейшего внедрения в ЛПК Иркутской области.

Немаловажную роль в формировании рентабельности предприятия играет организация производственного процесса. На практике это обычно видно при замене изношенного оборудования на новое. Как правило, эта замена осуществляется по двум схемам. Убыточные и низко рентабельные предприятия предпочитают заменять отдельные изношенные машины на аналогичные, а критерием выбора является цена. Предприятия, не стесненные средствами, стараются закупать лесозаготовительные комплексы зарубежного производства. При этом не принимаются в расчет условия будущей эксплуатации приобретаемой техники: характеристики лесосырьевой базы, рельефные и почвенно-грунтовые условия, наличие ремонтной базы и квалифицированных кадров.

Применение лесозаготовительных машин позволяет механизировать особо трудоёмкие операции лесозаготовительного производства и существенно повысить производительность труда.

Оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных предприятий Иркутской области является гарантией наличия экономически эффективного лесного сектора. Для создания современных эффективных лесозаготовительных предприятий необходима техническая

модернизация ЛПК Иркутской области. Предлагаемые методы и оборудование позволят увеличить производительность труда на лесосечных работах с использованием машинной заготовки леса, а также улучшит лесорастительные условия, что способствует последующему естественному возобновлению.

Таким образом, применяя методы управления производством, учитывающие природно-климатические и почвенно-грунтовые условия, в которых работает предприятие, а также стратегию обновления, пополнения и ремонта парка машин, можно существенно повысить эффективность лесозаготовительного процесса, снизить затраты на выработку лесопродукции и увеличить рентабельность предприятия.

Экономическим показателем работы лесозаготовительных машин является так же и экологичность выбранных машин. При минимизации урона наносимого лесу в результате лесозаготовок (уничтожение подроста в результате заготовки, повреждение молодых деревьев, сплошная вырубка леса, уплотнение почвы) уменьшаются и затраты на лесовосстановление. Лесной кодекс РФ в статье 62 устанавливает, обязательное лесовосстановление арендованных лесных участков, арендаторами. При не недобросовестной и расточительной заготовке леса уменьшается возможность естественного лесовосстановления что могло бы существенно снизить затраты на восстановление лесных культур. Решить данную проблему можно путем использования системы машин минимально уплотняющих почву и минимально губящих молодое поколение деревьев, но при этом должна использоваться и определенная система вырубки лесосеки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лесной кодекс Российской Федерации: [фед. закон: принят Государственной думой 8.11.2006. Одобрен Советом Федерации 24.11.2006 г. Федеральный закон № 201-ФЗ 04.12.2006 г. по состоянию на 29.12.2017 г.]. – М.: Маркетинг, 2018. – 25 с.
2. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года: [Приказ: Принят Минпромторгом России и Минсельхозом России 31.10.2008 г. № 248/482] // Российская газета. – 2008. – 07 ноября. - № 317.
3. Азаренок, В.А. Рекомендации по сортиментной заготовке древесины многооперационными машинами на территории Свердловской области [Текст]/ В.А. Азаренок, С.В. Залесов, Э.Ф. Герц, Г.А. Годовалов, и др. - Екатеринбург: Урал.гос.лесотехн.ун-т, 2016. - 67с.
4. Азаренок, В.А. Сортиментная заготовка древесины: учебное пособие [Текст] / В.А. Азаренок, Э.Ф. Герц, С.В.

- Залесов, А.В. Мехренцев. - Екатеринбург: Урал. гос.лесотехн.ун-т, 2015. - 140с.
5. Быковский, М.А. Высокотехнологичные лесозаготовительные производства на базе многофункциональных машин [Текст]/ М.А. Быковский, А.К. Редькин // Вестник МГУЛ - Лесной вестник. - 2011. - № 5(81). - С. 41-42.
 6. Важенин, С.Г. Территориальная конкуренция в экономическом пространстве [Текст] / С.Г. Важенин, В.Л. Берсенев, И.С. Важенина, А.И. Татаркин. - Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2011. - 488 с.
 7. Ващук, Л.Н. Динамика лесных пространств Иркутской области [Текст] / Л.Н. Ващук, А.Д. Швиденко. - Иркутск: ИГУ, 2006. - 392 с.
 8. Герасимов Ю.Ю. Расчет эксплуатационных затрат лесосечных машин [Текст] / Ю.Ю.Герасимов, Е.Н.Сибиряков, С.Л. Мошков, С. Карвинен. - Финляндия: Научно-исследовательский институт леса Финляндии Йоэнссу, 2009. - 130 с.
 9. Григорьев, И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования [Текст] / И.В. Григорьев. - СПб.: ЛТА, 2012. - 236 с.
 10. Григорьев, И.В. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования [Текст] / И.В. Григорьев, О.И. Григорьева, А.И. Никифорова, О.А. Куницкая // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2012. - № 6. - С. 72-77.

11. Дербин, В.М. Совершенствование сортиментной заготовки [Текст] /В.М. Дербин, М.В. Дербин. - М.: Мир, 2014. - 130 с.
12. Евдокимов, Б.П. Эксплуатация машин в лесозаготовительных предприятиях [Текст] / Б.П. Евдокимов // Лесной комплекс Сибири. - 2016. - № 8. - С. 21-22.
13. Клубничкин, Е.Е. Определение нагруженности ходовой системы многооперационной лесосечной машины [Текст] / Е.Е. Клубничкин, В.А. Макуев, В.Е. Клубничкин // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. - 2014. - № 3(95). - С. 175-177.
14. Коломинова, М.В. Определение удельных энерго- и трудозатрат при работе харвестеров и форвардеров [Текст] / М.В. Коломинова //Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник - 2013. - № 1(93). - С. 63-67.
15. Кондратюк, Д.В. Лесной комбайн для заготовки сортиментов [Текст] / Д.В. Кондратюк. - М.: МГУЛ, 2013. - 60 с.
16. Лаптев, А.В. Параметры рабочей позиции многооперационной машины манипуляторного типа / А.В.Лаптев //Вестник МГУЛ. Лесной Вестник. - 2013. -№ 1(93). - С. 85-91.
17. Ларионова, Н.А. Кластерный подход в управлении конкурентоспособностью региона [Текст] / Н.А. Ларионова // Экон. вестник Ростовского ГУ. - 2007. - № 1. - Ч. 2. - 295 с.
18. Макаренко, А.В. Влияние технологический решений на условия и эффективность работы манипуляторных

- лесозаготовительных машин [Текст]/ А.В. Макаренко, А.К. Редькин // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. - 2014. - № 2. - С. 7 - 11.
19. Макаренко, А.В. Многооперационные машины для лесозаготовок и лесохозяйственного производства [Текст]/ А.В. Макаренко, М.А. Быковский. - М.: Академия, 2009 - 372 с.
20. Макаренко, А.В. Программное проектирование трелевочных волоков на лесосеке [Текст] / А.В. Макаренко // Вестник МГУЛ - Лесной вестник, 2013. - № 1. - С. 99-105.
21. Макуев, В.А. Новые экономические подходы к формированию и функционированию парка лесосечных машин [Текст] / В.А. Макуев // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. - 2010. - № 2. - С. 123-124.
22. Матюшкина, О.Н. Анализ применения зарубежной многофункциональной техники с канатно-чокерной оснасткой на выборочных рубках [Текст] / О.Н. Матюшкина, М.А. Быковский // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. - 2013. - № 1(93). - С. 112-116.
23. Миронов, Е.И. Машины и оборудование лесозаготовок: Справочник [Текст] / Е.И. Миронов, Д.Б. Рохленко, Л.Н. Беловзоров. - М.: Издательство Лесная промышленность, 2013. - 320 с.
24. Пятакин, В.И. Лесоэксплуатация : учебник для студ. высш. учеб. заведений [Текст]/ В.И. Пятакин, Э.О. Салминен, Ю.А. Бит. - М.: Академия, 2006. - 320 с.
25. Пятакин, В.И. Технология и машины лесосечных работ [Текст] / В.И. Пятакин. - СПбГЛТУ, 2012. - 362 с.
26. Редькин, А.К. Технология и оборудование

- лесозаготовок: учеб. пособие. 2-е изд. [Текст] / А.К. Редькин, В.Д. Никишов, С.Н. Смехов, И.В. Ярцев. - М. : ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012.- 178 с.
27. Рунова, Е.М. Оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных и лесохозяйственных машин предприятий Иркутской области [Текст] / Е.М. Рунова, А.Н. Сухих Н., В.А. Савченкова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2009. - № 8. - С. 25.
28. Рунова, Е.М. Организация и управление в лесозаготовительном бизнесе [Текст] / Е.М. Рунова, А.Н. Сухих // Формирование регионального лесопромышленного комплекса инновационного типа: сб. науч. тр. - Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2004. - 116 с.
29. Семенов, С.А. Оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных машин [Текст] / С.А. Семенов, А.Н. Сухих // Вестник КрасГАУ. - 2009. - № 9. - С. 26-29.
30. Скрыпник, В.И. Способы минимизации затрат на первичный транспорт леса [Текст] / В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов, Ю.А. Ратманова // Учебные записки Петрозаводского государственного университета. 2012. - № 4. - С. 98-101.
31. Стрельцов, Э.С. Российский рынок лесозаготовительной техники [Текст] / Э.С. Стрельцов // Леспромформ. - 2017. - № 2. - С. 8-9.
32. Сухих, А.Н. Машины для эффективной и неистощительной заготовки леса [Текст] / А.Н. Сухих, С.М. Сыромаха // Системы. Методы. Технологии. - 2013. - № 1(17).- С. 95-98.

33. Тетерина, М.А. Экологически щадящие, ресурсосберегающие транспортно-обрабатывающие системы: управление схемами работы машин [Текст] / М.А. Тетерина // Фундаментальные исследования. - 2011. - № 8. - Ч. 1 - С. 178-184.
34. Федоров, С.В. Сущность и специфические особенности наукоемких отраслей [Текст] / С.В. Федоров // Креативная экономики, 2009. - № 12(27). - С. 50-53.
35. Фетищева, З.И. Технико-экономическое проектирование: Учебное пособие к практическим занятиям [Текст] / З.И. Фетищева, Т.В. Рыжкова. - М.: МГУЛ, 2009 - 78 с.
36. Шегельман, И.Р. Методика оптимизации транспортно-технологического освоения лесосырьевой базы с минимизацией затрат на заготовку и вывозку древесины [Текст] / И.Р. Шегельман, А.В. Кузнецов, В.И. Скрыпник, В.Н. Баклагин // Инженерный вестник Дона. - 2012. - № 4 (23). - С. 35.
37. Шегельман, И.Р. Трансформация системы лесосырьевой и технологической подготовки в организации лесопользования [Текст] / И.Р. Шегельман, В.М. Лукашевич // Фундаментальные исследования. - 2012. - № 3. - Ч. 1. - С. 739-743.
38. Ширнин, Ю.А. Технология и машины лесосечных работ: учеб. пособие для студентов вузов [Текст] / Ю.А. Ширнин - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. - 83 с.
39. Ширнин, Ю.А. Разработка параметров оборудования и технологии экстремальных условий лесозаготовок [Текст] / Ю.А. Ширнин. - Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. - 232 с.

40. Ширнин, Ю.А. Обоснование технологических параметров лесосек и режимов работы лесозаготовительных машин: учебное пособие [Текст] / Ю.А. Ширнин, К.П. Рукомойников, Н.И. Роженцова, А.Ю. Ширнин; под. ред. Ю.А. Ширнина. –Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – 172 с.
41. Якимович, С.Б. Экспериментальная оценка синхронизации обрабатывающе-транспортной системы «харвестер-форвардер» [Текст] / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Вестник МГУЛ. Лесной Вестник. - 2014. – № 4. – С. 48-51.
42. Якимович, С.Б. Опытнo-промышленная оценка эффективности нового способа заготовки сортиментов [Текст] /С.Б. Якимович, М.А. Тетерина, В.В. Груздев / /Вестник МГУЛ. Лесной вестник. - 2013. – № 1. – С. 192-196.
43. Якимович, С.Б. Управление схемами работы машин в обрабатывающе-транспортных лесозаготовительных системах [Текст] / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Вестник МГУЛ. Лесной Вестник. - 2010. – № 6. – С. 78-82
44. Якимович, С.Б. Синхронизация обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины [Текст] / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Монография – Йошкар-Ола, 2010. – 201 с.
45. Ярошенко, А.Ю. От сплошных рубок к выборочным [Текст] / А.Ю.Ярошенко // ЛесПромИнформ. – 2012. - № 3(85). – С. 18-21.
46. Бояринцев, А.К. Рынок лесозаготовительной техники: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] / А.К. Бояринцев, Е.А. Волков // Издательский дом Предприниматель URL:

http://www.idpr.ru/projects/2221/2174/2598/_aview_b63433

47. Таможенная статистика внешней торговли: экспорт России из стран дальнего зарубежья за период 2008 - 2016 гг. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Федеральной таможенной службы:
http://www.customs.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=13858&Itemid=2095