

УДК 629.1

UDC 629.1

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01-Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ НАЗНАЧЕНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ ЛЕСНОЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

DEVELOPMENT OF DESTINATION REQUIREMENTS FOR TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR A FOREST LOADING AND TRANSPORT VEHICLE

Алябьев Алексей Федорович
д.т.н., профессор
Scopus Author ID: 57208470075
РИНЦ SPIN-код: 6093-1882
alyabiev@mgul.ac.ru

Alyabiev Alexey Fedorovich
Dr.Sci.Tech., professor
Scopus Author ID: 57208470075
RSCI SPIN-code: 6093-1882
alyabiev@mgul.ac.ru

Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical University, Russia, 141005, Moscow region, Mytishchi, ul.1-ya Institutskaya, 1

Котиев Георгий Олегович
д.т.н., профессор
Scopus Author ID: 6504176114
РИНЦ SPIN-код: 8963-6431
kotievgo@yandex.ru

Kotiev Georgiy Olegovich
Dr.Sci.Tech., professor
Scopus Author ID: 6504176114
RSCI SPIN-code: 8963-6431
kotievgo@yandex.ru

Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical University, Russia, 141005, Moscow region, Mytishchi, ul.1-ya Institutskaya, 1

Караваев Александр Михайлович
Магистр
ghost.karavaev@yandex.ru
Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Karavaev Alexander Mikhailovich
Master
ghost.karavaev@yandex.ru
Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical University, Russia, 141005, Moscow region, Mytishchi, ul.1-ya Institutskaya, 1

В рамках создания высокотехнологичного производства современных, энергоэффективных и экологически безопасных лесных машин, запланирована разработка и производство погрузочно-транспортной машины (форвардера). Технологическое оборудование должно соответствовать условиям использования и типоразмеру форвардера. В статье предложена методика разработки требований назначения к манипулятору и грузовому отсеку

As part of the creation of a high-tech production of modern, energy-efficient and environmentally friendly forest machines, it is planned to develop and manufacture a loading and transport machine (forwarder). The process equipment must meet the conditions of use and the forwarder's standard size. The article offers a method for developing the requirements for the purpose of the manipulator and cargo compartment

Ключевые слова: ФОРВАРДЕР, СОРТИМЕНТ, ТРЕЛЁВОЧНЫЙ ВОЛОК, МАНИПУЛЯТОР, ГРУЗОВОЙ ОТСЕК

Keywords: FORWARDER, ROUNDWOOD, SKIDDING TRACK, MANIPULATOR, CARGO COMPARTMENT

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-164-006>

Введение

По конструкции большинство современных погрузочно-транспортных машин (форвардеров) представляют собой шасси с

<http://ej.kubagro.ru/2020/10/pdf/06.pdf>

шарнирно сочлененной рамой, на которую устанавливается технологическое оборудование. К основному технологическому оборудованию относятся манипулятор и грузовой отсек.

Разработка требований назначения к технологическому оборудованию форвардера является целью работы.

Разработка требований назначения к манипулятору

Предметом труда для погрузочно-транспортной машины (форвардера) являются сортименты. Определим максимальные размеры и массу сортиментов, с которыми должен работать форвардер.

В зависимости от назначения круглых лесоматериалов, название сортиментов, их размеры, порода и сорт должны соответствовать характеристикам, указанным в ГОСТ 9463-2016 [1]. Из него видно, что наибольшие размеры сортиментов следующие:

- сваи длиной 13 м, диаметром в верхнем торце без коры до 34 см из сосны, лиственницы, ели, пихты;
- пиловочник, балансы длиной 6,5 м, неограниченного диаметра из сосны, лиственницы, ели, пихты, кедра.

Максимальный диаметр сортиментов, с которыми должен работать форвардер, определяется параметрами харвестера, а именно размером харвестерной головки. Как правило, после работы харвестера на лесосеке должно оставаться не более 5 % древесины по числу деревьев. Рассмотрим распределение числа и объема деревьев по диаметрам на высоте 1,3 м в Федеральных округах РФ с наиболее крупным древостоем (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение числа деревьев по диаметрам

Диаметр на высоте 1,3 м, см	Центральный ФО, %	Уральский ФО, %	Сибирский ФО, %	Дальневосточный ФО, %
Преобладающая порода	Ель, сосна	Ель, пихта	Лиственница, сосна	Лиственница, кедр
12	18,5	11,7	9,2	7,3
16	21,3	18,3	12,8	12,9
20	19,7	19,8	13,0	15,3
24	14,7	16,6	14,3	14,5
28	10,2	10,4	12,6	11,6
32	5,9	8,0	8,7	8,9
36	3,6	7,1	6,9	7,1
40	2,3	3,5	6,2	6,0
44	2,2	1,9	4,8	4,0
48	0,7	1,1	3,4	3,0
52	0,4	0,8	2,7	2,6
56	0,3	0,47	2,2	2,0
60	0,11	0,21	1,0	1,3
64	0,05	0,08	0,82	1,0
68	0,04	0,02	0,66	0,7
72	-	-	0,38	0,7
76	-	0,02	0,23	0,6
80			0,11	0,5

Согласно принятому условию в Центральном ФО и Уральском ФО соответствует максимальный диаметр сортимента из дерева с диаметром на высоте 1,3 м 44 см и более; в Сибирском ФО – 56 см; в Дальневосточном ФО – 60 см. Учитывая, что объемы лесозаготовок Сибирского и Дальневосточного округов составляют в настоящее время 48,3% от общего объема лесозаготовок в России целесообразно принять, что максимальный диаметр сортимента будет из дерева, диаметр которого на высоте 1,3 м составляет 60 см. В этом случае в Центральном ФО

количество деревьев, у которых первый или два первых сортимента будут недоступны для форвардера, составит 0,09 %, в Уральском ФО – 1,2 %, в Сибирском ФО – 2,2 %, в Дальневосточном ФО – 3,5 %.

Объем сортиментов определим по таксационным таблицам [2] для древостоя по 1 разряду высот. Дерево для сваи максимальных размеров будет иметь диаметр на высоте 1,3 м равный 44 см. Объем сваи составит 1,68 м³. Объем сортимента максимальных размеров для пиловочника будет равен 1,85 м³. Таким образом, максимальный объем сортимента для пиловочника будет больше максимального объема сортимента для сваи. Кроме того, перечень пород древесины для пиловочника включает перечень пород для сваи. Следовательно, масса пиловочника будет определяющей для определения требований к грузоподъемному оборудованию. Из перечисленных выше пород для пиловочника наибольшей плотностью обладает древесина лиственницы 940 кг/м³. Таким образом, максимальная масса сортимента будет равна 1740 кг.

Согласно [2] общая площадь трасс волоков и дорог должна составлять при сплошных рубках не более 20 процентов, при выборочных - не более 15 процентов от площади лесосеки. На лесосеках сплошных рубок, проводимых с применением многооперационной техники, допускается увеличение площади волоков и дорог до 30 процентов общей площади лесосеки. В среднем ширина волока составляет 4,5 м. Для многооперационной техники соблюдение указанных выше требований обеспечивается при ширине пасеки не менее 30 м на выборочных рубках, и 15 м при сплошных рубках.

Существует несколько технологий разработки пасек [3]. Максимальный вылет стрелы манипулятора с учетом ширины волока и длины сортимента, приведен в таблице 2

Таблица 2 – Максимальный вылет стрелы манипулятора

Технологическая схема разработки пасеки	Максимальный вылет стрелы манипулятора, м, не менее
Без сохранения подроста:	
- с волоком по границе пасеки	10
- с волоком посередине пасеки	6
С сохранением подроста:	
- с вспомогательным коридором	10
- с двумя вспомогательными коридорами	6,5

Таким образом, максимальный грузовой момент манипулятора (нетто) должен находиться в диапазоне 105 ...174 кНм. Грузовой момент манипуляторов (брутто) составит 150...234 кНм.

Если при работе форвардера не хватает грузового момента для подъема сортимента, то оператор манипулятором подтаскивает его ближе к форвардеру, и затем грузит сортимент. Такая технология погрузки снижает производительность. Оценим, как влияет уменьшение грузового момента манипулятора на количество сортиментов, для погрузки которых требуется подтаскивание.

Распределение спиленных деревьев по диаметрам, представленное на рисунке 1, получено из таблицы 1, учитывая процент деревьев диаметром более 60 см, которые не может обработать харвестер.

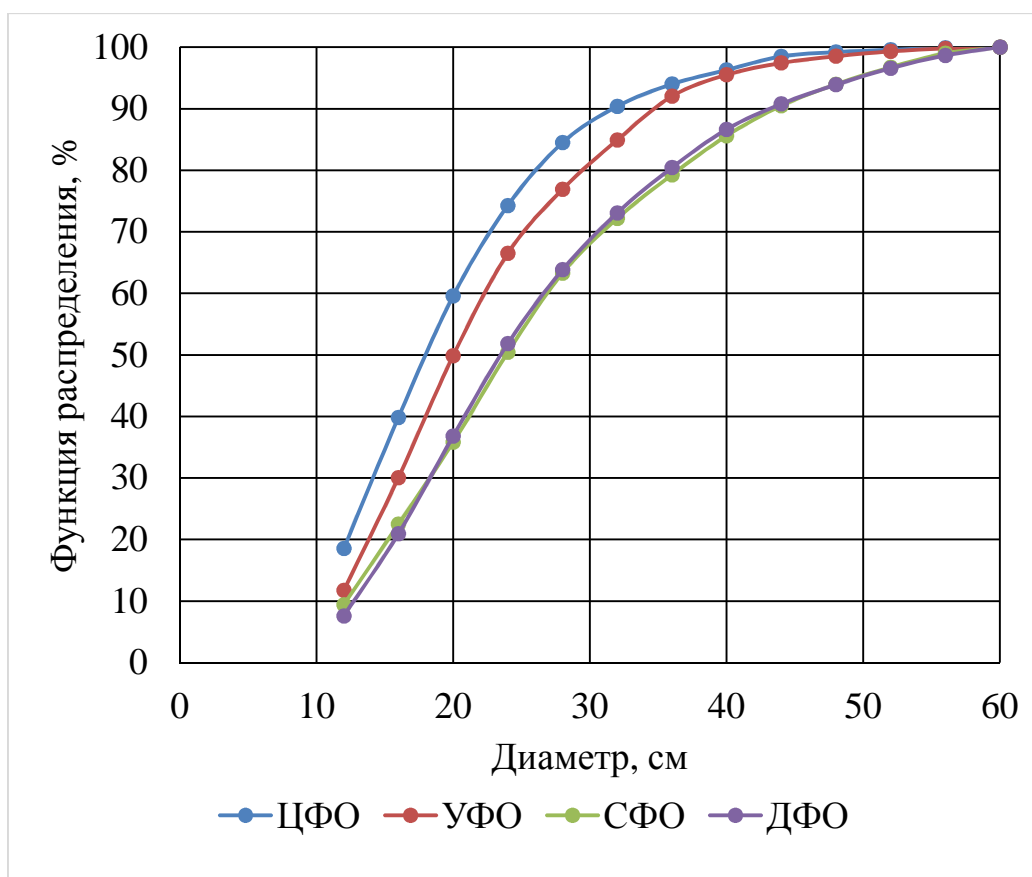


Рисунок 4 – Функция распределения диаметров спиленных деревьев по федеральным округам

Из рисунка 1 видно, что медиана диаметров будет равна 18 см для ЦФО, 20 см для УФО, 24 см для СФО и ДФО. Высота деревьев для второго разряда высот [4] соответствующая медианам диаметров будет равна 24,2 м для ЦФО, 25,3 м для УФО, 27,1 м для СФО и ДФО. Среднее количество сортиментов длиной 6,5 м, получаемых из одного дерева будет для ЦФО и УФО 2 шт., а для СФО и ДФО 3 шт. И количество сортиментов длиной 6,5 м в ЦФО и УФО будет в два раза больше количества деревьев, а для СФО и ДФО в три раза.

Если погрузка сортиментов диаметром 60 см осуществлять, подтаскивая их к форвардеру, то (таблица 3) таких сортиментов будет: в ЦФО 0,055 %, в УФО – 0,11 %, в СФО – 0,33 %, в ДФО – 0,43 %. В этом

случае масса поднимаемого сортимента будет 1447 кг, и можно использовать манипулятор с грузовым моментом (нетто) 123 кНм.

Таблица 3 – Правая часть распределения числа спиленных деревьев по диаметрам

Диаметр на высоте 1,3 м, см	Центральный ФО, %	Уральский ФО, %	Сибирский ФО, %	Дальневосточный ФО, %
Преобладающая порода	Ель, сосна	Ель, пихта	Лиственница, сосна	Лиственница, кедр
48	0,7	1,1	3,5	3,1
52	0,4	0,8	2,8	2,7
56	0,3	0,47	2,3	2,1
60	0,11	0,21	1,0	1,3

Если подтаскивать сортименты диаметром 55 см, то общее количество сортиментов будет складываться из двух сортиментов из дерева диаметром 60 см и одного сортимента из дерева диаметром 56 см. Получим количество сортиментов, погрузка которых осуществляется с подтаскиванием: в ЦФО 0,26 %, в УФО – 0,45 %, в СФО – 1,43 %, в ДФО – 1,57 %. В этом случае масса поднимаемого сортимента будет 1128 кг, и можно использовать манипулятор с грузовым моментом (нетто) 96 кНм (рисунок 2).

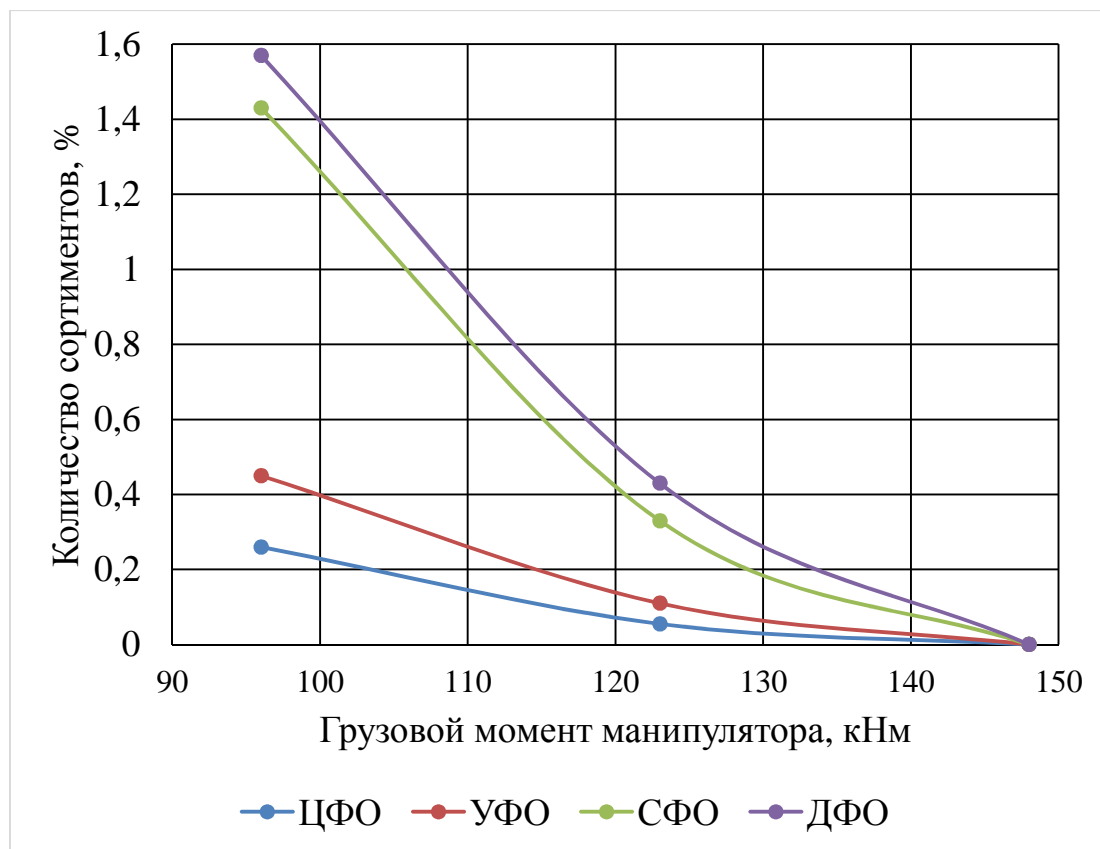


Рисунок 2 – График зависимости количества сортиментов, погрузка которых осуществляется с подтаскиванием, от грузовой нагрузки манипулятора (нетто)

Таким образом, манипулятор с грузовой нагрузкой 110 – 120 кНм (нетто) обеспечит в условиях СФО и ДФО погрузку 99,1 ... 99,6 % сортиментов. Остальные сортименты грузятся на форвардер с предварительным подтаскиванием. Грузовой момент брутто, соответствующий грузовой нагрузке нетто, будет ориентировочно равен 150 ... 170 кНм [5, 6].

Разработка требований назначения для грузового отсека

Номинальная грузоподъемность форвардера – это одна из важнейших его характеристик, которая связана с объемом лесоматериалов, который может за один рейс перевезти форвардер. Поскольку перевозятся разные по длине и диаметру сортименты, рейсовая грузоподъемность

может варьировать в довольно широких пределах. Определим длину и площадь грузового отсека.

Размеры сортиментов регламентируются ГОСТ 9463-2016 [1]. При погрузке сортиментов проводится их подсортировка и стараются в одном рейсе перевозить лесоматериалы одного назначения. Если исключить сортименты для свай и столбов, то максимальная длина сортиментов равна 6,5 м. Сортименты длиной 3 и 2 м можно погрузить в два или три штабеля в грузовой отсек [7]. Четырёхметровые сортименты в два штабеля в грузовой отсек не укладываются, поэтому будем считать 4 м минимальной длиной сортимента, который перевозится в одном штабеле в грузовом отсеке.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 32594-2013 [8] определяет групповой метод определения объема бревен в штабеле, сформированном на железнодорожном и автомобильном транспорте. Для пересчета складочного объема штабелей круглых лесоматериалов, погруженных на транспортные средства, в «плотный» объем умножают складочный объем на коэффициент полндревесности с учетом характеристик круглых лесоматериалов (породы, длины, диаметра, назначения, в коре, без коры). Из ГОСТ 32594-2013 находим, что максимальное значение коэффициента полндревесности для бревен в коре длиной $L_{max} = 6,5$ м равно $k_{max} = 0,7$ (брёвна гидростроительные), минимальное значение коэффициента полндревесности для бревен в коре длиной $L_{min} = 4$ м равно $k_{min} = 0,52$ (лиственные породы: балансы, подтоварник, строительные брёвна).

При грузоподъемности форвардера $Q = 19$ т минимальная площадь поперечного сечения грузового отсека S_{min} будет при перевозке гидростроительных брёвен из лиственницы ($\rho_l = 940$ кг/м³):

$$S_{min} = \frac{Q}{L_{max}\rho_l k_{max}} = 4,44 \text{ м}^2.$$

Максимальная площадь поперечного сечения грузового отсека S_{max} будет при перевозке балансов, подтоварника или строительных брёвен длиной $L_{min} = 4$ м из тополя ($\rho_T = 700$ кг/м³):

$$S_{max} = \frac{Q}{L_{min}\rho_T k_{min}} = 13.05 \text{ м}^2.$$

Полученная максимальная площадь поперечного сечения грузового отсека велика. Высота коников не может очень высокой из-за ухудшения поперечной устойчивости форвардера. Большая ширина грузового отсека ухудшает маневренность при движении среди растущих деревьев. Поэтому максимальная загрузка форвардера четырёхметровыми сортиментами не обеспечивается. Для увеличения загрузки форвардера воз формируют из сортиментов разной длины. Например, вниз укладывают сортименты длиной 6 ... 6,5 м, а сверху длиной 4 и 2 м.

Определим максимальную площадь поперечного сечения грузового отсека S_{max} при перевозке балансов, подтоварника или строительных брёвен длиной $L_{min} = 6$ м из тополя:

$$S_{max} = \frac{Q}{L_{min}\rho_T k_{min}} = 8,7 \text{ м}^2.$$

Длина грузового отсека определяется длиной перевозимых сортиментов. Перевозку сортиментов длиной 6,5 м или перевозку двух штабелей трёхметровых сортиментов обеспечивает грузовой отсек длиной 5,4 м.

При перевозке сортиментов различной длины продольная координата центра тяжести груза смещается. Это приводит к перераспределению нагрузки между мостами, что может привести к увеличению негативного воздействия на почву, снижению проходимости. Для уменьшения смещения продольной координаты центра тяжести груза защитный экран грузового отсека должен иметь возможность перемещаться. Диапазон перемещения защитного экрана должна быть не

более 1,2 м. Эта величина получается из смещения продольной координаты центра тяжести при работе с 6,5 метровыми и 4-х метровыми сортиментами.

Согласно лесоводственным требованиям к технологическим процессам лесосечных работ «Прокладка технологических коридоров (волоков) должна осуществляться ... с таким расчетом, чтобы расстояние между деревьями, ограничивающими волок с обеих сторон (ширина волока), было 5 м». Так как у форвардера расстояние от шарнира до центра тандемной тележки технологического модуля b почти в два раза больше расстояния от шарнира до центра тандемной тележки энергетического модуля a , то при повороте радиусы траектории движения модулей будут различными. Это приводит к увеличению ширины поворотной полосы. Ширину поворотной полосы увеличивает передний и задний свес форвардера. Определим ширину поворотной полосы при различных радиусах поворота (рисунок 3):

$$R_a = \frac{a}{\sin\alpha} \left(\frac{b}{a} + \cos\alpha \right) + \frac{B}{2}$$

$$R_b = \frac{b}{\sin\alpha} \left(\frac{a}{b} + \cos\alpha \right) - \frac{B}{2}$$

$$R_e = \sqrt{R_a^2 + L_1^2}$$

$$R_t = \sqrt{(R_b + B_0)^2 + L_2^2}$$

$$B_e = R_t - R_b$$

где, R_a – радиус поворота энергетического модуля; R_b – внутренний радиус поворота технологического модуля; R_e – радиус поворота энергетического модуля по переднему свесу; R_t – радиус поворота технологического модуля по заднему свесу; α – угол «складывания» полурам при повороте; B – колея; L_1 – свес энергетического модуля; L_2 –

свес технологического модуля; B_e – ширина поворотной полосы по ширине грузового отсека.

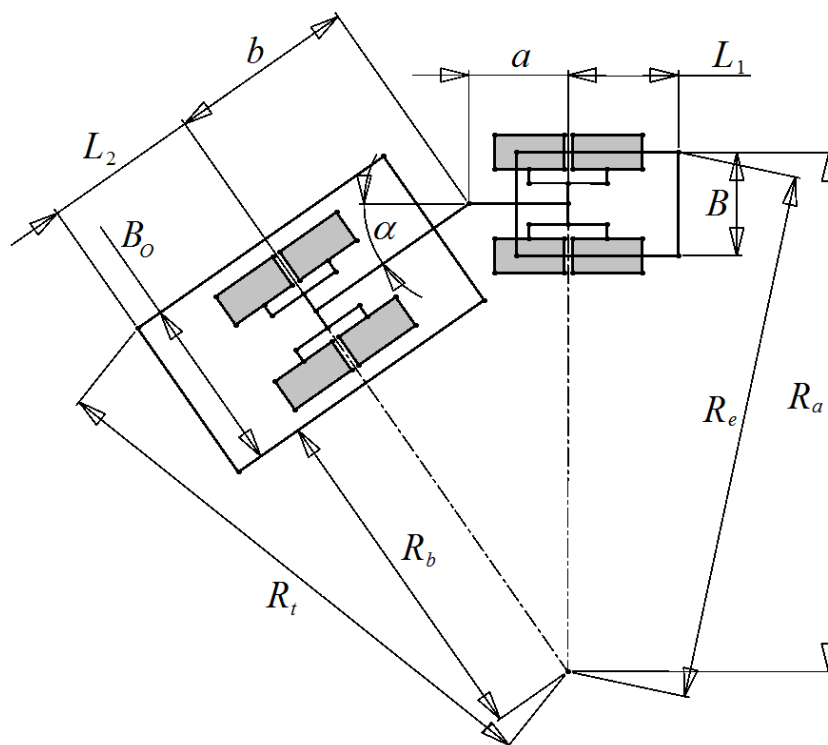


Рисунок 3 – Схема для определения ширины волокна

Для $a = 2,15$ м, $b = 4,05$ м, $B = 2,245$ м, $L_1 = 2,39$ м, $L_2 = 3,375$ м результаты расчета представлены на рисунках 4 и 5.

Из рисунка 4 видно, что ширина поворотной полосы определяется разницей радиуса поворота технологического модуля по заднему свесу R_t и внутреннего радиуса поворота технологического модуля R_b .

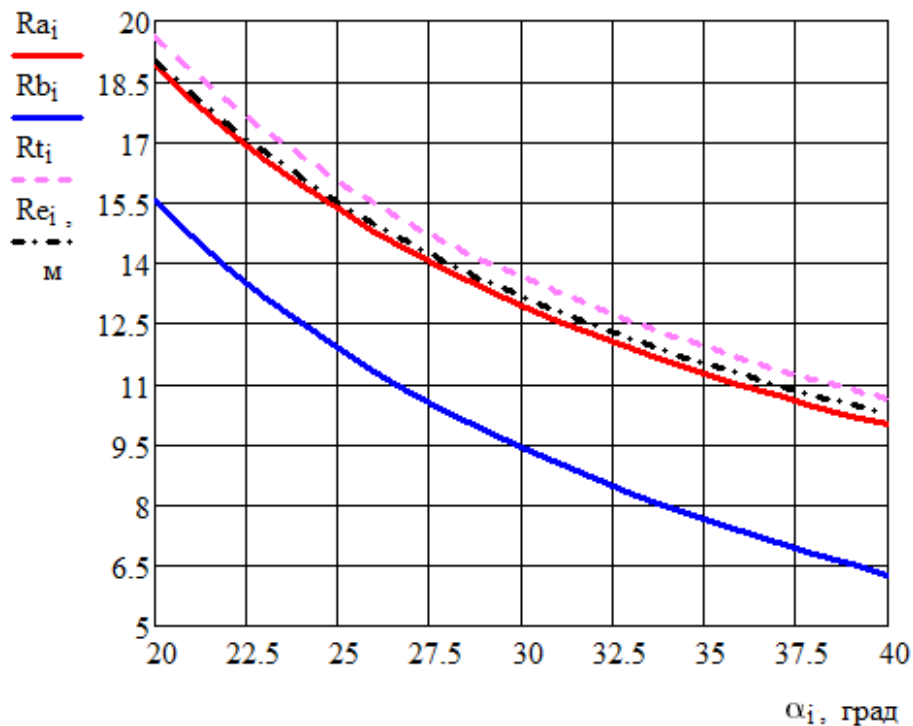


Рисунок 4 – График зависимости радиусов поворота от угла «складывания» полурам

На рисунке 5 приведены графики зависимости ширины поворотной полосы от угла «складывания» полурам для ширины грузового отсека 3,8 м и 3,01 м (ширина форвардера по колесам). Ширина волока не должна превышать 5 м и существуют ограничения на количество повреждаемых деревьев, оставляемых на лесосеке, поэтому ширина волока должна быть больше поворотной полосы на 0,6 ... 0,8 м. Таким образом, ширина грузового отсека не должна превышать 3,8 м.

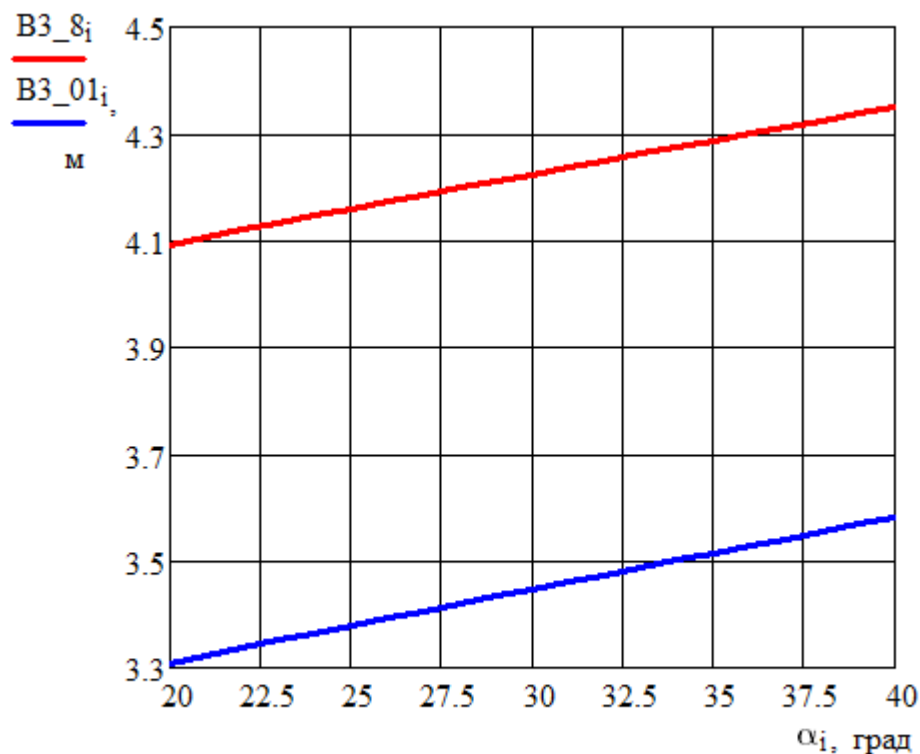


Рисунок 5 – График зависимости ширины волока от угла «складывания» полурам

Высота стоек определяется габаритами форвардера по высоте. Как правило, колонна манипулятора не превышает по высоте кабину форвардера. При этом наивысшее рабочее положение манипулятора при погрузке-выгрузке сортиментов из грузового отсека должно превышать высоту коников. Этим определяется высота коников.

Выводы

1. Выбранный манипулятор обеспечивает погрузку сортиментов максимальной массы, заготавливаемых харвестером, при общей площади трасс волоков и дорог не более 30 % при сплошных рубках и не более 15 % при выборочных, что соответствует требованиям НД;
2. Определены параметры грузового отсека, обеспечивающие полную загрузку форвардера при работе в насаждениях с разными

таксационными характеристиками, маневренность форвардера для выполнения лесоводственных требований по ширине волоков и дорог;

Благодарности: *Работа выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения №075-11-2019-030 от 22 ноября 2019 г.*

Литература

1. ГОСТ 9463-2016 «Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия»
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 27 июня 2016 г. № 367 «Об утверждении Видов лесосечных работ, порядка и последовательности их проведения, Формы технологической карты лесосечных работ, Формы акта осмотра лесосеки и Порядка осмотра лесосеки»
3. Ефимов Ю.В. Технология и машины лесосечных работ – Екатеринбург : Изд-во УГЛУ, 2019. – 46 с.
4. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загребев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалева. – М.: Колос, 1992. – 495 с.
5. Сюнёв В. С. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет: Учеб. пособие / В. С. Сюнёв, А.А. Селиверстов, Ю. Ю. Герасимов, А. П. Соколов. – Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2011. – 143 с.
6. Кушляев В. Ф. Лесозаготовительные машины манипуляторного типа / В. Ф. Кушляев. – М. : Лесная промыш-ленность, 1981. – 248 с.
7. Сюнёв В. С. Технологическое оборудование лесных машин : учебное пособие / В. С. Сюнёв. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2001. – 56 с.
8. ГОСТ 32594-2013 «Лесоматериалы круглые. Методы измерений»

References

1. GOST 9463-2016 «Lesomaterialy kruglye hvoynyh porod. Tehnicheskie uslovija»
2. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i jekologii RF ot 27 ijunja 2016 g. № 367 «Ob utverzhdenii Vidov lesosechnyh rabot, porjadka i posledovatel'nosti ih provedenija, Formy tehnologicheskoi karty lesosechnyh rabot, Formy akta osmotra lesoseki i Porjadka osmotra lesoseki»
3. Efimov Ju.V. Tehnologija i mashiny lesosechnyh rabot – Ekatiirenburg : Izd-vo UGLU, 2019. – 46 s.
4. Obshhhesojuznye normativy dlja taksacii lesov / V.V. Zagreev, V.I. Suhih, A.Z. Shvidenko, N.N. Gusev, A.G. Moshkalev. – M.: Kolos, 1992. – 495 s.
5. Sjunjov V. S. Lesosechnye mashiny v fokuse biojenergetiki: konstrukcii, proektirovanie, raschet: Ucheb. posobie / V. S. Sjunjov, A.A. Seliverstov, Ju. Ju. Gerasimov, A. P. Sokolov. – Jojensuu: NII lesa Finljandii METLA, 2011. – 143 s.
6. Kushljaev V. F. Lesozagotovitel'nye mashiny manipuljatornogo tipa / V. F. Kushljaev. – M. : Lesnaja promyshlennost', 1981. – 248 s.
7. Sjunjov V. S. Tehnologicheskoe oborudovanie lesnyh mashin : uchebnoe posobie / V. S. Sjunjov. – Petrozavodsk : Izd-vo PetrGU, 2001. – 56 s.
8. GOST 32594-2013 «Lesomaterialy kruglye. Metody izmerenij»