**Введение**

Сухопутный лесотранспорт играет важную роль не только в освоении лесосырьевой базы лесозаготовительного предприятия, но и внутрирайонных перевозок, успешно служит для выполнения лесохозяйственных, сельскохозяйственных и многих, других задач и целей. Даже после освоения лесосырьевой базы автомобильные дороги остаются и служат народному хозяйству того района, где они проходят. К основным особенностям сухопутного лесовозного транспорта относятся: собирательный характер работы лесовозных путей; одностороннее направление перевозки лесных грузов; сезонность работы многих участков сети лесовозных дорог; временный характер работы. Объектом исследований в данной работе является лесовозный автопоезд – одно из основных транспортных средств, применяемых для перевозки леса.

**1. Обоснование общей схемы автопоезда**

При обосновании общей схемы автопоезда необходимо определить его следующие параметры:

– реакции под осями автомобиля;

– количество ведущих осей автомобиля и его сцепной вес;

– расстояние между кониками;

– высоту стоек коника;

– высоту расположения центра тяжести гружёного автопоезда.

Кроме этого следует выбрать вариант ошиновки колес и шины.

**1.1 Общее количество осей автопоезда и реакции под ними**



Q – номинальная рейсовая нагрузка.

а) Распределяем вес груза между коником автомобиля и коником полуприцепа 



Qп/п – нагрузка приходящаяся на полуприцеп

Qа – нагрузка приходящаяся на автомобиль

б) На основании нагрузки приходящей на полуприцеп по графику (приложение 1 (1)) определяем собственный вес полуприцепа



Gп/п – вес полуприцепа

в) Определяем реакцию под колёсами полуприцепа.



г) Полуприцеп имеет две оси, т. к. реакция превышает допустимую нагрузку на одинарную ось, которая равна 60 кН

д) Определяем вес автомобиля примерно принимая его равным нагрузке, приходящейся на автомобиль.



Gа – вес автомобиля.

е) Распределяем вес автомобиля Gaмежду передней и задней осью и определяем реакции на них:

– на переднюю ось – 25кН

– на заднюю ось – 35кН



Проверка*:*







Рисунок 1.1 – Схема распределения сил и реакций

**1.2 Определение количества ведущих осей**

Количество ведущих осей определяет величину сцепного веса Gсц автопоезда, что в итоге влияет на опорно-сцепную проходимость. Поэтому при решении данной задачи автопоезд ставится в наиболее тяжелые условия с точки зрения проходимости:

– движение автопоезда с грузом по дороге с заданным коэффициентом сопротивления качению f на руководящий подъём sinα1 при минимальном коэффициенте сцепления колес с дорогой (min).





 – коэффициент сцепного веса

f – коэффициент сопротивления качению

sin1 – руководящий подъём в грузовом направлении

 – минимальный коэффициент сцепления с дорогой

Зная полный вес автопоезда Gап, можно определить минимальное значение сцепного веса GСЦ, при котором возможно движение в данных условиях.



GСЦ –сцепной вес автопоезда

Gап – полный вес автопоезда



Сравниваем полученное значение  с реакциями под ведущими колёсами автопоезда, и назначаем ведущие оси таким образом чтобы реакция между осями была больше сцепного веса

При условии: Rз ≥Gсц, то ведущими будут являться задние колеса тягача, колесная формула 6\*4

После этого необходимо уточнить действительное значение коэффициента сцепного веса:

,

где - реакция под ведущими осями автопоезда.



**1.3 Выбор шин**

Определим в соответствии с нагрузками на оси тип шин автомобиля и полуприцепа. Результаты расчёта сведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Результаты расчёта нагрузки на колеса при различных вариантах ошиновки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ось | Односкатнаяошиновка | Двухскатнаяошиновка |
| П.О | R1/2=25/2=12.5 кН |  |
| З.О | R2/2=85/4=21.25 кН | R2/8=85/8=10.62 кН |
| Оси полуприцепа | R3/4=96/4=24 кН | R3/8=96/8=12кН |

Исходя из полученных нагрузок на шины, выбирается вариант ошиновки, при котором нагрузка по осям будит примерно одинаковой.

Применяем двухскатную ошиновку для задних осей автомобиля и полуприцепа.

По наибольшей нагрузке на шины, выбираем шины по таблице в приложении 4 (1), и сводим техническую характеристику в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 - Техническая характеристика шин

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Обозначение |
| Обозначение шины | 220–508 р |
| Тип рисунка протектора | У |
| Вес шины, Н | 390 |
| Норма слойности | 8 |
| Наружный диаметр, мм | 928 |
| Статический радиус, мм | 440 |
| Ширина профиля (при допустимой нагрузке), мм | 217 |
| Нагрузка максимально допускаемая, Н | 12500 |
| Давление в шине, МПа | 0,6 |

**1.4 Расстояние между кониками и высота стоек коника**

При вывозке леса в сортиментах расстояние между опорно-сцепным устройством и осью колес полуприцепа вычисляется по формуле



*р* – нагрузка на полуприцеп, кН

L’’ – длина кузова полуприцепа, м

l0 – свес комлей с коника автомобиля, м;

=2\*2.5+0.5=5.5 м

n=L’/L=V/CГ/L=24/2.02\*2.5/2.5=1.9, принимаю n=2

Г-ширина коника в м, Г=2,5 м,

V=0,2\*Q=0,2\*120=24 м3

Высота стоек переднего коника рассчитывается по формуле

С=3.8–1.6\*0.928=2.02 м

**1.5 Высота расположения центра тяжести автопоезда**

Лесовозный автопоезд представляет собой трехмассовую систему, включающую вес автомобиля Ga, вес перевозимого груза Q и вес полуприцепа Gп/п.

Высота расположения центра тяжести гружёного автопоезда определяется по формуле:



Dк – наружный диаметр колеса (шины)

 – начальная высота погрузки



**2. Тяговый расчет автомобиля**

**2.1 Определение номинальной мощности двигателя**

Номинальная мощность двигателя определяется из условия возможности движения груженого автопоезда по горизонтальному участку дороги с заданным значением коэффициента сопротивлению качению f на прямой передаче в коробке перемены передач и высшей в раздаточной коробке при номинальном числе оборотов двигателя:

, кВт

Gап – полный вес автопоезда в гружённом состоянии (R1+R2), Н

f – коэффициент сопротивления качению,

V – скорость движения автомобиля на прямой (четвёртой) передаче, км/ч

F – лобовая площадь автопоезда, м2

 – коэффициент полезного действия трансмиссии 

, м2

m – коэффициент заполнения формы

В-ширина колеи автопоезда, м

Н – высота автопоезда по верхнему краю стойки коника, м

, м





 кВт

**2.2 Расчет и построение внешней скоростной характеристики двигателя**

Скоростные характеристики двигателя представляют собой зависимость эффективного крутящего момента, эффективной мощности от скорости вращения коленчатого вала.

Чтобы построить скоростные характеристики двигателя необходимо найти моменты и мощности при разных угловых скоростях коленчатого вала. Для этого берём интервал угловой скорости 1100–2100 об/мин, и делим его на шесть равных частей. При каждом значении угловой скорости рассчитываем мощности.

, кВт

, кВт

, кВт

, кВт

, кВт

, кВт

, кВт

После определения номинальной мощности двигателя, необходимо найти номинальный крутящий момент:



Номинальный момент определяется при номинальных оборотах двигателя (nн=2100 об/мин)













Результаты вычислений сводим в таблицу 2.1

Таблица 2.1 – Результаты расчёта мощностей и моментов

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ni, об/мин | 1100 | 1300 | 1500 | 1700 | 1900 | 2100 |
| Nе, кВт | 72.7 | 85.9 | 97.5 | 106.9 | 113.7 | 117 |
| Ме, Н м | 631.2 | 631 | 620 | 601 | 571.5 | 532 |

**2.3 Выбор передаточных чисел трансмиссии**

При выборе передаточных чисел трансмиссии рекомендуется руководствоваться следующим:

*Главная передача:*

Передаточное число главной передачи должно обеспечить максимальную скорость движения автопоезда при включении пятой передачи в коробке перемены передач.

, км/ч

rд – динамический радиус колеса, м.

 м

rст – статический радиус колеса, м





Коробка перемены передач:

передаточные числа в коробке переменных передач нужно назначать с учетом того, что -выбрано заранее, передаточное число четвёртой передачи должно быть равно 1.

Определение значения динамического фактора













Рассчитаем iтр из формулы:



Результаты расчёта передаточных чисел сводим в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – Передаточные числа трансмиссии

|  |  |
| --- | --- |
| Элемент сил. передачи | Передаточные числа |
| Главная передача | 5.56 |
| КПП | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4.83 | 2.86 | 1.69 | 1 | 0.7 |
| Тр-ия вцелом | 26.85 | 15.9 | 9.89 | 5.56 | 3.89 |

Основой для составления кинематической схемы является колёсная формула автомобиля, на основании которой в начале составляется блок-схемы силовой передачи, а затем проводится насыщение её составляющих с использованием методических указаний «Кинематические схемы лесотранспортных машин».

**2.4 Расчет тяговой характеристики**

Тяговая характеристика представляет собой графическую зависимость  на различных передачах и является основным документом, характеризующим тягово-динамические качества автомобиля.

Расчет ведется на всех пяти передачах КПП. Касательная сила тяги рассчитывается по формуле:

, Н

Для каждого значения частоты вращения коленчатого вала рассчитываем скорость движения автопоезда.

, км/ч

Результаты вычисления занесём в таблицу 2.3

Таблица 2.3 - Значения скоростей и касательных сил тяги автопоезда

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №(\*) | Ме, Нм | n. об/мин | Параметр | Передача КПП |
|  |  |  |  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 631.2 | 1100 | VP | 6.4532290 | 10.919121 | 18.4611292 | 31.186686 | 44.564678 |
| 2 | 631 | 1300 | VP | 7.6331787 | 12.8818823 | 21.8211116 | 36.846582 | 52.664605 |
| 3 | 620 | 1500 | VP | 8.831389 | 14.8618585 | 25.1710976 | 42.516499 | 60.764547 |
| 4 | 601 | 1700 | VP | 9.9830228 | 16.8517950 | 28.5310571 | 41.186259 | 68.874379 |
| 5 | 571.5 | 1900 | VP | 11.1528819 | 18.8317066 | 31.8910079 | 53.855968 | 76.974175 |
| 6 | 532 | 2100 | VP | 12.3226757 | 20.8115845 | 35.249357 | 59.525541 | 853876 |
| 7 | 0 | 2300 | V | 13.5 | 22.79 | 38.6 | 65.19 | 93.17 |

**2.5 Построение динамической характеристики**

При анализе тяговых свойств автопоезда удобнее пользоваться динамической характеристикой, выражающей зависимость динамического фактора от скорости движения D=f(Va).

Как известно, динамический фактор характеризует удельную силу тяги, которую может развивать автопоезд на различных передачах:

,

где Gап – вес автопоезда, Н.

Таким образом, динамическую характеристику можно получить путем трансформации тяговой характеристики, у которой по оси ординат в соответствующем масштабе отложен динамический фактор.

Методика построения: на оси касательной силы тяги найти значение, равное

,

и снести эту точку влево до пересечения с осью динамического фактора в груженом состоянии автопоезда.

В точке пересечения значение динамического фактора будет равно 0,1. Имея это значение и соответствующую ему длину, составляем шкалу динамического фактора в груженом состоянии.

Аналогичным образом поступаем при разбивке шкалы динамического фактора в порожнем состоянии. В этом случае на оси касательной силы тяги находится значение

.

Соединяем одинаковые значения динамического фактора на обеих шкалах динамического фактора и получаем универсальную динамическую характеристику.

**2.6 Построение номограммы «Тяговая характеристика автомобиля – многопараметровая характеристика двигателя»**

Лист миллиметровой бумаги формата А1 делится примерно на 3 части. Слева на 2/3 формата проводятся две взаимно перпендикулярные прямые. Это будут оси номограммы. Графики А, Б, В, Г связаны между собой по координатным осям (для каждых двух соседних графиков одна ось общая).

На графике А строится тяговая и универсальная динамические характеристики автопоезда по методике, изложенной в пунктах 2.4 и 2.5.

На графике Б проводятся лучи в соответствии с уравнением:



а=0,1Мен – крутящий момент двигателя, затрачиваемый на работу служебных агрегатов (вентилятор, компрессор, глушитель и т.д.).

На графике Г строятся лучи в соответствии с уравнением:



Многопараметровая характеристика двигателя (график В), представляющая собой зависимость удельного расхода топлива gе в функции нагрузочного Ме и скоростного n режимов работы, снимается экспериментально.

На оставшейся части формата А1 должны быть размещены график мощностного баланса и характеристика топливной экономичности (лист 2).

**3. Анализ тяговых свойств автопоезда**

**3.1 Расчет сил сопротивления движению**

На графике А номограммы строится кривая суммарных сил сопротивления движению на горизонтальном участке дороги для двух весовых состояний автопоезда (с номинальной нагрузкой и порожняком) по формуле:

, Н

Для порожнего состояния: G=Gа-Q=86 кН

Для гружёного состояния: G=Gа/п=206 кН

Результаты расчётов сводим в таблицу 3.1

Таблица 3.1 – Силы сопротивления движению

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Рсопргр | 4120 | 4153 | 4254 | 4422 | 4657 | 4960 | 5329 | 5766 | 6270 | 6841 |
| Рсопрпор | 1720 | 1753 | 1854 | 2022 | 2257 | 2560 | 2929 | 3366 | 3870 | 4441 |

**3.2 Анализ тяговых свойств по тяговой характеристике**

Анализ тяговых свойств автопоезда заключается в решении конкретных задач по определению возможности движения автопоезда в различных условиях, определению преодолеваемых уклонов, развиваемых при движении ускорений, и.т.д.

**Задача №1:** Определить передачи, на которых возможно движение автопоезда в заданных условиях:

а) в груженом состоянии;

б) в порожнем состоянии.

Тяговая характеристика автопоезда

Движение возможно на тех передачах, которые лежат выше суммарной силы сопротивления:



а) 1,2,3,4 передачи

б) на всех передачах.

**Задача №2:** Определить скорость, при которой груженый автопоезд будет равномерно двигаться при полной подаче топлива в цилиндры.

Эта скорость определяется в точке пересечения суммарных сил сопротивления и тяговой характеристики.

V=59.4 км/ч

**Задача №3:** Определить уклон, преодолеваемый автопоездом при движении: а) с грузом на 3-й передаче;

б) без груза на 4-й передаче.

Определяем по графику, на сколько касательная сила тяги превышает силу сопротивления движению, запас силы тяги расходуется на преодоление уклона



С грузом на третьей передаче:

Pi = 7.2 кН



Без груза на четвертой передаче:

Рi =4.6 кН



**Задача №4:** Определить максимальное ускорение, развиваемое автопоездом при движении:

а) с грузом на 2-й передаче;

б) без груза на 3-й передаче.

Определяем по графику, на сколько касательная сила тяги превышает силу сопротивления движению, запас силы тяги расходуется на создание ускорения







– с грузом на 2-й передаче

Рj=15 кН





– без груза на 3-й передаче

Pj=9.46 кН





**3.3 Анализ тяговых свойств по динамической характеристике**

**Задача №3:** Определить уклон, преодолеваемый автопоездом при движении

а) с грузом на 3-й передаче;

б) без груза на 4-й передаче.

Универсальная динамическая характеристика автопоезда

На динамической характеристике на шкалах динамического фактора при движении автопоезда без груза и динамического фактора при движении автопоезда с грузом находим значение коэффициента сцепления f=0.03.

Для определения запаса динамического фактора вычитаем из динамического фактора, который соответствует максимальной силе тяги для данной передачи, значение коэффициента сцепления. Полученное значение запаса динамического фактора в данном случае, тратится на преодоление уклона.



– с грузом на 3-й передаче

imax=0.056–0.02=36%

– без груза на 4-й передаче

imax=0.073–0.02=53%

**Задача №4:** Определить максимальное ускорение, развиваемое автопоездом при:

а) с грузом на 2-й передаче;

б) без груза на 3-й передаче.

Для определения запаса динамического фактора вычитаем из динамического фактора, который соответствует максимальной силе тяги для данной передачи, значение коэффициента сцепления. Полученное значение запаса динамического фактора тратиться на создание ускорения.







– с грузом на 2-й передаче



– без груза на 3-й передаче



Таблица 3.2 Результаты анализа тяговых свойств автопоезда по тяговой и динамической характеристике

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | По тяговой характеристике | По динамической характеристике |
| 1. Передача на которой возможно движение:– с грузом– без груза | – на 1,2,3,4– на всех передачах | - |
| 2. Скорость при равномерном движении с полной подачей топлива | Vа=59.4 км/ч | - |
| 3. Максимальный уклон:– с грузом на 3-й передаче– без груза на 4-й передаче | i=34% оi=53% о | i=36% oi=53% o |
| 4. Максимальное ускорение– с грузом на 2-й передаче– без груза на 3-й передаче | jmax=0.49jmax=0.91 | jmax=0.49jmax=0.91 |

**4. Анализ эксплуатационных свойств**

Анализ эксплуатационных свойств автопоезда включает в себя анализ топливной экономичности, мощностной баланс, анализ движения автопоезда при повороте, расчет и анализ показателей торможения и разгона.

**4.1 Топливная экономичность и мощностной баланс**

Для анализа топливной экономичности и мощностного баланса выбраны следующие режимы движения:

– движение с номинальной нагрузкой на 4-й передаче;

– движение с номинальной нагрузкой на 3-й передаче;

– движение без груза на 5-й передаче.

На каждом из анализируемых режимов необходимо нанести минимум 5 точек, крайние из которых означают минимальную и максимальную скорость на анализируемом режиме. Остальные точки равномерно распределяются между ними. Пользуясь построенными графиками, для каждой точки необходимо определить силу сопротивления движению, скорость автопоезда, крутящий момент на коленчатом валу, частоту вращения коленчатого вала, удельный расход топлива ge. Имея значения крутящего момента и частоту вращения коленчатого вала, необходимо для каждой точки рассчитать значение мощности по формуле



По полученным данным строим график мощностного баланса (лист 2).

По полученным значениям мощности и удельного расхода топлива для каждой точки необходимо рассчитать часовой расход топлива:

, л/ч

Зная скорость движения и удельный вес топлива  (для дизельного топлива), можно определить расход топлива на единицу пути:

, л/100 км

При проведении расчётов мощности результаты сводим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчёта мощностного баланса и топливной экономичности

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Режимдвижения | № | Рсопр, Н | V, км/ч | Ме, Нм | N, об/ мин | Nе, кВТ | gе | Qч | QКМ |
| 3передачас грузом | 12345 | 41734239431844064485 | 18.4622.626.930.135.24 | 278281285289293 | 11001343161018652100 | 32.0239.548.0756.464.4 | 214200192194212 | 6.857.99.210.913.6 | 44.241.640.8243.346.1 |
| 4передачас грузом | 12345 | 44074556475650025258 | 31.1838.245.352.459.52 | 446459476497519 | 11001343161018652100 | 51.3764.580.297.05114 | 194186181183190 | 9.91214.517.821.7 | 38.0537.438.240.3543.4 |
| 5передача без груза | 12345 | 23772714305234043723 | 44.5654.764.874.985 | 358400442485525 | 11001343161018652100 | 41.2356.274.594.5115.4 | 193183177183189 | 7.910.2913.217.321.9 | 21.222.424.227.530.7 |

График зависимости Qкм от V (характеристика топливной экономичности) для каждого из трёх случаев строим в правом нижнем углу второго листа.

**4.2 Устойчивость движения автопоезда на повороте**

При движении автопоезда на повороте и увеличении скорости движения возможны два события: автопоезд или опрокинется, или сползет юзом в кювет.

Критическая скорость по опрокидыванию определяется по формуле

, км/ч

Критическая скорость по заносу:

, км/ч

Затем следует определить, при каком коэффициенте сцепления φсц опрокидывание занос будут равновероятны:



В-ширина колеи автомобиля

h – высота расположения центра тяжести гружёного автомобиля, м

R – минимальный радиус кривой (R=20 м)

 – минимальный коэффициент сцепления (=0,3)

 км/ч

 км/ч

Скорость заноса меньше скорости опрокидывания и поэтому занос автопоезда более. вероятен.



При этом значении скорость возрастает до скорости опрокидывания и события опрокидывание и занос станут равновероятными.

**4.3 Расчет и анализ показателей торможения**

Показатели торможения рассчитываются для рабочей тормозной системы и горного тормоза.

Для рабочей тормозной системы рассчитывается тормозной и остановочный путь автопоезда при его торможении с определенной скорости до полной остановки с грузом и без груза.

Тормозной путь:

, м

GT – вес приходящийся на тормозные оси

VT – скорость в начале торможения (VT=30 км/ч)

 – коэффициент сцепления при торможении (=0,4)

sinα2 – величина спуска дороги при торможении (sinα2=0,05)

Полный остаточный путь в груженом состоянии

, м

t1, t2 – время реакции водителя и срабатывания привода тормозов соответственно (t1=1 с, t2=0,7 с).

Определяем тормозной путь автопоезда в гружёном и в порожнем состояниях:

м

м

Определяем полный остановочный путь в груженом

 м

Наивысшую передачу, на которой возможно равномерное движение гружёного лесовозного автопоезда на затяжном спуске без использования колёсных тормозов, можно определить из формулы:



 – обратный К.П.Д. трансмиссии для полно приводных автомобилей (=0,85)

МТ – тормозной момент двигателя

, н\*м

Из формулы выражаем iкпп и находим его:





*Вывод:* Передаточное отношение соответствует второй передаче (iкпп2=2.86), поэтому на спуске желательно спускаться на второй передаче.

**4.4 Показатели разгона автопоезда**

Для анализа показателей разгона автопоезда принят режим его движения с грузом на 3-й передаче со скоростью, равной половине максимальной скорости на данной передаче (0,5Vmax3). В этих условиях устанавливается максимальная подача топлива, производится разгон автопоезда до максимальной скорости на 3-й передаче Vmax3.

Среднее ускорение для всего диапазона разгона считаем одинаковым, для его подсчёта пользуемся формулой:

, м/с2

Dгр – максимальный динамический фактор автопоезда с грузом на 3-й передаче; – коэффициент учёта вращающихся масс





Следовательно, среднее ускорение равно:

 м/с2

Общее время разгона определяется по формуле:



Vmax – максимальная скорость на третьей передаче (выбираем из таблицы 2.3. Vmax=28.85 км/ч).

 с

Пройденный путь за время разгона:



 м

**Список использованных источников**

1. Лесовозный автопоезд: Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности «Машины и оборудование лесного комплекса» / сост. Н.А. Иванов, Д.А. Шаморов. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан.гос. ун-та, 2007. – 36 с
2. Лесные машины: Учебник для ВУЗов /Анисимов Г.М., Жендаев С.Г., Жуков А.В. – М.:Лесная промышленность, 1989 – 512 с.
3. Автомобильный справочник: НИИАТ.