

УДК 629.1

UDC 629.1

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ
ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА**

**SUBSTANTIATION OF MODERNIZED TRUCK-
AND-TRAILER DESIGN EFFICIENCY**

Васильев Алексей Сергеевич
к.т.н., доцент

Vasiliev Aleksey Sergeevich
Dr.Sci.Tech., associate professor

Шегельман Илья Романович
д.т.н., проф.

Shegelman Iliia Romanovich
Dr.Sci.Tech., professor

Скрыпник Владимир Иванович
ведущий инженер
*Петрозаводский государственный университет,
Петрозаводск, Россия*

Skripnik Vladimir Ivanovich
chief engineer
Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

Показана возможность повышения производительности транспортных операций леса за счет использования автопоездов высокой проходимости с активными прицепами

The possibility of timber underway operations productivity increase through using cross-country truck-and-trailer combination sets with active trailers is given

Ключевые слова: АВТОПОЕЗД, АКТИВНЫЙ ПРИЦЕП, ТРАНСПОРТ ЛЕСА

Keywords: TRUCK-AND-TRAILER; ACTIVE TRAILER; TIMBER TRANSPORTATION

Одной из возможностей снижения себестоимости лесоматериалов является снижение расходов на вывозку древесины от мест заготовки к потребителю лесовозными автопоездами – сортиментовозами. Как известно применение лесовозных автопоездов, включающих автомобиль-тягач и прицеп, позволяет более полно использовать мощность двигателя и существенно увеличить объем и массу перевозимого за один рейс груза, а, следовательно, и снизить себестоимость перевозки грузов [1], [2], [3], [5]. Не исключением являются и сортиментовозы, поэтому подавляющее большинство из них эксплуатируется в составе автопоезда.

Лесовозные автопоезда эксплуатируются в сложных дорожных условиях, не только на дорогах общего пользования, магистральных дорогах имеющим хорошее дорожное покрытие, но и по временным дорогам – веткам и усам, которые, как правило, имеют упрощенное дорожное покрытие, а при дефиците дорожно-строительных материалов и без него. Поэтому у них в качестве тягачей используются автомобили повышенной проходимости с колесной формулой 6х6 или 4х4 [1], [2], [8]. Современные лесовоз-

ные автопоезда развивают значительное тяговое усилие по двигателю, обеспечивающее трогание с места и движение на всех категориях дорог. Однако, для движения на дорогах низших категорий и трогания с места на крутых уклонах автопоезда даже на базе автомобилей высокой проходимости со всеми ведущими колесами, при комплектации их четырехосными прицепами имеют недостаточную проходимость из-за низкого коэффициента сцепного веса и, соответственно, недостаточного тягового усилия по сцеплению [7].

Поэтому перед лесозаготовительными предприятиями возникает дилемма что выбрать: автопоезд-сортиментовоз, способный передвигаться с высокой скоростью по дорогам с хорошим дорожным покрытием и везущий на себе в два-три раза больше груза, чем автомобиль без прицепа, но не способный заезжать к погрузочным площадкам, расположенным у лесосек из-за недостаточной проходимости или автомобиль-сортиментовоз без прицепа способный заезжать к погрузочным площадкам у лесосеки, но везущий на себе значительно меньший груз, чем автопоезд с таким же автомобилем-тягачом.

Движение транспортного средства из условия отсутствия буксования в математической форме выражается следующим образом:

$$G_{\tilde{n}\ddot{o}} \cdot j > G_a(i + f). \quad (1)$$

где $G_{\tilde{n}\ddot{o}}$ – сцепная масса автопоезда, приходящаяся на ведущие колеса, кг; j – коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой; G_a – полная масса автопоезда, кг; i – продольный уклон дороги, ‰; f – коэффициент сопротивления качению колес по дорожному покрытию.

Из уравнения (1) выразим коэффициент сцепной массы ($q_{\tilde{n}\ddot{o}}$), определяемый отношением сцепной массы автопоезда, приходящейся на ведущие колеса, к полной массе автопоезда:

$$q_{\tilde{n}\ddot{o}} = \frac{G_{\tilde{n}\ddot{o}}}{G_a} > \frac{i+f}{j}. \quad (2)$$

В уравнение (2) введем обозначение

$$i+f = \psi, \quad (3)$$

где y – суммарное дорожное сопротивление.

Тогда уравнение (2) с учетом (3) примет вид

$$q_{\tilde{n}\ddot{o}} > \frac{y}{j}. \quad (4)$$

Согласно уравнению (4) у одиночных, т. е. используемых без прицепа, полноприводных транспортных средств коэффициент сцепной массы равен единице, т. е. имеет наибольшее значение, а в случае использования этого же транспортного средства в составе автопоезда снижается с увеличением полной массы используемого прицепа при тех же самых дорожных условиях.

Согласно уравнению (4) задавая значения суммарного дорожного сопротивления и коэффициента сцепления ведущих колес с дорогой с учетом уравнения (4), можно определять для конкретных условий движения требуемое значение сцепной массы, а, следовательно, и допускаемую по условию отсутствия буксования полную массу автопоезда:

$$G_{\dot{a}} = \frac{G_{\tilde{n}\ddot{o}}}{q_{\tilde{n}\ddot{o}}}. \quad (5)$$

Согласно данным [1], [3] для лесовозных автопоездов рекомендуемые значения коэффициента сцепной массы должны быть не менее: при необходимости заезда на лесовозные усы в плохом состоянии – 0,6; на усах в удовлетворительном состоянии – 0,5; на ветках и магистралях – 0,4–0,45; на снежно-ледяных магистралях в хорошем состоянии при низких температурах (без захода на усы) – 0,3–0,35.

При использовании в качестве тягачей у автопоездов с четырехосным колесным прицепом автомобилей с колесной формулой бхб (колесная формула автопоезда 14хб) коэффициент сцепной массы составляет 0,411.

Таким образом, вывозка леса автопоездами с четырёхосными прицепами по временным лесовозным дорогам (усам), даже при использовании тягачей с колёсной формулой бхб, практически не возможна, а при движении на ветках и магистралях затруднена, особенно при трогании с места после остановок на подъёмах. В связи с вышесказанным лесозаготовители, как правило, используют двухступенчатую вывозку леса, которая осуществляется по одной из двух ниже приведенных схем.

При работе автопоездов с четырехосными прицепами по первой схеме двухступенчатой вывозки, в месте примыкания ветки или уса к магистрали прицеп автопоезда отцепляется и по усу на лесосеку автомобиль движется без прицепа, затем автомобиль с использованием манипулятора загружается, доставляет сортименты к месту стоянки прицепа, перегружает их на прицеп. Эта операция повторяется два раза. В третий раз автомобиль загружается на лесосеке и возвращается к месту стоянки прицепа, присоединяет его и транспортирует лес к месту назначения.

Данный вариант двухступенчатой вывозки обычно применяется при транспортировке леса к потребителям автопоездами лесозаготовительного предприятия.

При вывозке леса автопоездами крупных лесоперерабатывающих предприятий (целлюлозно-бумажных, лесопильных комбинатов и др.) такая схема, как правило, неприменима, так как потребители, являющиеся собственниками транспортных средств хотят быть уверены, что при любых погодных и других природно-производственных условиях их автопоезда будут эффективно использоваться.

В этом случае применяется второй способ двухступенчатой вывозки леса, при котором с лесосеки на промежуточные склады, расположенные у

магистральных лесовозных дорог круглогодичного действия, сортименты перевозятся автопоездами среднего класса на базе автомобилей высокой проходимости с колёсной формулой бхб на расстояние в среднем 20–50 км. С промежуточного склада транспортировка осуществляется автопоездами на базе автомобилей с колесной формулой бх2, бх4 большой грузоподъёмности, обладающими высокими скоростными качествами.

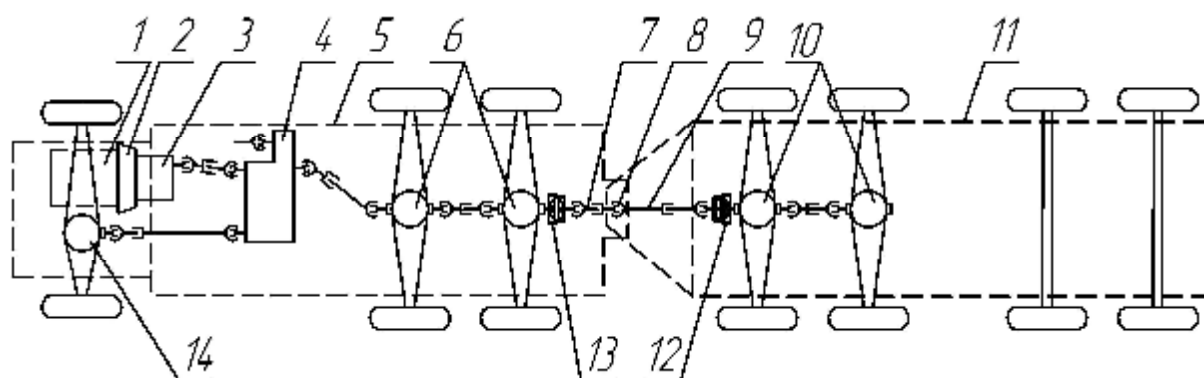
Поскольку при двухступенчатой вывозке значительно повышаются затраты актуальной задачей является создание таких автопоездов, которые позволят вывозить лес с лесосеки к потребителю без дополнительных перегрузочных операций, т.е. в один этап вместо двух. Для этого автопоезда должны обладать повышенной проходимостью при преодолении труднопроходимых участков дорог и в то же время передвигаться с высокой скоростью по дорогам с хорошим дорожным покрытием, т.е. быть эффективными как на дорогах постоянного действия (дороги общего пользования, магистрали), так и на временных лесовозных дорогах (ветках, усах).

Повысить проходимость лесовозных автопоездов можно за счет увеличения числа приводных колес, чего можно добиться путем использования в составе автопоезда активного прицепа, т. е. прицепа у которого часть (или все колеса) будут ведущими. К примеру, коэффициенты сцепной массы автопоезда с четырехосным прицепом на базе автомобиля с колесной формулой бхб без активного прицепа (колесная формула автопоезда 14хб) составляет 0,411, а с активным прицепом 0,706, т. е. выше в 1,72 раза.

Сложность конструктивного исполнения автопоезда с активным прицепом заключается в необходимости передачи вращающего момента от двигателя автомобиля тягача к ведущим колесам прицепа с учетом обеспечения одинаковой угловой скорости вращения ведущих колес автомобиля тягача и прицепа, а также возможности прицепа изменять угол порота относительно автомобиля тягача в вертикальной и горизонтальной плоскостях при движении и маневрировании.

Следует отметить, что несмотря на многообразие различных конструктивных исполнений трансмиссий грузовых транспортных средств и способов активации колес их прицепных устройств (прицепы, роспуски, полуприцепы и т.д.) автопоезда с активными прицепами не нашли широкого применения. Обычно такие автопоезда за счет высокой сцепной массой обладают высокой проходимостью при движении по бездорожью, но при этом при движении по дорогам с хорошим дорожным покрытием имеют весьма скромные показатели (невысокая скорость передвижения, повышенный расход топлива и т. п.).

Во избежание вышеуказанных недостатков на основе функционально-технологического анализа [9], [10] разработан вариант исполнения трансмиссии автопоезда с механическим приводом активного прицепа, защищенный патентом на полезную модель [4], [7], [8] (рисунок 1).



1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – коробка перемены передач; 4 – раздаточная коробка; 5 – тягач; 6 – задний мост тягача; 7, 9 – карданные валы; 8 – карданный шарнир; 10 – передний мост прицепа; 11 – прицеп; 12, 13 – муфты; 14 – передний мост тягача

Рисунок 1 – Автопоезд с механическим приводом активного прицепа

Достоинства предлагаемой конструкции трансмиссии автопоезда с механическим приводом активного прицепа заключаются в следующем:

– привод активного прицепа является не постоянным, а подключаемым, т. е. при движении в тяжелых дорожных условиях (по труднопроходимым дорогам, по дорогам с низким значением коэффициента сцепления, вне дорог), когда тягового усилия ведущих колес тягача не хватает водителю посредством пневматических муфт 12, 13 включает его, обеспечивая передачу крутящего момента с проходного вала заднего ведущего моста тягача, через карданные валы, на ведущий передний мост активного прицепа, обеспечивая такую же скорость вращения и такое же тяговое усилие на ведущих колесах активного прицепа, как и на ведущих колесах тягача. В результате за счет увеличения числа приводных колес автопоезда увеличивается его сцепная масса и существенно возрастает его проходимость;

– наличие двух пневматических муфт 12 и 13 дает возможность при отключении механического привода ведущих колес прицепа избегать вращения карданных валов, приводимых бы в движение от вращения колес прицепа, что способствует увеличению срока службы карданных шарниров, исключению потерь мощности на их вращение, а, следовательно, более высоким коэффициенту полезного действия, надежности и сроку службы по сравнению с другими конструкциями механического привода активного прицепа. В результате автопоезд может перемещаться по дорогам с хорошим дорожным покрытием с высокой скоростью;

– в качестве ведущего моста активного прицепа используется такой же мост с проходным валом как и на тягаче, что упрощает и удешевляет процесс изготовления данного автопоезда, а также является залогом надежности приводного моста прицепа;

– предлагаемая конструкция привода ведущих колес прицепа позволяет без дополнительных редукторов и коробок передач, передавать крутящий момент и мощность на приводной мост прицепа. При этом на любой пере-

даче число оборотов ведущих колес автомобиля и прицепа одинаково, кроме того в зависимости от дорожных условий, дифференциалы на ведущих мостах автомобиля и прицепа могут одновременно включаться и выключаться;

– наличие карданного шарнира в плоскости сочленения тягача и прицепа позволяет передавать крутящий момент при значительных углах поворота автомобиля относительно прицепа в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

– активный прицеп с предлагаемой конструкцией механического привода ведущих колес способен обеспечить устойчивую работу автопоездов в тяжелых условиях эксплуатации с повышением полезной нагрузки и будет способствовать повышению безопасности движения на крутых и длинных склонах, так как позволяет избежать складывания автопоезда, заключающееся в значительном смещении прицепа относительно автомобиля-тягача при торможении двигателем или моторным тормозом.

В зависимости от числа передач в коробке перемены передач (КПП) автомобиля механический привод активного прицепа достаточно эффективно используется: на 1-3 передачах в автомобилях с пятиступенчатой КПП; на 1-4 передачах в автомобилях с 9-10 ступенчатой КПП; на 1-6 передачах в автомобилях с 12-16 ступенчатой КПП, а также на обеих передачах заднего хода. При движении на последующих передачах и в благоприятных условиях движения тяговое усилие по двигателю, меньше, чем тяговое усилие по сцеплению, поэтому использование привода активного прицепа не требуется и он отключается водителем.

На рисунке 2 приведен график, иллюстрирующий возможности лесовозных автопоездов с четырехосным и двухосным прицепами и различной колесной формулой.

С целью решения задачи повышения транспорта леса специалистами Карельского научно-исследовательского института лесопромышленного

комплекса (КарНИИЛПК) была разработана программа для ПЭВМ позволяющая моделировать движение лесовозных автопоездов на конкретных автодорогах [6]. С использованием этой программы определены производительность автопоездов и себестоимость вывозки сортиментов при вывозке их на нижние склады лесозаготовительных предприятий и непосредственно потребителям по различным технологическим схемам.

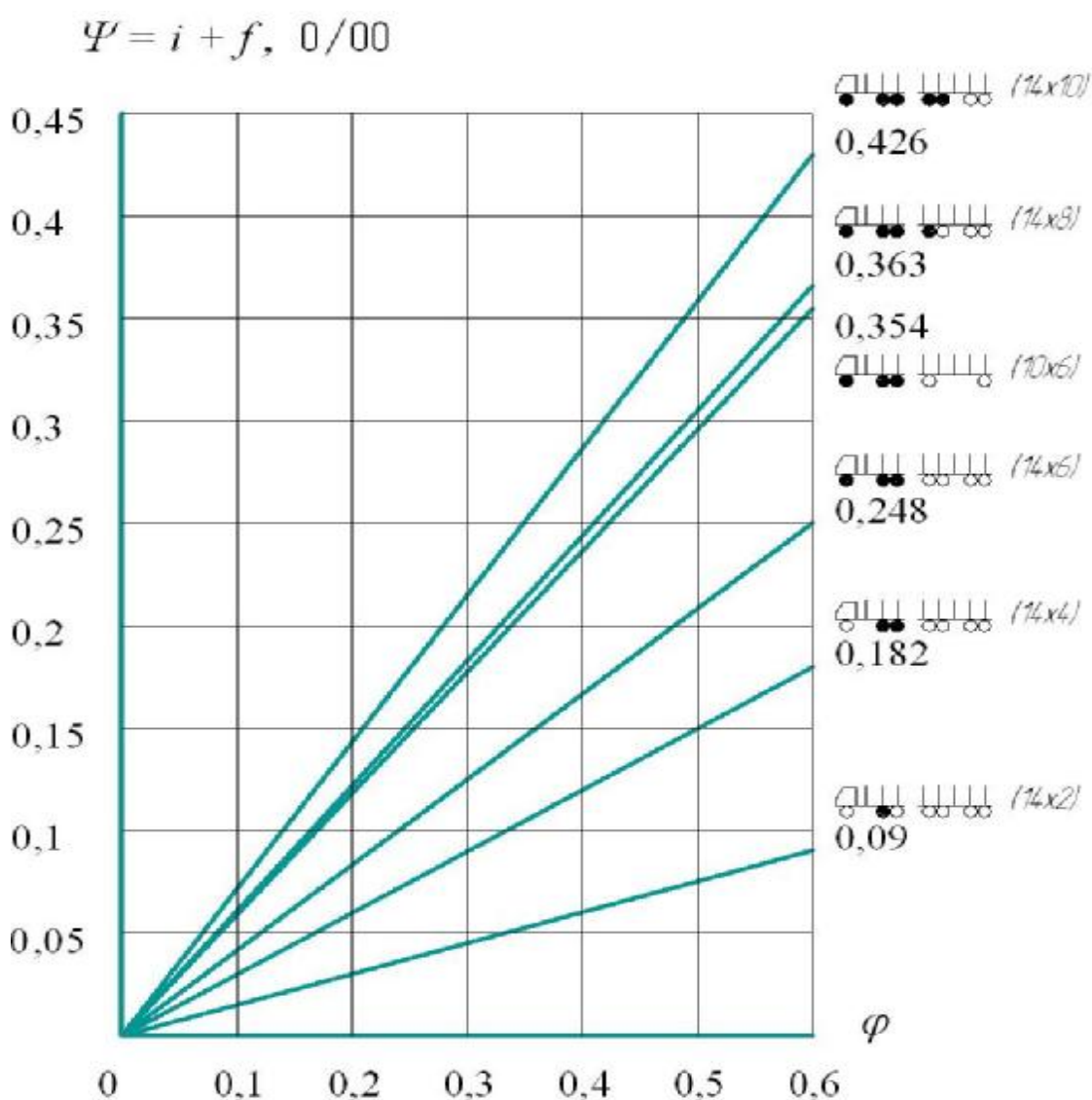


Рисунок 2 – График возможностей лесовозных автопоездов в преодолении суммарного дорожного сопротивления при различных коэффициентах сцепления ведущих колес с дорогой

Расчеты показали, что при вывозке леса потребителям на расстояние от 80 до 640 км наибольшую производительность и наименьшую себестоимость вывозки имеют автопоезда, состоящие из автомобиля тягача с колесной формулой 6х6 и активного четырехосного прицепа (колесная формула автопоезда 14х10) (рисунки 3, 4, 5, 6). Производительность таких автопоездов выше, чем автопоездов на базе автомобилей той же мощности, но без активного привода четырехосного прицепа, работающих по схеме двухступенчатой вывозки, при расстоянии транспортировки 80 км на 43 %, на 26 % при расстоянии 320 км и на 17 % при расстоянии 640 км при этом себестоимость вывозки леса автопоездами с колесной формулой 14х10 ниже в среднем на 20 % или на 58 руб. на 1 м³. Такой экономический эффект достигается за счет упразднения 2-х ступенчатой схемы вывозки.

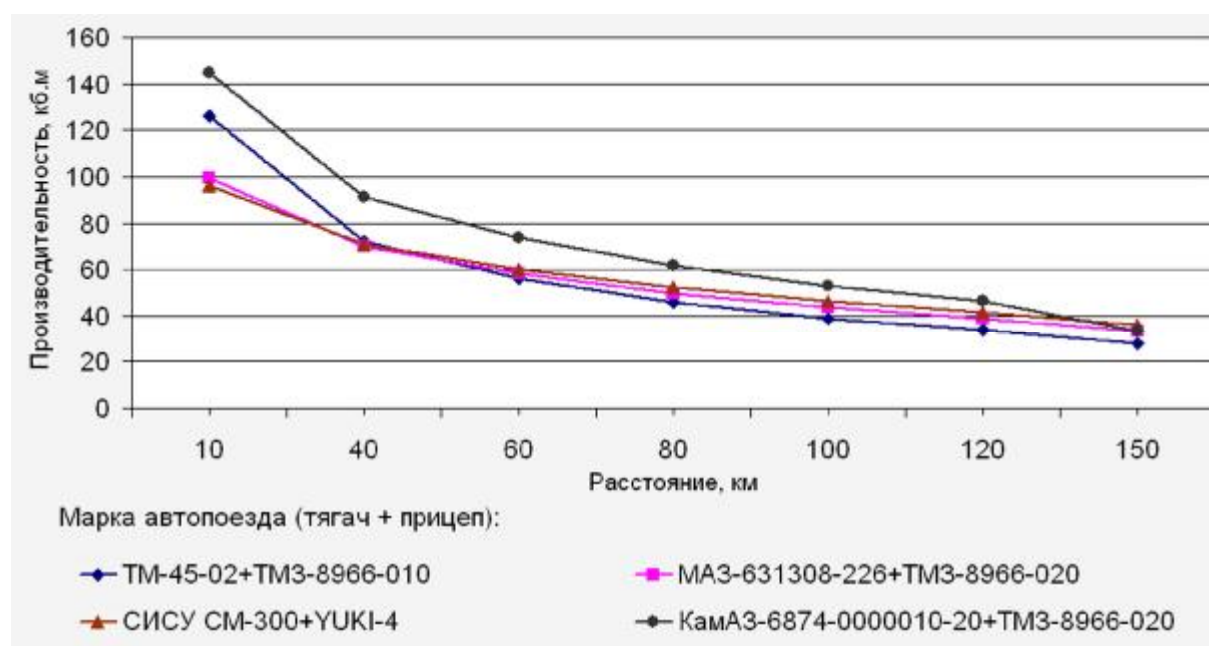


Рисунок 3 –Зависимость производительности автопоездов от расстояния вывозки леса

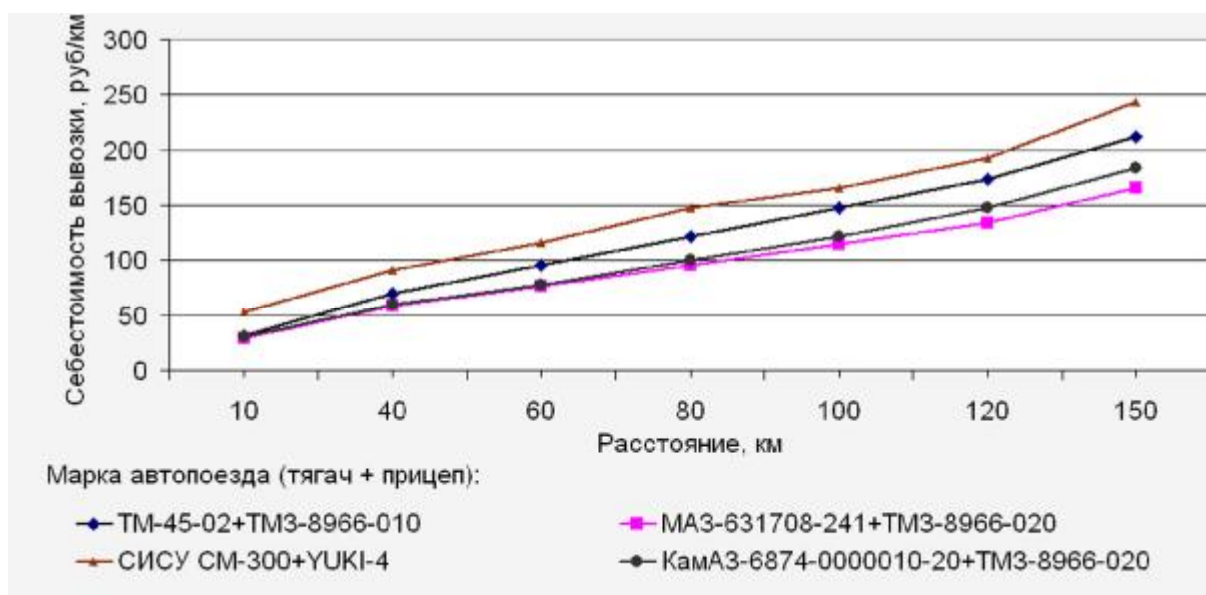


Рисунок 4 –Зависимость себестоимость вывозки леса автопоездами от расстояния вывозки

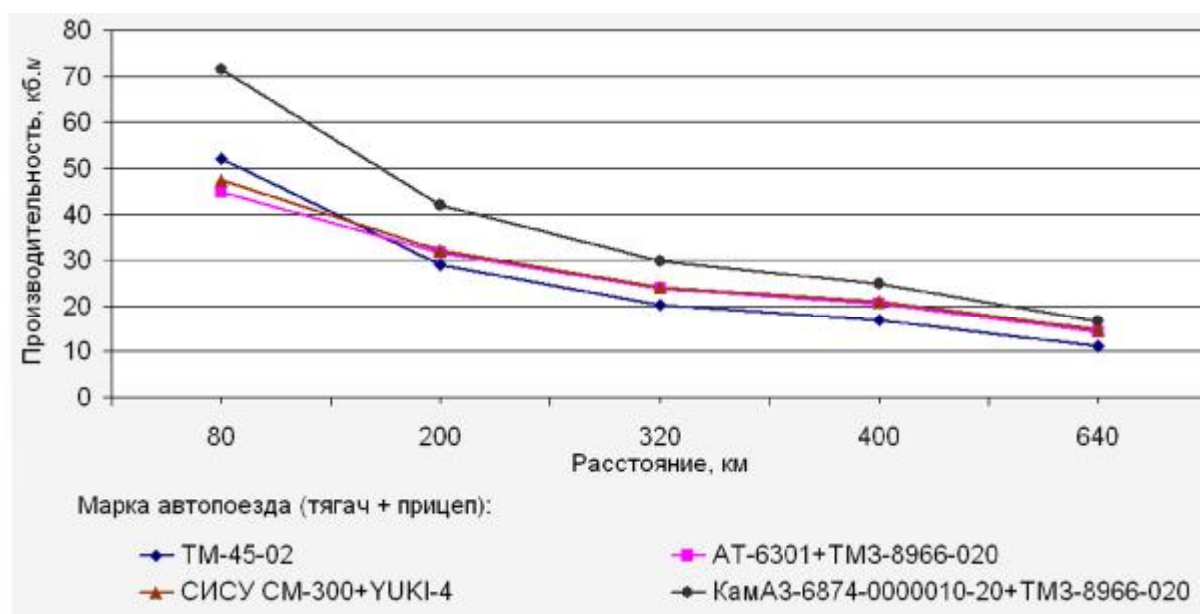


Рисунок 5 –Зависимость производительности автопоездов от расстояния вывозки леса

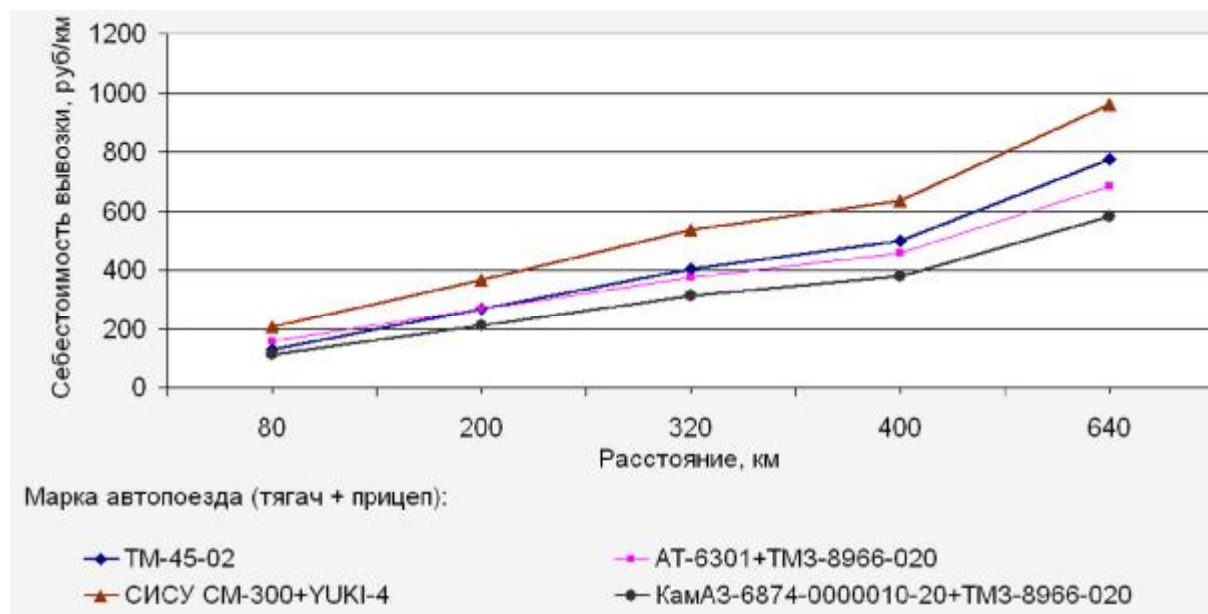


Рисунок 6 –Зависимость себестоимости автопоездами от расстояния вывозки леса

Проведенными расчетами доказано, что лесовозные автопоезда на базе полноприводных автомобилей мощностью двигателя 400-450 л.с. с четырехосным активным прицепом могут обеспечивать устойчивую работу на вывозке леса с заездом и к погрузочным пунктам в пределах лесосеки по временным дорогам (усам) и движение на магистральных дорогах лесозаготовительных предприятий и дорогам общего пользования.

Работа выполняется при финансовой поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вывозка леса автопоездами / И. Р. Шегельман, Скрыпник В. И., Кузнецов А. В., Пладов А. В.; СПб: ПРОФИКС, 2008. – 304 с.
2. Кузнецов А. В., Скрыпник В. И., Шегельман И. Р. Метод снижения затрат на транспортировку древесины по путям первичного транспорта леса/ Наука и бизнес: пути развития. – 2012. – № 1(07). С. 58-61.
3. Немцов В. Б., Шелтянов Б. А. Эксплуатации автомобильного транспорта на лесозаготовительных предприятиях. М.: Лесная промышленность, 1982. – 271 с.
4. Пат. 109730 Российская федерация, МПК⁷ В 62 D 53/00. Автопоезд высокой проходимости с активным прицепом / Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Васильев А.С. ; заявитель и патентобладатель Петрозаводский государственный университет. – № 2011123549/11; заявл. 09.06.2011 ; опубл. 27.10.2011. Бюл. № 30 – 8 с.: ил.
5. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Кузнецов А. В. Эффективная организация автомобильного транспорта леса. Петрозаводск, Изд-во ПетрГУ, 2007. – 288 с.
6. Шегельман И.Р. Моделирование движения лесовозных автопоездов на ПЭВМ / И.Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, А.В. Пладов, А.Н. Кочанов - Петрозаводск. Изд-во: ПетрГУ, 2003 г. – 234 с.
7. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Васильев А.С. Модернизация конструкции лесовозного автопоезда с целью повышения его проходимости / Глобальный научный потенциал. Вып. 1 (10), 2012. С. 73-75.
8. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Васильев А.С. Обоснование технических решений по созданию высокопроходимого лесовозного автопоезда / Транспортное дело России. Вып 7 (92). Москва, 2011. С. 64-66.
9. Шегельман И. Р. Создание и внедрение технических решений в лесной промышленности / И. Р. Шегельман. – Петрозаводск: Карелия, 1988. – 56 с.
10. Шегельман И. Р. Функционально-технологический анализ: метод формирования инновационных технических решений для лесной промышленности / И. Р. Шегельман. – Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2012. – 96 с.