

Оценка эксплуатационной эффективности работы автопоездов-щеповозов

А.В. Кузнецов

Петрозаводский государственный университет

Аннотация: В работе представлена оценка эффективности применения автопоездов для транспортировки топливной щепы при эксплуатации в реальных природно-производственных условиях посредством вариативности коэффициента сцепного веса ($k_{сц}$). Отмечается, что при формировании эффективных технологических цепочек по производству биотоплива и, в частности, щепы энергетического назначения, особое внимание уделяется транспортно-переместительной составляющей технологического процесса. Анализ показал, что при эксплуатации в сложных и осложненных условиях на покрытиях в неудовлетворительном состоянии для обеспечения движения во всех режимах рационально применение автопоездов-щеповозов на базе полноприводных автомобилей (6х6). Автотранспортные средства для транспортировки щепы энергетического назначения, выпускаемые в России и Белоруссии, по основным технико-экономическим показателям находятся на уровне зарубежных аналогов, а в отдельных случаях их превосходят.

Ключевые слова: лесная биоэнергетика, транспортировка топливной щепы, автопоезда-щеповозы, коэффициент сцепного веса, проходимость.

Современные тенденции по сохранению окружающей среды и снижению антропогенного воздействия на экологию предполагают использование инновационных технологий для снижения выбросов парниковых газов в атмосферу [1, 2]. В этих условиях все большее внимание в России и в мире уделяется биоэнергетическим технологиям, где особое место занимает лесная биоэнергетика [3-5]. Как показал ряд исследований [3], при сжигании различных видов твердого древесного топлива (щепы, брикетов или древесных гранул) в окружающую среду выбрасывается меньше парниковых газов, чем при сжигании некоторых видов традиционного топлива, например, каменного угля.

При формировании эффективных технологических цепочек по производству биотоплива и, в частности, щепы энергетического назначения особое внимание уделяется транспортно-переместительной составляющей технологического процесса. В лесопромышленном комплексе транспортно-

переместительные операции - важная часть лесозаготовительных процессов, при этом доля расходов на транспортную составляющую может быть больше половины от всех затрат на лесозаготовительные операции. Важную роль в обеспечении рентабельности производственных процессов современного лесопромышленного предприятия играют вопросы повышения эффективности работы лесотранспортных средств. В этом контексте особое значение приобретает обеспечение проходимости лесотранспортных машин при движении по путям транспорта леса и, в частности, автопоездов для транспортировки топливной щепы.

При производстве некоторых видов твердого топлива (топливной щепы) на верхнем или нижнем складе (терминале), полученная продукция транспортируется потребителям автопоездами-щеповозами на базе автомобилей или автомобилей-тягачей [6]. В процессе транспортировки щепы энергетического назначения автопоезда-щеповозы, в зависимости от выбранной технологической цепочки по производству топливной щепы, могут совершать движение по лесовозным дорогам и дорогам общего пользования. Причем, для эффективной работы автотранспорта при выработке топливной щепы на верхнем складе, на лесовозных дорогах и особенно временных путях первичного транспорта леса (лесовозных усах) необходимо обеспечить достаточную его проходимость.

Особенностью работы лесного автотранспорта является обеспечение опорно-цепной проходимости. Для оценки опорно-цепной проходимости можно использовать следующие показатели: сцепная масса (вес) автомобиля, коэффициент сцепной массы (веса), удельная мощность, мощность сопротивления качению, мощность сопротивления движению, полная сила тяги, свободная сила тяги и т.д. [7].

Для анализа проходимости лесных машин рядом исследователей предложены различные критерии оценки проходимости лесотранспортных

средств. В частности, профессор В. Ф. Бабков [8] предложил критерии проходимости Π :

$$\Pi = k_{c\kappa} \varphi - f_{\kappa} \geq i, \quad (1)$$

где $k_{c\kappa}$ – коэффициент сцепной массы; φ – коэффициент сцепления; f_{κ} – коэффициент сопротивления движению; i – продольный подъем.

В работе [9] описан показатель проходимости A :

$$A = \frac{k_{c\kappa} \cdot \varphi - (0,001 \cdot \omega_{cp} + g \cdot i_z)}{g}, \quad (2)$$

где ω_{cp} – среднее основное удельное сопротивление движению, H/m ; i_z – уклон при затяжных подъемах; g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

В исследованиях, проводимых под руководством В. И. Кнороз [10], в качестве общего критерия проходимости предложен:

$$\Pi = \frac{M_{\varphi} - M_f}{M_{\varphi}}, \quad (3)$$

где M_{φ} – момент сцепления колес с дорогой; M_f – момент сопротивлению движению.

Агейкин Я. С. [11] для оценки проходимости представил зависимость:

$$k_{c\kappa} \cdot \varphi > f_r + (1 - k_{c\kappa}) f_{ш} + f_{\kappa} + f_{\sigma} + tg\alpha, \quad (4)$$

где α – угол подъема; f_r – коэффициент сопротивления грунта, $f_{ш}$ – коэффициент сопротивления шины качению; f_{σ} – коэффициент бульдозерного сопротивления.

Кроме этого, в работе [12] В.И. Гребенщиковым и Я.И. Бронштейном предложен конструктивный показатель проходимости:

$$K = \frac{k_T k_{c\kappa}}{q_{yc}}, \quad (5)$$

где k_T – удельное тяговое усилие; q_{yc} – удельный вес машины, m/m^2 .

Так же, проходимость по сцеплению можно оценить с помощью зависимости, предложенной И.В. Крагельским [13]:

$$\Pi = 1 - \frac{f}{\varphi}, \quad (6)$$

где f – коэффициент сопротивления дороги.

Как показал анализ, ключевым показателем обеспечения опорно-сцепной проходимости для лесного автотранспорта является коэффициент сцепного веса (массы) k_{cy} [14]. На основе этого показателя профессором В.А. Горбачевским был предложен критерий оценки проходимости – коэффициент проходимости C [15]. Условие движения автопоезда без буксования можно представить в виде [16, 17]:

$$\frac{G_{cy}}{G_{авт}} = k_{cy} > \frac{f + i}{\varphi}, \quad (7)$$

где G_{cy} – сцепная масса автотранспортного средства, кг; $G_{авт}$ – полная масса автопоезда, кг; f – коэффициент сопротивления качению колеса; i – продольный уклон.

Рядом исследователей установлено [17], что для обеспечения устойчивого движения по лесотранспортной сети рекомендуемые значения коэффициента сцепного веса (k_{cy}): лесовозные усы в плохом состоянии – 0,6, на лесовозных усах с покрытием в удовлетворительном состоянии – 0,5, на ветках и магистралях: 0,4-0,45.

Для прогнозирования проходимости и выбора оптимального подвижного состава на транспортировке топливной щепы был проведен анализ опорно-сцепной проходимости автопоездов-щеповозов на основе значения k_{cy} (рис. 1 и 2, а).

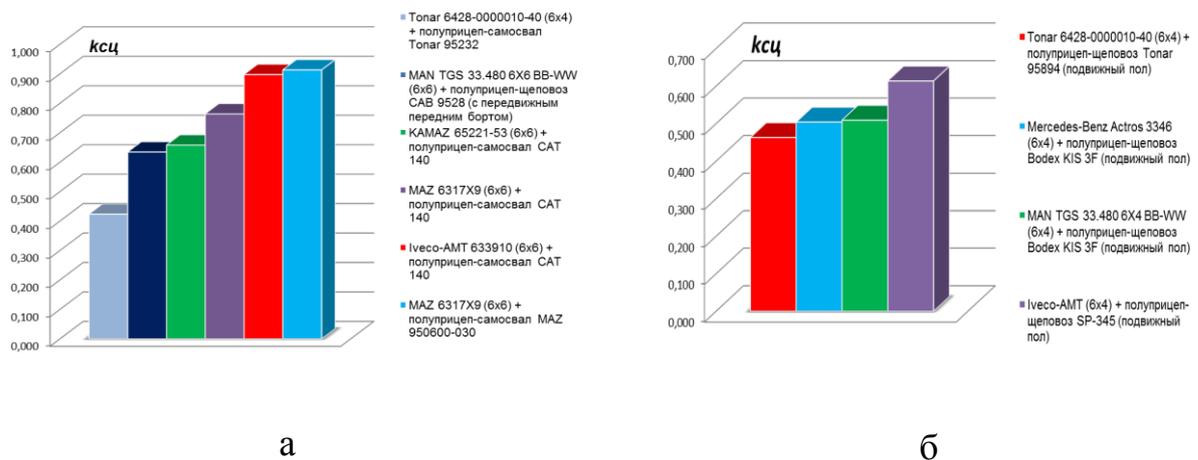


Рис. 1. – Коэффициент сцепного веса при транспортировке топливной щепы автопоездами-щелковозами (6x4): а – полуприцеп-самосвал и полуприцеп с передвижным передним бортом; б – полуприцеп с подвижным ПОЛОМ

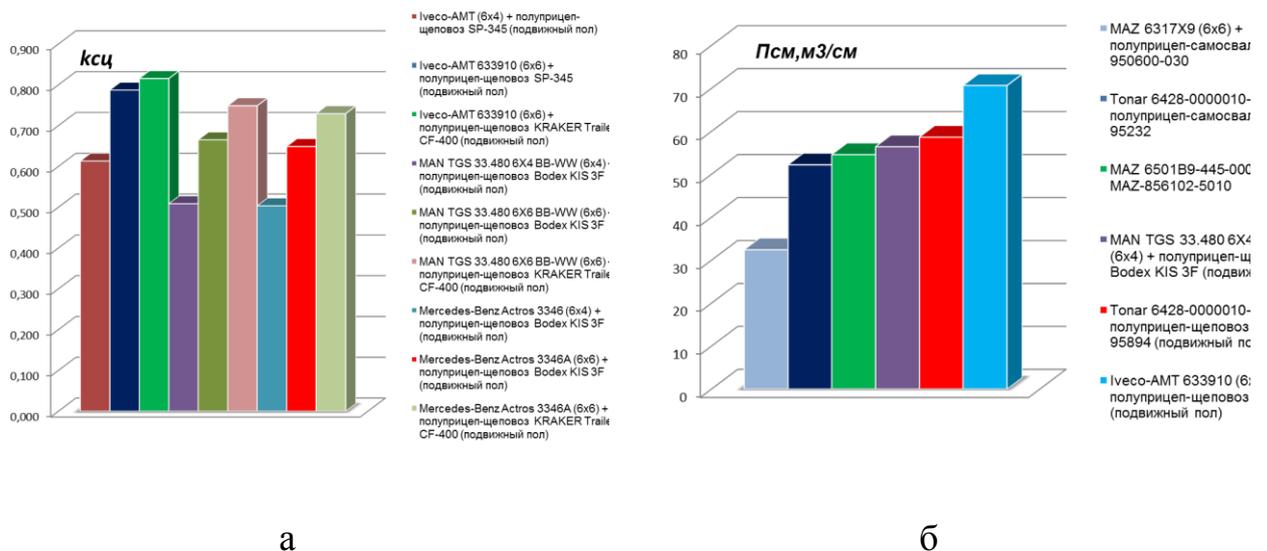


Рис. 2. – Показатели проходимости и эффективности: а – коэффициент сцепного веса при транспортировке топливной щепы автопоездом-щелковозом с полуприцепом с подвижным полом (на базе полноприводного автомобиля-тягача); б – сменная производительность при транспортировке топливной щепы на расстояние 50 км

Анализ показал, что для эксплуатации на лесовозных дорогах с хорошим состоянием покрытия и дорогах общего пользования можно рекомендовать автопоезда-щеповозы на базе автомобилей с колесной формулой 6x4 и ограниченной проходимостью ($k_{cy}=0,406-0,509$): Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-самосвал Тонар 95232, Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-щеповоз Тонар 95894 (подвижный пол), MAN TGS 33.480 6X4 BB-WW (6x4) + полуприцеп-щеповоз Vodex KIS 3F (подвижный пол), Mercedes-Benz Actros 3346 (6x4) + полуприцеп-щеповоз Vodex KIS 3F (подвижный пол) и др.

При эксплуатации в сложных и осложненных условиях на покрытиях в неудовлетворительном состоянии для обеспечения движения во всех режимах лучше всего подойдут автопоезда-щеповозы на базе полноприводных автомобилей (6x6) ($k_{cy}=0,634-0,913$): MAZ 6317X9 (6x6) + полуприцеп-самосвал MAZ 950600-030, MAZ 6317X9 (6x6) + полуприцеп-самосвал CAT 140, Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-самосвал CAT 140, КАМАЗ 65221-53 (6x6) + полуприцеп-самосвал CAT 140, MAN TGS 33.480 6X6 BB-WW (6x6) + полуприцеп-щеповоз SP-345 (подвижный пол), Mercedes-Benz Actros 3346A (6x6) + полуприцеп-щеповоз Vodex KIS 3F (подвижный пол) и др.

В то же время сменная производительность (II_{cm}) автопоездов-щеповозов Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-самосвал Тонар 95232, MAZ 6317X9 (6x6) + полуприцеп-самосвал MAZ 950600-030, MAZ 6317X9 (6x6) + полуприцеп-самосвал CAT 140, Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-самосвал CAT 140, КАМАЗ 65221-53 (6x6) + полуприцеп-самосвал CAT 140 с прицепом и полуприцепами-самосвалами будет в 1,03-2,2 раза меньше II_{cm} автопоездов-щеповозов MAN TGS 33.480 6X6 BB-WW (6x6) + полуприцеп-щеповоз CAB 9528 (с передвижным передним бортом), Iveco-AMT (6x4) + полуприцеп-щеповоз SP-345 (подвижный пол), MAN TGS

33.480 6X6 BB-WW (6x6) + полуприцеп-щеповоз Vodex KIS 3F (подвижный пол) и др., оснащенных полуприцепами с подвижным полом и с передвижным передним бортом (рис. 2,б и 3,а).

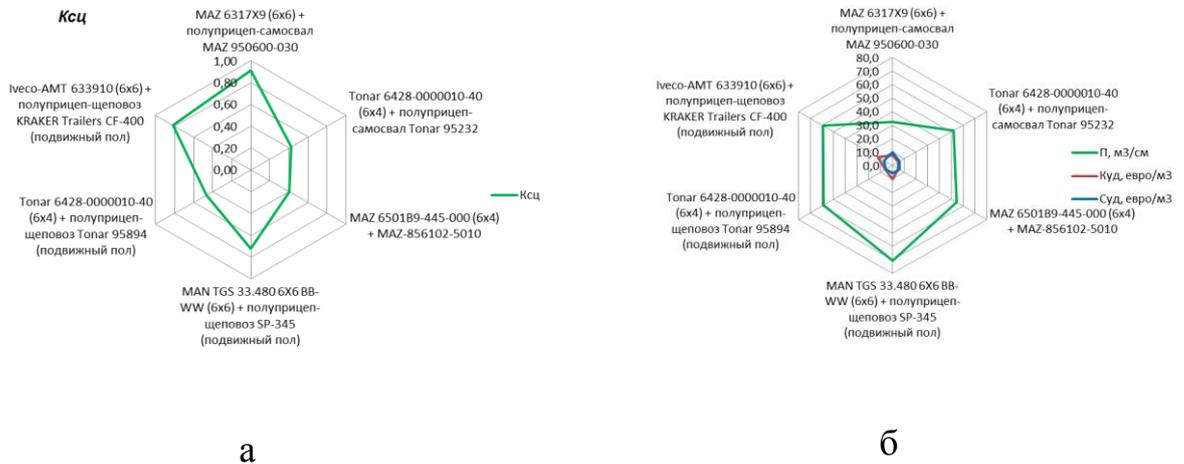


Рис. 3. Показатели проходимости и эффективности автопоездов-щеповозов: а – коэффициент сцепного веса; б – сменная производительность и значения $K_{уд}$ и $C_{уд}$ при расстоянии транспортировки 50 км

Сравнимыми значениями $P_{см}$ с автопоездами-щеповозами импортного производства на базе автомобилей Iveco-AMT 633910 (6x6), MAN TGS 33.480 6X6 BB-WW (6x6), Mercedes-Benz Actros 3346A (6x6) и др. обладают автопоезда на базе автомобилей отечественного и белорусского производства, в частности на базе автомобилей КАМАЗ 6560-53 (8x8), Tonaг 6428-0000010-40 (6x4) и MAZ 6501B9-445-000 (6x4). При этом ряд автопоездов для транспортировки щепы энергетического назначения на базе современных автомобилей российского и белорусского производства, обладая достаточно высокими показателями эффективности, на уровне зарубежных аналогов, имеют преимущество по экономическим показателям. В частности, автопоезд-щеповоз на базе автомобиля КАМАЗ 6560-53 (8x8) обладает достаточной высокой проходимостью ($k_{сц}=0,717$) и по значению удельных капитальных вложений ($K_{уд}$) и удельных эксплуатационных затрат

(С_{yd}) имеет преимущество перед автопоездами-щеповозами импортного производства (рис. 3, б).

На основе вышеизложенного можно отметить, что автотранспортные средства для транспортировки щепы энергетического назначения, выпускаемые в России и Белоруссии, имея зачастую недостатки в области надежности и комфорта водителя, по основным технико-экономическим показателям находятся на уровне зарубежных аналогов, а в отдельных случаях их превосходят.

Литература

1. Diosey Ramón Lugo-Morin. Global Future: Low-Carbon Economy or High-Carbon Economy? // World. 2021. 2(2). pp. 175-193. URL: mdpi.com/2673-4060/2/2/12.

2. Порфирьев Б.Н. Эффективная стратегия действий в отношении изменений климата и их последствий для экономики России // Проблемы прогнозирования. 2019. № 3 (174). С. 3-16.

3. Шегельман И.Р., Васильев А.С. Анализ путей повышения конкурентоспособности энергетической биомассы // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1769.

4. Michael Den Herder, Marja Kolström, Marcus Lindner, Tommi Suominen, Diana Tuomasjukka, Matias Pekkanen. Sustainability Impact Assessment on the Production and Use of Different Wood and Fossil Fuels Employed for Energy Production in North Karelia, Finland // Energies. 2012. 5(11). pp. 4870-4891. URL: mdpi.com/1996-1073/5/11/4870.

5. Шегельман И.Р., Кузнецов А.В., Баклагин В.Н., Будник П.В., Скрыпник В.И. Подготовка и переработка древесного сырья для получения щепы энергетического назначения (биотоплива) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2010. № 8 (113). С. 79-82.



6. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В. Анализ технологической цепочки производства топливной щепы с учетом транспортно-переместительной составляющей // Известия СПбГЛТА. 2013. Вып. 203. С. 67-75.

7. Котляренко В.И. Оценка проходимости колёсных машин по деформируемым опорным поверхностям // Журнал автомобильных инженеров. 2008. № 1 (48). С. 30-35.

8. Бабков В.Ф., Бируля А.К., Сиденко В.М. Проходимость колесных машин по грунту. М.: Автотрансиздат, 1959. 208 с.

9. Ильин Б.А., Салминен Э.О. Теория лесотранспорта. Л.: ЛТА, 1992. 188 с.

10. Кнороз В.И. Работа автомобильных шин. М.: Автотрансиздат, 1957. 180 с.

11. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 230 с.

12. Гребенщиков В.И. Исследование проходимости автомобиля по мягким грунтам // Автомобильная промышленность. 1956. №10. С. 12-15.

13. Крагельский И.В. Об оценке проходимости грунтов // Труды совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. М.: изд-во АН СССР, 1950. С. 7-14.

14. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Васильев А.С. Обоснование направлений повышения эффективности функционирования лесовозных автопоездов // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2007.

15. Автомобильный транспорт леса: Справочник / Под общ. ред. В.А. Горбачевского. М.: Лесная промышленность, 1973. 376 с.

16. Гончаров И.Н., Смиловенко О.О., Казябо В.А., Шавель Ю.И. Анализ показателей опорной проходимости автомобильной техники // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2018. № 2 (44). С. 121-129.

17. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Пладов А.В. Вывозка леса автопоездами. Техника. Технология. Организация. СПб.: ПРОФИКС, 2008. 304 с.

References

1. Diosey Ramón Lugo-Morin. Global Future: Low-Carbon Economy or High-Carbon Economy? World. 2021. 2(2). pp. 175-193. URL: mdpi.com/2673-4060/2/2/12.

2. Porfir'ev B.N. Problemy prognozirovaniya. 2019. № 3 (174). pp. 3-16.

3. Shegel'man I.R., Vasil'ev A.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1769.

4. Michael Den Herder, Marja Kolström, Marcus Lindner, Tommi Suominen, Diana Tuomasjukka, Matias Pekkanen. Energies. 2012. 5(11). pp. 4870-4891. URL: mdpi.com/1996-1073/5/11/4870.

5. Shegel'man I.R., Kuznecov A.V., Baklagin V.N., Budnik P.V., Skrypnik V.I. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. 2010. № 8 (113). pp. 79-82.

6. Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Kuznecov A.V. Izvestija SPbGLTA. 2013. Vyp. 203. pp. 67-75.

7. Kotljarenko V.I. Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov. 2008. № 1 (48). pp. 30-35.

8. Babkov V.F., Birulja A.K., Sidenko V. M. Prohodimost' kolesnyh mashin po gruntu [Passability of wheeled vehicles on the ground]. M.: Avtotransizdat, 1959. 208 p.

9. Il'in B.A., Salminen Je.O. Teorija lesotransporta [Theory of timber transport]. L.: LTA, 1992. 188 p.



10. Knoroz V.I. Rabota avtomobil'nyh shin [The work of car tires]. M.: Avtotransizdat, 1957. 180 p.
11. Agejkin Ja.S. Prohodimost' avtomobilej [Vehicle patency]. M.: Mashinostroenie, 1981. 230 p.
12. Grebenshnikov V.I. Avtomobil'naja promyshlennost'. 1956. №10. pp. 12-15.
13. Kragel'skij I.V. Trudy soveshhanija po prohodimosti kolesnyh i gusenichnyh mashin po celine i gruntovym dorogam. M.: izd-vo AN SSSR, 1950. pp. 7-14.
14. Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Kuznecov A.V., Vasil'ev A.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2007.
15. Avtomobil'nyj transport lesa: Spravochnik [forest road transport] / Pod obshh. red. V.A. Gorbachevskogo. M.: Lesnaja promyshlennost', 1973. 376 p.
16. Goncharov I.N., Smilovenko O.O., Kazjabo V.A. , Shavel' Ju.I. Chrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidacija. 2018. № 2 (44). pp. 121-129.
17. Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Kuznecov A.V., Pladov A.V. Vyvozka lesa avtopoezdami. Tehnika. Tehnologija. Organizacija [Timber hauling by trucks. Technique. Technology. Organization.]. SPb.: PROFIKS, 2008. 304 p.