

УДК 621:674.8

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ АВТОПОЕЗДОВ-ЩЕПОВОЗОВ НА ТРАНСПОРТИРОВКЕ ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ

Кузнецов А.В.

*ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск,
e-mail: kuzalex@psu.karelia.ru*

С учетом общемировых тенденций в настоящее время интенсивно развиваются биоэнергетические технологии. Особую роль в этом процессе занимает лесная биоэнергетика. В сложившейся ситуации для России открываются широкие перспективы по занятию значимой роли в развитии биоэнергетических технологий. Предпосылками к этому является наличие в нашей стране обширных лесных ресурсов. В этих условиях актуальной становится задача по совершенствованию технологических цепочек и снижению затрат на производстве и транспортировке биотоплива, от решения которой зависит рентабельность производства компаний и предприятий, задействованных в сфере «зеленой» энергетики. Рациональный подбор машин и оборудования с учетом особенностей природно-производственных условий эксплуатации, применяемых на транспортировке биоэнергосырья и биотоплива, позволит оптимизировать затраты и увеличить экономическую эффективность всей технологической цепочки. В работе проведен анализ технико-экономических показателей парка автопоездов-щеповозов на базе автомобилей отечественного и импортного производства. При транспортировке щепы автопоезд-щеповоз может совершать движение по разным категориям дорог, в частности, при движении по гравийной ветке или магистрали с покрытием в хорошем состоянии в сравнении с удовлетворительным состоянием, сменная производительность увеличивается соответственно в 1,07–1,16 раза. Эффективное расстояние транспортировки топливной щепы составляет 50–100 км. Сравнение технико-экономических показателей выявило преимущество автопоездов-щеповозов отечественного и белорусского производства.

Ключевые слова: лесная биоэнергетика, транспортировка топливной щепы, автопоезда-щеповозы, технико-экономические показатели

EVALUATION OF THE PERFORMANCE TECHNICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF CHIP TRUCKS FOR THE TRANSPORTATION OF FUEL CHIPS

Kuznetsov A.V.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: kuzalex@psu.karelia.ru

Taking into account worldwide trends, bioenergy technologies are developing intensively these days. Forest bioenergy plays a special role in this process. Given the situation, broad prospects are opening up for Russia to take a significant role in the development of bioenergy technologies. Prerequisites for this is the presence in our country of extensive forest resources. Under these conditions, it is currently important to improve process chains and reduce the costs on production and transportation of biofuel. Fulfillment of this task influences the production profitability of companies and enterprises involved in the field of “green” energy. Rational selection of machinery and equipment, taking into account the peculiarities of natural and production operating conditions used in the transportation of bioenergy raw materials and biofuel, will optimize costs and increase the economic efficiency of the entire process chain. The paper analyzes the technical and economic indicators of the fleet of chip trucks on the basis of cars of domestic and foreign production. During transportation of chips, a chip truck can move on different categories of roads. In particular, when driving on a gravel access road or a highway with road surfacing in good condition compared to a satisfactory condition, the production rate increases, respectively, by 1.07-1.16 times. The effective distance of transportation of fuel chips is 50-100 km. The comparison of technical and economic indicators revealed the advantage of wood chip trucks of domestic and Belarusian production.

Keywords: forest bioenergy, transportation of fuel chips, chip trucks, technical and economic indicators

В последнее время проблемы сохранения окружающей среды и декарбонизации приобрели поистине общемировое значение, интенсивно развиваются биоэнергетические технологии [1–3]. Это связано в первую очередь с высокими и нестабильными ценами на традиционные энергоресурсы, стремлением многих стран диверсифицировать свои топливно-энергетические рынки, снизить влияние традиционных поставщиков энергоресурсов, а также сокра-

тить выбросы в окружающую среду парниковых газов, образующихся при сжигании традиционных ископаемых видов топлива. Особую роль в этом процессе занимает лесная биоэнергетика. По мнению ряда исследователей [2], именно древесная биомасса в перспективе будет являться важным сырьем для производства биотоплива. Это обусловлено в первую очередь тем, что древесная биомасса является возобновляемым и экологически безопасным источником

сырья для производства целого спектра биоэнергетических продуктов: бионефти, биодизеля, биогаза и твердых видов древесного топлива (топливной щепы, древесных брикетов и гранул). В то же время используемые в настоящее время в основном для производства биоэтанола и биодизеля сельскохозяйственные культуры (сахарная свекла и тростник, пшеница, кукуруза и т.д.), являются ценными продовольственными ресурсами [3], использование которых в будущем в качестве сырья для производства биотоплива, в условиях дефицита продовольствия, высоких цен на продовольственные ресурсы и высокой себестоимости их переработки, является малоэффективным.

В этих условиях для России открываются широкие перспективы по занятию значимой роли в развитии биоэнергетических технологий. Предпосылками к этому является наличие в нашей стране обширных лесных ресурсов; 20% от мировых запасов древесины сосредоточено в нашей стране [2]. При этом для производства биотоплива вполне пригодны отходы лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств.

Цель исследования – анализ технико-экономических показателей автопоездов-щеповозов на транспортировке щепы энергетического назначения.

Материалы и методы исследования

При проведении лесозаготовительных операций на лесосеке образуется до 16–22% [4] лесосечных отходов от общего объема лесозаготовок. Эти ресурсы могут быть использованы для производства щепы энергетического назначения. Производство топливной щепы с минимальными затратами может быть реализовано практически в любых условиях лесозаготовительного предприятия, себестоимость производства при этом будет меньше, чем у других видов твердого древесного топлива: древесных брикетов и пеллет. Для отопления небольших населенных пунктов, оторванных от транспортной инфраструктуры, использование топливной щепы будет более предпочтительным, чем использование других видов биотоплива и особенно традиционных топливных ресурсов [5, 6].

Производство топливной щепы может быть реализовано на делянке, верхнем или нижнем складе (терминале) или непосредственно у потребителя (котельной) [7, 8]. В частности, на делянке [9, 10], после проведения лесосечных работ по сортиментной технологии или в процессе заготовки деловой древесины, с использованием мобильных рубительных машин на базе фор-

вардера с кузовом, осуществляется переработка отходов лесосечных работ (сучьев, ветвей, вершинок), дровяной и тонкомерной древесины непосредственно в топливную щепу, с последующей транспортировкой на погрузочную площадку и доставкой потребителю автопоездами-щеповозами. На верхнем или нижнем складе (терминале) производство топливной щепы может осуществляться мобильными рубительными машинами на базе трактора, автомобиля, прицепа (полуприцепа) или специального самоходного шасси. Полученная щепа выбрасывается либо в кузов автопоезда-щеповоза, либо в кучу с последующей самопогрузкой или погрузкой в автопоезд-щеповоз лесопогрузчиком. Непосредственно у потребителя (котельной) для производства топливной щепы можно применять оборудование, идентичное производству, на лесопромышленном складе (терминале). В то же время у потребителя (котельной) наиболее эффективно использование мобильных рубительных машин на базе автомобиля, в том числе с кузовом. В этом случае мобильная рубительная машина после выполнения всех операций по измельчению в щепу может перемещаться к другой площадке (котельной) для выполнения этих операций, что повышает ее эффективность и гибкость всей технологической цепочки.

При выработке топливной щепы на верхнем складе или непосредственно на делянке транспортировка потребителю осуществляется автопоездами-щеповозами на базе автомобилей или автомобилей-тягачей. Движение может осуществляться по лесовозным дорогам и дорогам общего пользования. В качестве прицепного звена используются прицепы и полуприцепы-самосвалы, а также полуприцепы-щеповозы, оснащенные для выгрузки щепы системой саморазгрузки, например подвижным полом. В этих условиях становится актуальным вопрос протяженности транспортировки топливной щепы потребителю, это обусловлено в первую очередь низким значением коэффициента полндревесности для щепы ($\kappa_n = 0,36$).

Для оценки технико-экономических характеристик и параметров работы автопоездов-щеповозов, а также определения эффективного расстояния транспортировки топливной щепы проведен анализ парка автотранспортных средств на базе автомобилей отечественного и импортного производства (рис. 1, 2). Движение автопоездов-щеповозов осуществляется по лесовозным дорогам (магистральям и веткам) с гравийным покрытием в удовлетворительном (слабоухабистое) и в хорошем состоянии (укрепленное).

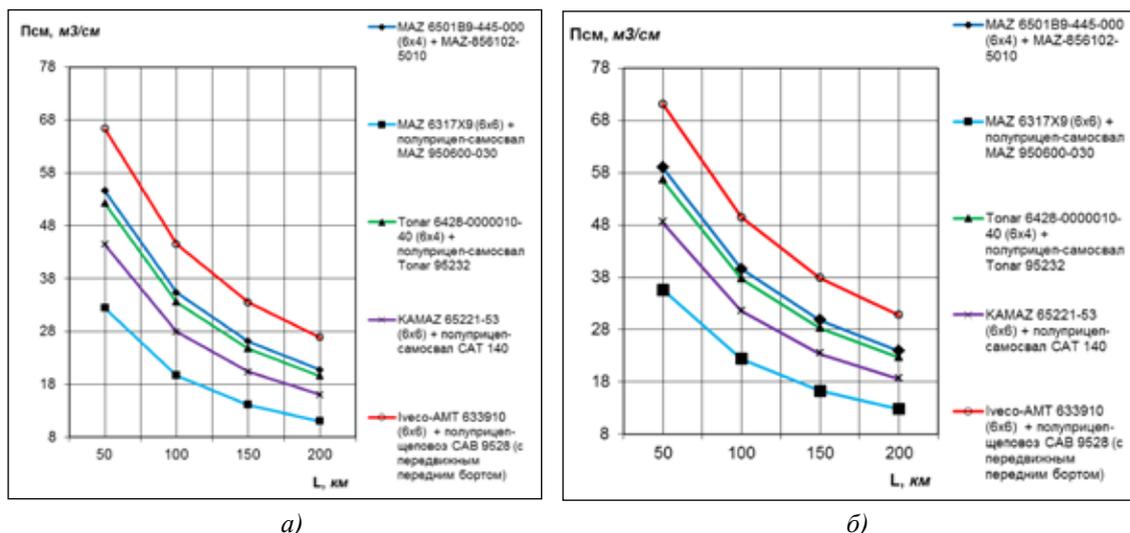


Рис. 1. График зависимости сменной производительности автопоездов-щеповозов (прицеп, полуприцеп-самосвал и полуприцеп с передвижным передним бортом) от расстояния транспортировки, в зависимости от условий эксплуатации: а – гравийная (удовлетворительное покрытие); б – гравийная (хорошее покрытие)

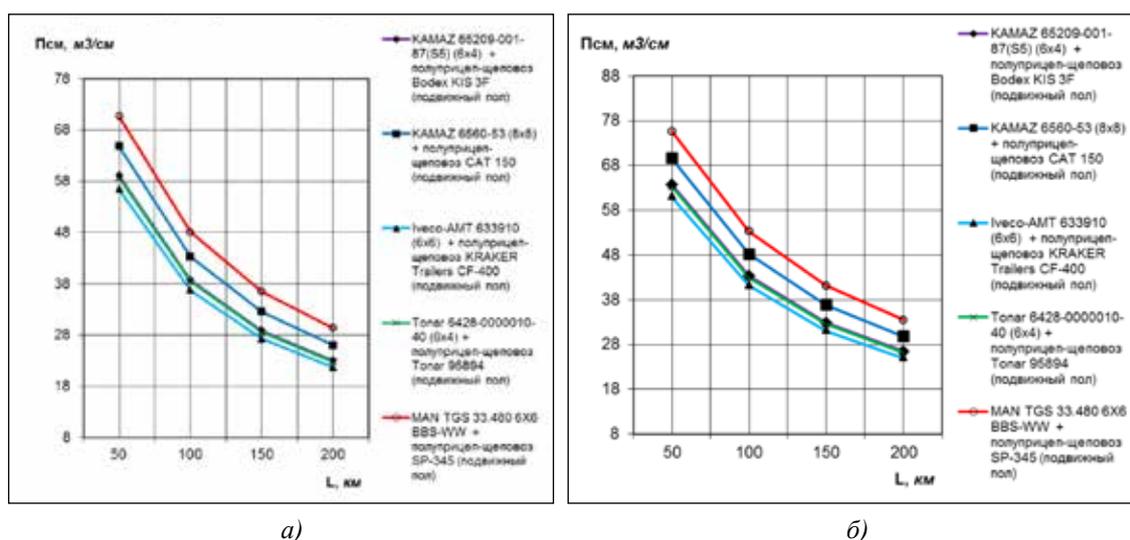


Рис. 2. График зависимости сменной производительности автопоездов-щеповозов (полуприцеп с подвижным полом) от расстояния транспортировки, в зависимости от условий эксплуатации: а) – гравийная (удовлетворительное покрытие); б) – гравийная (хорошее покрытие)

Результаты исследования и их обсуждение

Предварительный анализ показал, что эффективное расстояние транспортировки топливной щепы составляет 50–100 км. Увеличение этого предела ведет к значительному снижению сменной производительности автопоездов-щеповозов. В частности, сменная производительность изменяется в следующих пределах при расстоянии транспортировки от 200 до 50 км; гравийная дорога (слабоухабистое и укрепленное покрытие,

соответственно): MAZ 6501B9-445-000 (6x4) + MAZ-856102-5010 $P_{см} = 21–55$ (24–59) м³/смену, MAZ 6317F9 (6x6) + полуприцеп-самосвал MAZ 950600-030 $P_{см} = 11–32$ (13–36) м³/смену, Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-самосвал Тонар 95232 $P_{см} = 20–52$ (23–57) м³/смену, KAMAZ 65221-53 (6x6) + полуприцеп-самосвал CAT 140 $P_{см} = 16–44$ (19–48) м³/смену, Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз SAB 9528 (с передвижным передним бортом) $P_{см} = 27–66$ (31–71) м³/смену (рис. 1).

Для автопоездов-щеповозов в составе автомобиля-тягача и полуприцепа-щеповоза с подвижным полом сменная производительность изменяется в следующих пределах при расстоянии транспортировки от 200 до 50 км; гравийная дорога (слабоухабистое и укрепленное покрытие, соответственно): KAMAZ 65209-001-87(S5) (6x4) + полуприцеп-щеповоз Vodex KIS 3F $\Pi_{cm} = 23-59$ (26-64) м³/смену, KAMAZ 6560-53 (8x8) + полуприцеп-щеповоз CAT 150 $\Pi_{cm} = 26-65$ (30-70) м³/смену, Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз KRAKER Trailers CF-400 $\Pi_{cm} = 22-56$ (25-61) м³/смену, Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-щеповоз Тонар 95894 $\Pi_{cm} = 23-59$ (26-63) м³/смену, MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW + полуприцеп-щеповоз SP-345 $\Pi_{cm} = 29-71$ (34-76) м³/смену.

При транспортировке щепы автопоезд-щеповоз может совершать движение по разным категориям дорог, при этом состояние покрытия может существенно отличаться от эталонного, что влияет на эффективность работы автотранспор-

та. В частности, при движении автопоезда-щеповоза по гравийной укрепленной, в сравнении с слабоухабистой дорогой, сменная производительность увеличивается соответственно в 1,07–1,16 раза. Кроме снижения скоростных возможностей автотранспорта, при эксплуатации автопоездов на лесовозных дорогах с удовлетворительным состоянием покрытия, увеличивается вероятность аварийных ситуаций и износа ходовой системы.

На основании наибольшего значения сменной производительности можно рекомендовать как наиболее эффективные следующие схемы комплектования автопоездов-щеповозов: Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз САВ 9528 (с передвижным передним бортом), MAZ 6501B9-445-000 (6x4) + MAZ-856102-5010 и Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-самосвал Тонар 95232, а также MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW + полуприцеп-щеповоз SP-345 (подвижный пол) и KAMAZ 6560-53 (8x8) + полуприцеп-щеповоз CAT 150 (подвижный пол).

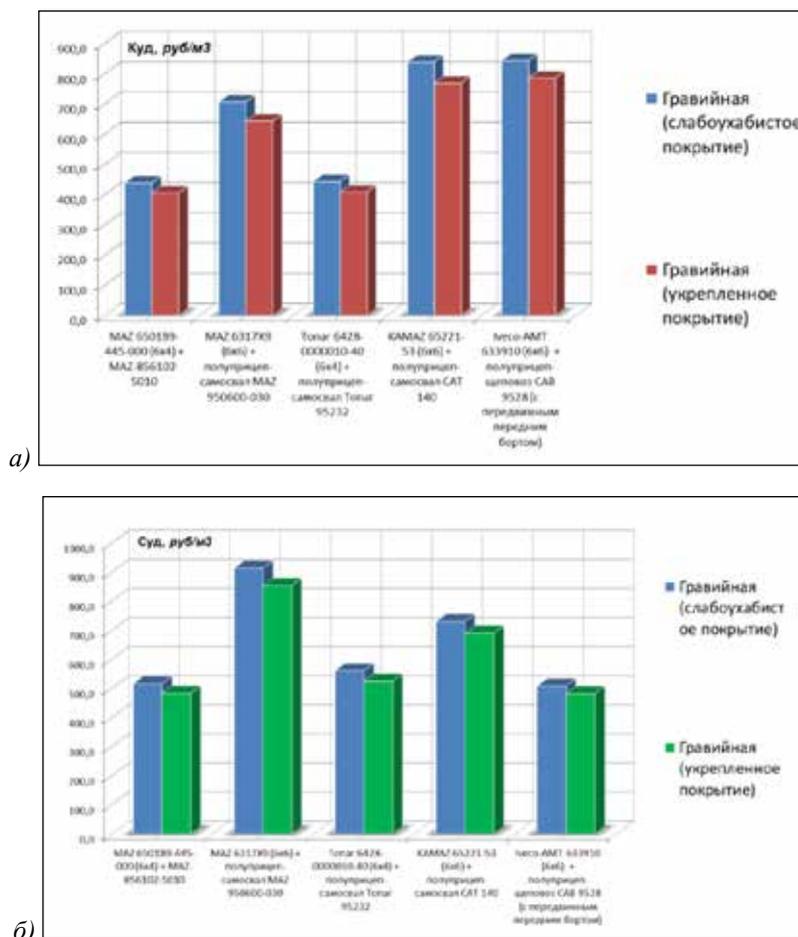


Рис. 3. Транспортировка топливной щепы автопоездами-щеповозами (прицеп, полуприцеп-самосвал и полуприцеп с передвижным передним бортом) на 50 км: а – удельные капитальные вложения (K_{yo} , руб/м³); б – удельные эксплуатационные затраты (C_{yo} , руб/м³)

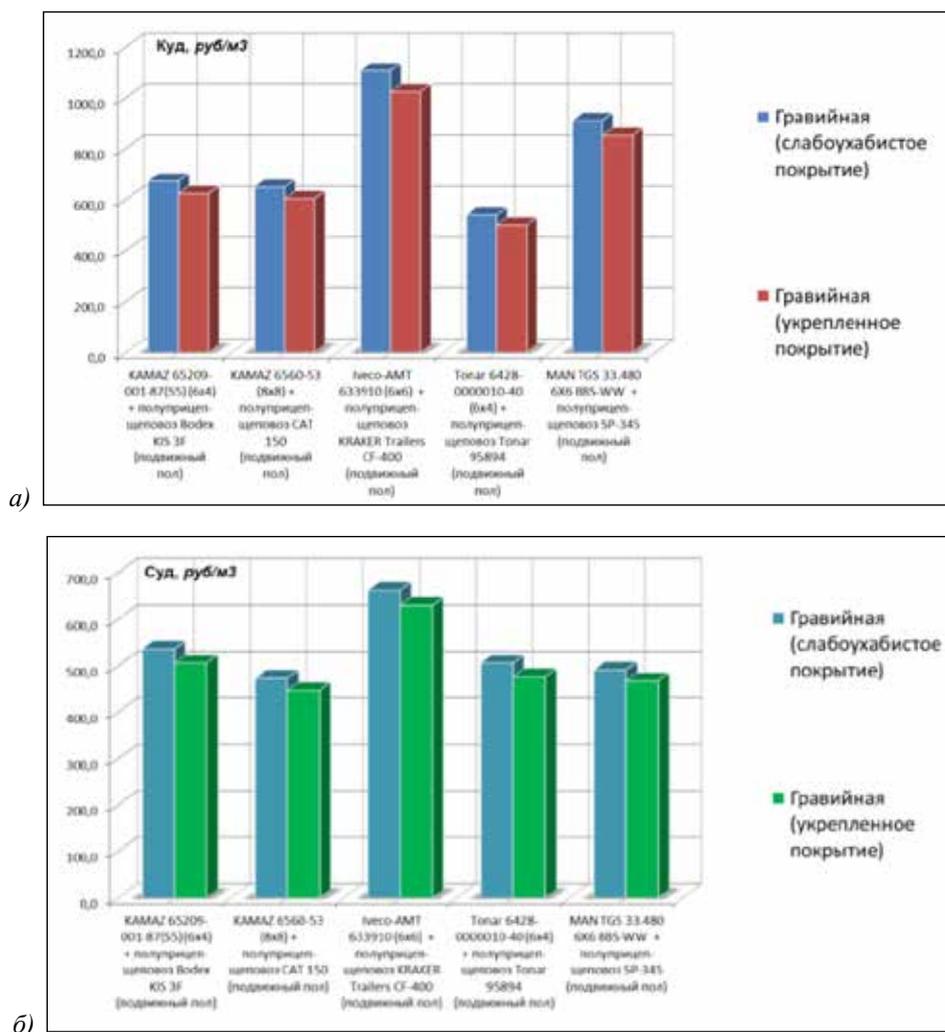


Рис. 4. Транспортировка топливной щепы автопоездами-щеповозами (полуприцеп с подвижным полом) на 50 км: а – удельные капитальные вложения ($K_{уд}$, руб/м³); б – удельные эксплуатационные затраты ($C_{уд}$, руб/м³)

В то же время, исходя из высокой балансовой стоимости Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз САВ 9528 (с передвижным передним бортом) и MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW + полуприцеп-щеповоз SP-345 (подвижный пол), удельные капитальные вложения ($K_{уд}$, руб/м³) будут выше у автопоезда на базе автомобиля Iveco-AMT 633910 (6x6) в 1,9 раза (при расстоянии транспортировки на 50 км) в сравнении с Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-самосвал Тонар 95232 и MAZ 6501B9-445-000 (6x4) + MAZ-856102-5010; у автопоезда на базе MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW $K_{уд}$ выше в 1,4 раза в сравнении с KAMAZ 6560-53 (8x8) + полуприцеп-щеповоз CAT 150 (подвижный пол). При этом удельные эксплуатационные затраты ($C_{уд}$, руб/м³) будут выше в сравнимых условиях у автопоезда-щеповоза на базе автомо-

биля Тонар 6428-0000010-40 (6x4) в 1,1 раза в сравнении с Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз САВ 9528 (с передвижным передним бортом); у автопоезда-щеповоза на базе автомобиля KAMAZ 6560-53 (8x8) ниже в 1,04 раза, в сравнении с MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW + полуприцеп-щеповоз SP-345 (рис. 3 и 4).

Анализ показал, что сравнение технико-экономических показателей выявило преимущество автопоездов-щеповозов отечественного и белорусского производства. В частности, по значению удельных капитальных вложений преимущество имеют автопоезда-щеповозы на базе автомобилей MAZ 6501B9-445-000 (6x4), Тонар 6428-0000010-40 (6x4), KAMAZ 6560-53 (8x8) и KAMAZ 65209-001-87(S5) (6x4), $K_{уд}$ в 1,4–1,9 раза ниже, чем у автопоездов

на базе Iveco-AMT 633910 (6x6) и MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW. В то же время значение $C_{\text{ю}}$ выше в 1,05–1,3 раза у автопоездов на базе Iveco-AMT 633910 (6x6) и MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW в сравнении с Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-щеповоз Тонар 95894 и КАМАЗ 6560-53 (8x8) + полуприцеп-щеповоз САТ 150.

Следует учитывать, что в условиях бездорожья автопоезда-щеповозы на базе полноприводных автомобилей (Iveco-AMT 633910 (6x6), MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW, MAZ 6317F9, КАМАЗ 65221-53) обладают большей проходимостью, чем автопоезда на базе автомобилей с ограниченной проходимостью с колесной формулой 6x4 (Тонар 6428-0000010-40, MAZ 6501B9-445-000, КАМАЗ 65209-001-87(S5)). Это особенно актуально при дви-

жении автопоезда-щеповоза по временным лесовозным дорогам (усам) с грунтовым профилированным покрытием. Поэтому автопоезда-щеповозы на базе полноприводных модификаций можно рекомендовать к применению на всех категориях лесовозных дорог и дорог общего пользования. При эксплуатации автопоездов-щеповозов на лесовозных дорогах и дорогах общего пользования с хорошим состоянием покрытия вполне подойдут автопоезда на базе автомобилей с ограниченной проходимостью, например MAZ 6501B9-445-000 (6x4) + MAZ-856102-5010, при этом они будут обладать преимуществом в виде более низких значений удельных капитальных вложений при сопоставимых значениях удельных эксплуатационных затрат (рис. 5).

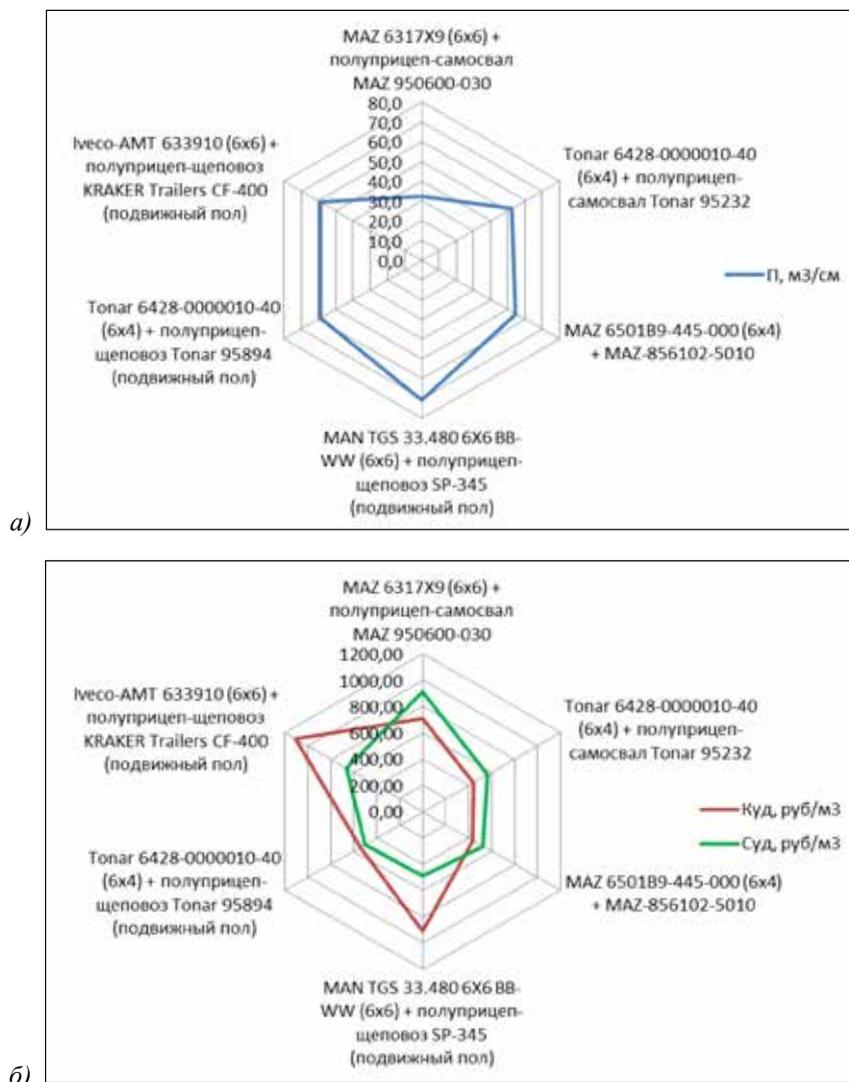


Рис. 5. Техничко-экономические показатели при транспортировке топливной щепы автопоездами-щеповозами на 50 км (удовлетворительное покрытие)

Стоит отметить, что приведенные выше выводы будут актуальны не только для транспортировки топливной, но и технологической щепы на ЦБК и предприятия глубокой переработки древесного сырья. При этом необходимо учитывать, что в этом случае транспортировка в основном будет осуществляться по дорогам общего пользования, где без ограничений могут быть задействованы автопоезда-щеповозы на базе автомобилей с ограниченной проходимостью с колесной формулой 6х4.

Заключение

С учетом общемировых тенденций развитие и внедрение «зеленых» биоэнергетических технологий, вне всякого сомнения, актуально в среднесрочном и долгосрочном временном горизонте. В этих условиях совершенствование технологических цепочек и снижение затрат на производстве и транспортировке биотоплива является актуальной практической задачей, от решения которой зависит рентабельность производства компаний и предприятий, задействованных в сфере «зеленой» энергетики. В частности, рациональный подбор машин и оборудования, с учетом особенностей природно-производственных условий эксплуатации, применяемых на транспортировке биоэнергосырья и биотоплива, позволит оптимизировать затраты и увеличить экономическую эффективность всей технологической цепочки.

Список литературы

1. Шегельман И.Р., Шукин П.О., Морозов М.А. Место биоэнергетики в топливно-энергетическом балансе лесопромышленного региона // Перспективы науки. 2011. № 12 (27). С. 187–190.
2. Кольниченко Г.И., Тарлаков Я.В., Сиротов А.В. Биоэнерготехнологии и лесопромышленный комплекс // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2017. № 5. С. 64–68.
3. Линник В.Ю., Линник Ю.Н. Состояние и перспективы развития биоэнергетики // Вестник университета. 2019. № 10. С. 59–66.
4. Михайлов К.Л., Гушин В.А., Тараканов А.М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 6 (354). С. 98–109.
5. 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.
6. Шегельман И.Р., Кузнецов А.В., Баглагин 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.
7. Леонов Е.А., Клоков Д.В. Производство топливной щепы на лесозаготовительных терминалах деревообрабатывающих предприятий // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 95–99.
8. Суханов Ю.В., Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю. Оценка экономической эффективности систем машин для производства топливной щепы в республике Карелия // Resources and Technology. 2013. Т. 10. № 1. С. 1–23.
9. Большаков Б.М., Андрюшин М.И., Дороничева Е.В. Развитие технологий и машин при рубках ухода за лесом в Финляндии и Швеции // Лесохозяйственная информация. 2019. № 2. С. 111–128.
10. Ильюшенко Д.А., Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Орлов В.В., Гусева Т.А., Иванов В.А., Никифорова В.А. Технологии производства топливной щепы из лесосечных отходов при заготовке древесины 250–300 тыс. пл. м³ в год // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 175–184.