

## Обоснование параметров и показателей работы вездеходного адаптера для малого универсального лесного трактора

А.А. Чураков<sup>1а</sup>, И.В. Григорьев<sup>2б</sup>, И.С. Должиков<sup>3с</sup>, Г.А. Калита<sup>4д</sup>, И.А. Савватеева<sup>5е</sup>, С.И. Ревяко<sup>6ф</sup>

<sup>1</sup> ООО «ПИР», пер. Трехпрудный, 9, стр. 2, Москва, Россия

<sup>2</sup> Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское шоссе, 3, Якутск, Республика Саха (Якутия)

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-я Красноармейская, 4, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

<sup>5</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, Якутск, Республика Саха (Якутия)

<sup>6</sup> Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. Кортунова, ул. Пушкинская, 111, Новочеркасск, Россия

<sup>а</sup> ti-lex@yandex.ru, <sup>б</sup> silver73@inbox.ru, <sup>с</sup> idolzhikov222@mail.ru, <sup>д</sup> g.kalita@mail.ru,

<sup>е</sup> karinushka\_nv25@mail.ru, <sup>ф</sup> revyako77@mail.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0009-0003-6066-6402>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, <sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2738-0483>,

<sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3232-6841>, <sup>е</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7445-7383>, <sup>ф</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7362-5042>

Статья поступила 07.10.2024, принята 01.11.2024

*Тракторы малого класса тяги, включая различные транспортно-технологические агрегаты на базе мотоблоков, достаточно широко распространены в сельском и лесном хозяйстве Российской Федерации. В качестве универсальных транспортно-технологических агрегатов они популярны в подсобном хозяйстве. Их обоснованно можно рекомендовать для использования собственниками «дальневосточного» и «сибирского» гектаров. Как показывает опыт зарубежных ученых и коллег из Уральского государственного лесотехнического университета, тракторы малого класса тяги могут эффективно использоваться на малообъемных выборочных рубках, особенно в рубках ухода за лесом. Ранее авторами статьи была обоснована недорогая технологичная конструкция адаптера для мотоблока, позволяющая сделать на его базе высокопроходимое транспортное средство небольшой грузоподъемности, которое может быть востребовано как в подсобном сельскохозяйственном производстве, так и на различных операциях в лесном хозяйстве и при различных видах пользования лесом. Данная статья посвящена обоснованию параметров и показателей работы вездеходного адаптера для малого универсального лесного трактора. В частности, выполнен расчет тягово-скоростной характеристики с учетом руководящего уклона пути, свойств поверхности движения, грузоподъемности трактора, особенностей трансмиссии и органов управления. Определены максимальная и минимальная устойчивые скорости на первой передаче, а также максимальная скорость на второй передаче, обоснованы параметры двигателя.*

**Ключевые слова:** средства малой механизации; вездеходная техника; лесопользование; мини-тракторы; мотоблоки; лесное хозяйство.

## Justification of the parameters and performance indicators of an all-terrain adapter for a small universal forest tractor

A.A. Churakov<sup>1а</sup>, I.V. Grigoriev<sup>2б</sup>, I.S. Dolzhikov<sup>3с</sup>, G.A. Kalita<sup>4д</sup>, I.A. Savvateeva<sup>5е</sup>, S.I. Revyako<sup>6ф</sup>

<sup>1</sup> LLC "PIR"; 9, bld. 2, Trekhprudny Lane, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Arctic State Agrotechnological University; 3 km, house 3, Sergelyakhskoye Shosse, Yakutsk, Republic of Sakha

<sup>3</sup> St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Pacific State University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

<sup>5</sup> Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov; 58, Belinsky St., Yakutsk, Republic of Sakha

<sup>6</sup> Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. Kortunov; 111, Pushkinskaya St., Novocherkassk, Russia

<sup>а</sup> ti-lex@yandex.ru, <sup>б</sup> silver73@inbox.ru, <sup>с</sup> idolzhikov222@mail.ru, <sup>д</sup> g.kalita@mail.ru,

<sup>е</sup> karinushka\_nv25@mail.ru, <sup>ф</sup> revyako77@mail.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0009-0003-6066-6402>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, <sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2738-0483>,

<sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3232-6841>, <sup>е</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7445-7383>, <sup>ф</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7362-5042>

Received 07.10.2024, accepted 01.11.2024

*Tractors of small traction class, including various transport and technological units based on tillers, are quite widespread in agriculture, forestry and forestry in the Russian Federation. As fairly universal transport and technological units, they are popular in the household. They can be recommended for use by owners of the Far Eastern and Siberian hectares. As the experience of foreign colleagues and colleagues from the Ural State Forestry Engineering University shows, tractors of a small traction class can be used quite effectively in low-volume selective logging, especially logging of forest care. Earlier, the authors of this article justified an inexpensive, technological design of an adapter for a tillerblock, which makes it possible to make a highly passable small-capacity vehicle on its basis, which can be in demand both in auxiliary agricultural production, and in various operations in forestry, and in various types of forest use. This article is devoted to the substantiation of the parameters and performance indicators of an all-terrain adapter for a small universal forest tractor. In particular, the traction and speed characteristics are calculated, taking into account the guiding slope of the track, the properties of the movement surface, the tractor's load capacity, the characteristics of the transmission and controls. The maximum and minimum stable speeds in first gear, as well as the maximum speed in second gear, are determined, and the engine parameters are justified.*

**Keywords:** means of small mechanization; all-terrain vehicles; forestry; mini-tractors; tillers; forestry.

**Введение.** Как было отмечено в аннотации к данной статье, тракторы малого класса тяги, включая различные транспортно-технологические агрегаты на базе мотоблоков, достаточно широко распространены в сельском и лесном как в России, так и за рубежом [1–5].

В лесозаготовительном производстве, в лесном хозяйстве они могут успешно использоваться на малообъемных транспортных и технологических операциях, включая рубки ухода за лесом и борьбу с лесными пожарами [6–10]. Также такая техника незаменима в лесопромышленном производстве (сбор пищевой продукции леса).

Как и обычные тракторы, по виду движителя они подразделяются на колесные и гусеничные.

В работах [1; 7; 10] представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности использования гусеничных мини-тракторов на рубках ухода за лесом, включая опытный образец трелевочного мини-трактора МТР-1 отечественного производства.

Мини-тракторы такой конструкции хорошо известны в лесном хозяйстве зарубежных стран [11–15].

Вместе с тем, у всех гусеничных машин, включая мини-тракторы, есть недостаток, связанный со сложностью их самостоятельной перебазировки между участками работ — вырубками, лесосеками, питомниками и т. д. Для перебазировки с одного участка работы на другой требуется специальное транспортное средство — конечно, не тягач с тралом, как для больших тракторов, но хотя бы джип с прицепом. В этой связи во многих подсобных и лесных хозяйствах России и зарубежных стран гусеничные мини-тракторы постепенно замещаются мини-тракторами с колесным движителем, в том числе при выполнении операции трелевки на малообъемных рубках лесных насаждений.

В [16] была обоснована недорогая технологичная конструкция адаптера для мотоблока, позволяющая сделать на его базе высокопроходимое транспортное средство небольшой грузоподъемности, которое может быть востребовано как в подсобном сельскохозяйственном производстве, так и на различных операциях в лесном хозяйстве, в лесопромышленном производстве, при рекреационном пользовании лесом, патрулировании участков лесного фонда и т. д.

Благодаря тому, что предложенная конструкция вездеходного адаптера предусматривает привод крутящего момента от двигателя только на переднюю ось,

обеспечивается возможность свободного вращения колес задней оси.

Движителем вездеходного адаптера служат шины-оболочки сверхнизкого давления, установленные на сварной трубчатый обод. Это позволяет адаптеру транспортировать экипаж до двух человек и прицеп практически по любому бездорожью, включая почвогрунты III и IV категории, в теплое время года, а также преодолевать небольшие водные преграды вплавь. Воздействие движителя адаптера на почвогрунты является особо средоохлаждающим, поскольку не приводит к образованию колеи и переуплотнению, что крайне важно в условиях лесов на вечной мерзлоте, при движении по тундре, на особо охраняемых природных территориях.

В дальнейшем концепт вездеходного адаптера для малого универсального лесного трактора был доработан в плане обоснования параметров и показателей его работы.

Для этого, в первую очередь, необходимо было выбрать оптимальный базовый мотоблок, служащий энергетическим модулем рассматриваемого вездеходного адаптера, который отвечал бы ряду требований по минимально возможной стоимости приобретения и владения, достаточной надежности и доступности оригинальных запасных частей и расходных материалов, простоте в обслуживании и эксплуатации.

Как известно, к ручным моторным сельскохозяйственным инструментам (средствам малой механизации сельского хозяйства) относятся культиваторы и мотоблоки. В данном исследовании речь идет именно о мотоблоках, поскольку мотокультиваторы являются специализированным оборудованием, предназначенным только для почвообрабатывающих операций, в то время как мотоблоки являются достаточно универсальным оборудованием, способным приводить в действие различное пассивное и активное технологическое оборудование. Для этого в конструкции мотоблоков предусмотрено наличие систем отбора мощности от двигателя в виде валов или шкивов. Эта конструктивная особенность позволяет достаточно просто использовать мотоблоки в качестве энергетического модуля для различных адаптеров, в том числе и вездеходного.

В подавляющем большинстве случаев на мотоблоки устанавливаются бензиновые двигатели, крайне редко — дизельные. По диапазону установленной мощности двигателя мотоблоки часто подразделяют на следующие

щие группы: 1 — с двигателями до 4,5 кВт, 2 — от 4,5 до 5,9 кВт, 3 — 6,0 кВт и более.

При выборе базового мотоблока был выполнен анализ линейки предлагаемых в настоящее время (2024) на отечественном рынке агрегатов.

Как известно, мотоблоки принято подразделять на легкие, средние и тяжелые. Стоимость мотоблоков пропорциональна их массе и энергонасыщенности. При установке мотоблока в состав рассматриваемого вездеходного адаптера его масса не имеет принципиального значения, поскольку мотоблок, прежде всего, играет роль энергетического модуля данной конструкции.

Как показал анализ, все мотоблоки на отечественном рынке имеют, в той или иной степени, зарубежное происхождение. Прежде всего это касается двигателей привода.

Например, мотоблок УГРА НМБ-1Н14 производства ПАО «Калужский двигатель», которое также производит мотоблоки «Ока» и «Аванград», несмотря на название, оснащает свою продукцию двигателями компании *Lifan 177 F (GX270)*, которые, по сути, являются не очень удачной репликой двигателей компании *Honda*. Данный мотоблок имеет снаряженную массу до 100 кг, что, в принципе, позволяет отнести его к легким мотоблокам. Но мощный, 6,6 кВт двигатель ставит его по своим возможностям в линейку средних мотоблоков. Многодисковое керамическое сцепление в масляной ванне и шестеренчатый редуктор позволяют мотоблоку достаточно надежно передавать крутящий момент от двигателя на трехступенчатую коробку передач (три скорости вперед и одна назад, без ряда понижения).

В штатную конструкцию мотоблока УГРА НМБ-1Н14 входит вал отбора мощности, который не только позволяет приводить в действие различные активные технологические оборудование, но и дает возможность передавать мощность, развиваемую двигателем, на стандартный серийный полноприводный адаптер АМПК-1, также производства ПАО «Калужский двигатель», делающий из данного мотоблока мини-трактор.

Это делает мотоблок УГРА НМБ-1Н14 уникальным, поскольку для большинства мотоблоков выпускаются только тележки (типа АПМ, «Целина ПМ-05», АМ-2, «Тандем» ПМ-06 «Целина» и т. д.), без возможности передачи крутящего момента от двигателя на вторую ось. Но предлагаемая в [16] конструкция вездеходного адаптера, каковой АМПК-1 не является, как раз предусматривает, как было отмечено выше, привод крутящего момента от двигателя только на переднюю ось, обеспечивая возможность свободного вращения колес задней оси.

Мотоблок *Huter МК-7000*, производства одноименного бренда, входящего в российскую группу компаний «Ресанта», с четырехтактным одноцилиндровым бензиновым двигателем *Huter OHV* мощностью 5,1 кВт, относится к линейке легких, дешевых, высоко энергонасыщенных мотоблоков, хорошо подходящих в качестве энергетического модуля для рассматриваемой конструкции вездеходного адаптера, но, к сожалению, в его конструкции заднее сцепное устройство закреплено непосредственно на картере трансмиссии, что делает затруднительным его универсальное использование. Кроме этого, данный мотоблок имеет только две

скорости вперед и одну назад. Передача крутящего момента от двигателя обеспечивается за счет двухременного сцепления. Для привода активного технологического оборудования в конструкции мотоблока *Huter МК-7000* предусмотрен вал отбора мощности.

Мотоблок *Stenli 900*, также производства торговой марки *Huter*, с двигателем *Huter OHV* мощностью 5,9 кВт, марки *M168F (Intek OHV Honda)*, имеет цепную передачу крутящего момента от двигателя к трансмиссии и так же, как *Huter МК-7000*, две передачи вперед и одну назад. Снаряженная масса данного мотоблока составляет 90 кг, что также позволяет отнести его к линейке легких, дешевых, высоко энергонасыщенных мотоблоков.

Мотоблок «Нева МБ2» (CR 950) оснащен двигателем *Briggs and Stratton* (США) мощностью 4,9 кВт, шестеренчато-цепной трансмиссией в монолитном алюминиевом картере, которая обеспечивает переключение двух передач вперед и одной назад. Также конструкция данного мотоблока предусматривает возможность использования ременного вариатора для изменения скорости и крутящего момента. Несмотря на то, что мотоблок «Нева МБ2» (CR 950) является российским брендом, страна происхождения двигателя привода в современных политико-экономических условиях выводит его из дальнейшего рассмотрения, несмотря на определенные достоинства конструкции.

Мотоблок «Зубр МТБ-300» одноименного российского производителя оснащен двигателем мощностью 5,1 кВт. Шестеренчато-цепной редуктор обеспечивает возможность переключения двух скоростных режимов вперед и одного назад. Снаряженная масса данного мотоблока составляет 78 кг.

Как видно из приведенного выше материала, несмотря на отечественное происхождение брендов, во многом рассмотренные мотоблоки состоят из иностранных комплектующих. В этой связи для сравнительного анализа также была рассмотрена линейка иностранных мотоблоков. Первым из них явился *Caiman VARIO 60S TWK+* производства компании *Subaru*, с четырехтактным одноцилиндровым бензиновым двигателем *Subaru EP17 OHC* (Япония) мощностью 4,4 кВт. Двигатель оснащен цепным приводом газораспределительного механизма, что значительно улучшает сгорание топлива, снижая токсичность выхлопных газов. Трансмиссия мотоблока имеет автоматическую коробку передач, обеспечивающую плавное переключение скоростей, и шестеренчатый редуктор, более надежный, чем ременная передача. К сожалению, вал отбора мощности данного мотоблока может работать только на передний привод.

Мотоблок *Brado BD-850* оснащен бензиновым двигателем мощностью 5,1 кВт. Все комплектующие для данного мотоблока производятся китайской машиностроительной компанией *Skiper DanYa Industrial Park* и поставляются на сборочные предприятия ряда стран. Как и большинство рассмотренных выше моделей, имеет две передачи вперед и одну назад. Вес данного мотоблока составляет 95 кг.

Исходя из подробного сравнительного анализа конструктивных параметров, эксплуатационных характеристик мотоблоков российских производителей, отзы-

вов пользователей на форумах и чатах, в качестве базового был принят мотоблок «Салют 100» производства АО НПЦ газотурбостроения «Салют», оснащенный двигателем *Honda GX-200* как имеющий широкое распространение и общественное признание. Его подробное описание приведено ниже.

Важным достоинством выбранной для вездеходного адаптера модели мотоблока является его небольшая масса, что позволяет существенно снизить коэффициент тары получаемого в результате транспортного средства. Кроме этого, значительным техническим достоинством данного мотоблока является наличие маслозаполненного редуктора привода колес шестеренчатого типа. Это конструктивное решение позволяет снизить центр тяжести мотоблока, а в составе с вездеходным адаптером — значительно повысить устойчивость и безопасность передвижения на пересеченной местности.

*Целью работы* является расчет тягово-скоростной характеристики с учетом руководящего уклона пути, свойств поверхности движения, грузоподъемности трактора, особенностей трансмиссии и органов управления.

**Материалы и методы исследования.** Двигатель *Honda GX-200* представляет собой классический четырехтактный двигатель внутреннего сгорания с внешним смесеобразованием (карбюраторный, бензиновый) с принудительным воздушным охлаждением, у которого цилиндр расположен под наклоном в  $25^\circ$ . Расположение коленчатого вала горизонтальное, расположение распределительного вала — нижнее (ОНВ).

При весе 16,1 кг, объеме двигателя 0,196 л он обладает мощностью 4,3 кВт при часовом расходе топлива 1,7 л. Штатный объем топливного бака составляет 3,1 л, что обеспечит вездеходному адаптеру для малого универсального лесного трактора около двух часов автономной работы.

К безусловным преимуществам выбранного двигателя можно отнести достаточно высокую литровую мощность; наличие автоматической системы декомпрессии, благодаря которой обеспечивается легкий запуск; проверенные практикой широкой эксплуатации надежность и долговечность благодаря удачной конструкции и высокому качеству используемых при его производстве материалов; соответствие двигателя экологическим стандартам; экономичность — благодаря высокой эффективности сгорания топлива и низкому расходу топлива и масла; эргономичность благодаря низкому уровню вибрации и шума, а также удобной рукоятки ручного стартера.

Отдельно отметим, что нижнее расположение распределительного вала обеспечивает выбранному двигателю простую, а, значит, надежную конструкцию, включая простую и эффективную систему смазки. Они просты в эксплуатации и техническом обслуживании, что немаловажно в полевых условиях.

Предложенная конструкция трансмиссии вездеходного адаптера для малого универсального лесного трактора не позволяет применить классический подход к расчету тягово-скоростной характеристики. Отсутствие синхронизаторов в коробке перемены передач (КПП) мотоблока и особенности органов управления препятствует переключению передач во время движения, эти особенности продиктовали иной подход к рас-

чету параметров движения.

Поэтому используем следующую логику расчета тягово-скоростной характеристики: выбор первой или второй передачи происходит на основании дорожных условиях, движение происходит на той же передаче, на которой было начато движение. Передаточное отношение трансмиссии необходимо подобрать так, чтобы обеспечить трогание с места на первой передаче «вверх по уклону» в сложных дорожных условиях, на минимальной частоте рекомендованного рабочего диапазона двигателя мотоблока.

Расчет был выполнен в такой последовательности: 1. Расчет усилия, необходимого для движения на заданном уклоне  $20^\circ$ . 2. Расчет усилий сопротивления качению для трех различных дорожных условий при движении на заданном уклоне. 3. Расчет скорости, которую может обеспечить двигатель мотоблока на минимальной частоте вращения рабочего диапазона, при движении на уклон для трех вариантов дорожных условий. 4. Расчет скорости для полученного передаточного отношения трансмиссии для движения с максимальной частотой вращения на I и II передачах.

Расчет был выполнен для следующих дорожных условий: 1. Движение по сухому песку, глубокому снегу или пашне. Этим условиям соответствует коэффициент сопротивления качению 0,22. 2. Движение по заросшему полю. Этому условию соответствует коэффициент сопротивления качению 0,1. 3. Движение по грунтовой дороге. Этому условию соответствует коэффициент сопротивления качению 0,05.

**Результаты и их обсуждение.** Исходные данные для расчета: максимальная масса снаряженного вездеходного адаптера:  $M_b = 250$  кг. Максимальная грузоподъемность вездеходного адаптера:  $M_c = 250$  кг. Максимальный вес снаряженного вездеходного адаптера с грузом:

$$G_{\text{вз}} = (M_b + M_c)g, \quad (1)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

Подставив исходные данные для расчета в выражение (1), получим  $G_{\text{вз}} = 4,905$  кН.

Максимальная допустимая скорость вездеходного адаптера:  $V_{\text{max}} = 18$  км/ч.

КПД трансмиссии вездеходного адаптера:  $\eta = 0,8$ .

Максимальная мощность двигателя вездеходного адаптера:  $N = 4,4$  кВт.

Максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя в рекомендованном производителем диапазоне:  $n_{\text{max}} = 3\ 600$  об./мин.

Минимальная частота вращения коленчатого вала двигателя в рекомендованном производителем диапазоне:  $n_{\text{min}} = 2\ 000$  об./мин.

Мощность двигателя вездеходного адаптера при минимальных оборотах рекомендованного производителем скоростного диапазона:  $N = 2,5$  кВт.

Максимальный преодолеваемый вездеходным адаптером уклон составляет:  $\alpha = 20^\circ$ .

Площадь лобового сопротивления вездеходного адаптера составляет:  $S = 3$  м.

Коэффициент сопротивления воздуха:  $k = 0,4$ .

Значение коэффициента сопротивления качению для сложных условий бездорожья (сухого песка, глу-

бокого снега, вспаханного поля, вырубки) составляет:  $f_1 = 0,22$ .

Значение коэффициента сопротивления качению для несложных условий бездорожья (заросшего поля, леса) составляет:  $f_1 = 0,1$ .

Значение коэффициента сопротивления качению для сложных условий грунтовой дороги составляет:  $f_1 = 0,05$ .

Скорость вездеходного адаптера на стандартных колесах на первой передаче:  $V_1 = 2,8$  км/ч.

Скорость вездеходного адаптера, на стандартных колесах на второй передаче:  $V_1 = 6,3$  км/ч.

Соотношение между скоростями вездеходного адаптера на первой и второй передачах ( $Z$ ):

$$Z = \frac{V_2}{V_1} = 2,25.$$

Определим затрачиваемую вездеходным адаптером мощность на сопротивление воздуха при максимальной скорости.

Потери мощности из-за сопротивления воздуха при перемещении вездеходного адаптера составят:

$$N_B = \frac{kS \left(\frac{V_{max}}{3,6}\right)^3}{1000\eta}. \quad (2)$$

Подставив исходные данные для расчета в выражение (2), получим  $N_B = 0,188$  кВт. Столь незначительная величина потерь мощности из-за сопротивления воздуха при максимальной скорости вездеходного адаптера показывает, что в дальнейших расчетах ей можно пренебречь.

Сопротивление от веса груза при движении вездеходного адаптера на склоне составит:

$$P_i = G_{\text{г}} \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

Подставив исходные данные для расчета в выражение (3), получим  $P_i = 1,678$  кН.

Сопротивление от силы сопротивления качению при движении вездеходного адаптера на склоне составит, кН:

$$P_f = G_{\text{г}} \cdot f_1 \cdot \sin \alpha. \quad (4)$$

Тогда:

$$Pf = \begin{pmatrix} 0 \\ 1,014 \times 10^3 \\ 460,919 \\ 230,46 \end{pmatrix}.$$

Скорость вездеходного адаптера при движении на склоне при минимальной рабочей частоте вращения коленчатого вала двигателя, м/с:

$$VUmin_i = \left( \frac{Nmin \cdot \eta \cdot 1000}{Pf_i + P_i} \right). \quad (5)$$

Тогда:

$$VUmin = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,743 \\ 0,935 \\ 1,048 \end{pmatrix}.$$

Скорость вездеходного адаптера при движении на склоне при минимальной рабочей частоте вращения коленчатого вала двигателя, км/ч:

$$VUmin \cdot 3,6 = \begin{pmatrix} 0 \\ 2,675 \\ 3,367 \\ 3,773 \end{pmatrix}.$$

Скорость вездеходного адаптера при разгоне до максимальной частоты вращения коленчатого вала на первой передаче трансмиссии, км/ч:

$$VUmax_i = VUmin_i \cdot 3,6 \left( \frac{n_{max}}{n_{min}} \right). \quad (6)$$

Тогда:

$$VUmax = \begin{pmatrix} 0 \\ 4,815 \\ 6,06 \\ 6,792 \end{pmatrix}.$$

Максимальная скорость вездеходного адаптера на второй передаче относительно расчетного значения движения склоне составит, км/ч:

$$V_{max} = 4,815Z. \quad (7)$$

Тогда:

$$V_{max} = 10,834 \text{ км/ч.}$$

**Выводы.** В результате получены следующие скоростные показатели предложенного концепта вездеходного адаптера для малого универсального лесного трактора:

- минимальная устойчивая скорость для первой передачи 2,7 км/ч,
  - максимальная скорость на первой передаче 4,8 км/ч,
  - максимальная скорость на второй передаче 10,8 км/ч.
- Максимальный преодолеваемый уклон не менее 20°.

Рассмотренная в статье конструкция вездеходного адаптера наиболее оптимальна для применения в условиях, когда необходимо регулярно быстро перемещаться как по дорогам общего пользования, так и вне дорог, по песку, почвогрунтам со слабой несущей способностью. Перемещение по дорогам общего пользования наиболее оптимально осуществлять при помощи легковых автомобилей повышенной проходимости с прицепом. При этом погрузку и выгрузку вездеходного адаптера для малого универсального лесного трактора возможно выполнять без использования грузоподъемной техники.

Известные варианты подобных технических решений имеют либо худшую проходимость, либо значительно большую стоимость, либо большую сложность в конструкции, эксплуатации, ремонте, техническом обслуживании, перемещении по дорогам общего пользования.

Помимо малообъемных рубок лесных насаждений, предлагаемый вездеходный адаптер может быть эффективно использован в составе транспортно-технологических комплексов для тушения лесных пожаров и/или наземного патрулирования участков лесного фонда в пожароопасный период [9; 17; 18], для лесопромышленного производства — сбора и переработки пищевой и лекарственной продукции леса [19–21], на работах по сбору порубочных остатков, искусственному и комбинированному лесовосстановлению [22; 23], успешно обеспечивать выполнение транспортных операций в условиях лесных терминалов [24–26].

*Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>*

### Литература

1. Теринов Н.Н., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Залесов С.В., Терехов Г.Г., Толкач О.В. Технологические схемы использования мини-тракторов на рубках ухода за лесом // Resources and Technology. 2023. Vol. 20, № 4. P. 1-27.
2. Герц Э.Ф., Куницкая О.А., Макуев В.А., Дмитриев А.С., Тихонов Е.А., Григорьева О.И. Средоадаптированные технологии разработки лесосек в условиях Свердловской области // Деревообрабатывающая пром-сть. 2023. № 1. С. 52-63.
3. Gerts E.F., Kunitskaya O.A., Runova E.M., Tikhonov E.A., Timokhov R.S., Mikhaylenko E., Chemshikova Ju., Perfiliev P.N. Forest preservation techniques in the Urals // International Journal of Environmental Studies. 2023. Vol. 80, № 4. P. 1055-1064.
4. Ryabukhin P.B., Kunitskaya O.A., Burgonutdinov A.M., Makuev V.A., Sivtseva T.V., Zdrauskaite N.O., Gerts E.F., Markov O.B. Improving the efficiency of forest companies by optimizing the key indicators of sustainable forest management: a case study of the Far East // Forest Science and Technology. 2022. Vol. 18, № 4. P. 190-200.
5. Terinov N., Toybich V., Gertz E., Mekhrentsev A., Azarenok V., Kazantsev P. Modernization of mini-tractor for wood skidding // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser.: International Forestry Forum Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions, 2021. P. 012086.
6. Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф., Безгина Ю.Н. Трелевка древесины мини-трактором при проходных рубках в сосняках // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VII Всерос. науч.-технической конф. (25-27 мая 2022 г.). СПб., 2022. С. 113-116.
7. Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф. Обоснование технологических параметров процесса трелевки древесины мини-трактором при проходных рубках // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2022. № 6 (390). С. 126-138.
8. Уразова А.Ф., Герц Э.Ф. Рациональная организация рубок ухода с использованием бензомоторной пилы и мини-трактора // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 4 (83). С. 82-87.
9. Гринько О.И., Должиков И.С., Григорьева О.И. Лесопожарные комплексы на базе мини-тракторов // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: материалы Всерос. науч.-практической конф. (24-28 апр. 2023 г.). Казань, 2023. С. 101-105.
10. Григорьева О.И., Панарин А.О. Перспективные пути повышения эффективности рубок ухода в молодняках // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: материалы Всерос. науч.-практической конф. (24-28 апр. 2023 г.). Казань, 2023. С. 70-73.
11. Пятакин В.И., Григорьев И.В., Релькин А.К., Иванов В.А., Пошарников Ф.В., Шегельман И.Р., Ширнин Ю.А., Кацадзе В.А., Валяжонков В.Д., Бит Ю.А., Матросов А.В., Куницкая О.А. Технология и машины лесосечных работ. СПб.: СПбГПУ, 2012. 362 с.
12. Григорьева О.И. Повышение эффективности проведения рубок ухода за лесом // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Второй Всерос. науч.-практической конф. с междунар. участием, посвящ. 65-летию высш. лесного образования в Республике Карелия (24 мая 2016 г.). Петрозаводск, 2016. С. 70-73.
13. Григорьева О.И. Перспективные направления повышения эффективности проведения рубок ухода за лесом // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Третьей Всерос. науч.-практической конф. с междунар. участием (30 мая 2017 г.). Петрозаводск, 2017. С. 56-58.
14. Григорьева О.И., Нгуен Ф.З. Перспективная техника для проведения рубок ухода за лесом // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы науч.-технической конф. (13-15 апр. 2016 г.). СПб., 2016. С. 112-114.
15. Rego G.E., Voronov R.V., Grigoreva O.I. Algorithms for calculating schemes of transport routes in a felling area // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2. Ser: II All-Russian Scientific-Technical Conference Digital Technologies in Forest Sector, 2021. P. 012025.
16. Чураков А.А., Григорьев И.В., Должиков И.С., Григорьева О.И., Тихонов Е.А., Ревако С.И. Вездеходный адаптер на базе мотоблока для различных лесных работ // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 2 (58). С. 113-120.
17. Лоренц А.С., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Рябухин П.Б. Исследование применения иглофильтров в составе вакуумных установок для повышения эффективности борьбы с лесными пожарами // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 124-129.
18. Тетеревлева Е.В., Гринько О.И., Григорьева О.И. Транспортно-технологические машины для тушения лесных пожаров на базе колесных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-технической конф. (22 окт. 2020 г.). Тюмень, 2020. С. 374-377.
19. Григорьева О.И. Эффективность транспортно-технологических систем для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-технической конф. (19 апр. 2018 г.). Тюмень, 2018. С. 79-83.
20. Иванов Н.А. Эффективность легких колесных вездеходов при эксплуатации в лесах // Технология колесных и гусеничных машин. 2015. № 3 (19). С. 13-19.
21. Иванов Н.А. Новые технологии лесопроизводства на базе легких вездеходов // Forest Engineering: материалы науч.-практической конф. с междунар. участием (30-31 мая 2018 г.). Якутск, 2018. С. 103-107.
22. Трушевский П.В., Куницкая О.А., Должиков И.С., Макуев В.А., Ревако С.И., Григорьева О.И. Анализ технических и технологических решений очистки лесосек от порубочных остатков // Resources and Technology. 2023. Vol. 20, № 4. P. 89-138.
23. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Технология и машины лесовосстановительных работ. М.: Деревообрабатывающая пром-сть, 2015. 230 с.
24. Куницкая О.А., Помигуев А.В., Афоничев Д.Н., Григорьев В.И., Дмитриева И.Н., Григорьев Г.В. Альтернативные источники энергии для автономного энергоснабжения удаленных объектов сельского хозяйства и лесного комплекса // Вестн. Воронежского гос. аграрного ун-та. 2022. Т. 15, № 1 (72). С. 71-81.
25. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Функциональные возможности и эксплуатационные характеристики средств энергоснабжения лесных терминалов // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Седьмой Всерос. нац. науч.-практической конф. с междунар. участием (25 мая 2021 г.). Петрозаводск, 2021. С. 102-103.
26. Куницкая О.А., Стородубцева Т.Н., Помигуев А.В. Энерго-ресурсосберегающие технологии электроснабжения лесных терминалов // Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике: материалы Всерос. науч.-

технической конф. (19-20 окт. 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 112-117.

### References

1. Terinov N.N., Gerc E.F., Mekhrencev A.V., Zalesov S.V., Terekhov G.G., Tolkach O.V. Technological schemes of using mini-tractors in logging of forest care // Resources and Technology. 2023. Vol. 20, № 4. P. 1-27.
2. Gerc E.F., Kunickaya O.A., Makuev V.A., Dmitriev A.S., Tihonov E.A., Grigor'eva O.I. Environmental technologies for the development of logging sites in the Sverdlovsk region // Derevoobrabatvayushaya promishlennost (Woodworking industry). 2023. № 1. P. 52-63.
3. Gerts E.F., Kunitskaya O.A., Runova E.M., Tikhonov E.A., Timokhov R.S., Mikhaylenko E., Chemshikova Ju., Perfiliev P.N. Forest preservation techniques in the Urals // International Journal of Environmental Studies. 2023. Vol. 80, № 4. P. 1055-1064.
4. Ryabukhin P.B., Kunitskaya O.A., Burgonutdinov A.M., Makuev V.A., Sivtseva T.V., Zadrauskaite N.O., Gerts E.F., Markov O.B. Improving the efficiency of forest companies by optimizing the key indicators of sustainable forest management: a case study of the Far East // Forest Science and Technology. 2022. Vol. 18, № 4. P. 190-200.
5. Terinov N., Toybich V., Gertz E., Mekhrentsev A., Azarenok V., Kazantsev P. Modernization of mini-tractor for wood skidding // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser.: International Forestry Forum Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions, 2021. P. 012086.
6. Gerc E.F., Mekhrencev A.V., Terinov N.N., Urazova A.F., Bezgina Yu.N. Wood skidding with a mini-tractor during logging in pine forests // Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: materialy VII Vseros. nauch.-tekhneskoj konf. (25-27 maya 2022 g.). SPb., 2022. P. 113-116.
7. Gerc E.F., Mekhrencev A.V., Terinov N.N., Urazova A.F. Substantiation of technological parameters of the process of skidding wood with a mini-tractor during logging // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2022. № 6 (390). P. 126-138.
8. Urazova A.F., Gerc E.F. Rational organization of care felling using a gasoline-powered saw and a mini-tractor // The Woods of Russia and economy in them. 2022. № 4 (83). P. 82-87.
9. Grin'ko O.I., Dolzhikov I.S., Grigor'eva O.I. Forest fire complexes based on mini-tractors // Aktual'nye problemy lesnogo hozyajstva i derevopererabotki: materialy Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (24-28 apr. 2023 g.). Kazan', 2023. P. 101-105.
10. Grigor'eva O.I., Panarin A.O. Promising ways to improve the efficiency of logging care in young trees // Aktual'nye problemy lesnogo hozyajstva i derevopererabotki: materialy Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (24-28 apr. 2023 g.). Kazan', 2023. P. 70-73.
11. Patyakin V.I., Grigor'ev I.V., Red'kin A.K., Ivanov V.A., Posharnikov F.V., Shegel'man I.R., Shirin Yu.A., Kacadze V.A., Valyazhonkov V.D., Bit Yu.A., Matrosov A.V., Kunickaya O.A. Technology and machines of logging operations. SPb.: SPbGPU, 2012. 362 p.
12. Grigor'eva O.I. Improving the efficiency of logging of forest care // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Vtoroj Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 65-letiyu vyssh. lesnogo obrazovaniya v Respublike Kareliya (24 maya 2016 g.). Petrozavodsk, 2016. P. 70-73.
13. Grigor'eva O.I. Promising directions for improving the efficiency of logging of forest care // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Tretej Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (30 maya 2017 g.). Petrozavodsk, 2017. P. 56-58.
14. Grigor'eva O.I., Nguen F.Z. Promising equipment for logging of forest care // Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: materialy nauch.-tekhneskoj konf. (13-15 apr. 2016 g.). SPb., 2016. P. 112-114.
15. Rego G.E., Voronov R.V., Grigoreva O.I. Algorithms for calculating schemes of transport routes in a felling area // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2. Ser: II All-Russian Scientific-Technical Conference Digital Technologies in Forest Sector, 2021. P. 012025.
16. Churakov A.A., Grigor'ev I.V., Dolzhikov I.S., Grigor'eva O.I., Tihonov E.A., Revyako S.I. All-terrain adapter based on a tillerblock for various forest operations // Systems. Methods. Technologies. 2023. № 2 (58). P. 113-120.
17. Lorenc A.S., Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Ryabuhin P.B. Investigation of the use of needle filters as part of vacuum installations to increase the effectiveness of fighting forest fires // Systems. Methods. Technologies. 2023. № 4 (60). P. 124-129.
18. Teterleva E.V., Grin'ko O.I., Grigor'eva O.I. Transport and technological machines for extinguishing forest fires based on wheeled all-terrain vehicles // Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhneskoj konf. (22 okt. 2020 g.). Tyumen', 2020. P. 374-377.
19. Grigor'eva O.I. Efficiency of transport and technological systems for forestry // Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhneskoj konf. (19 apr. 2018 g.). Tyumen', 2018. P. 79-83.
20. Ivanov N.A. Efficiency of light wheeled all-terrain vehicles during operation in forests // Technology of wheeled and tracked machines. 2015. № 3 (19). P. 13-19.
21. Ivanov N.A. New technologies of timber production based on passenger cars // Forest Engineering: materialy nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (30-31 maya 2018 g.). Yakutsk, 2018. P. 103-107.
22. Trushevskij P.V., Kunickaya O.A., Dolzhikov I.S., Makuev V.A., Revyako S.I., Grigor'eva O.I. Analysis of technical and technological solutions for clearing cutting areas from felling residues // Resources and Technology. 2023. Vol. 20, № 4. P. 89-138.
23. Safin R.R., Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Razumov E.Yu. Technology and machines of reforestation. M.: Derevoobratvayushchaya prom-st', 2015. 230 p.
24. Kunickaya O.A., Pomiguyev A.V., Afonichev D.N., Grigor'ev V.I., Dmitrieva I.N., Grigor'ev G.V. Alternative energy sources for autonomous power supply of remote agricultural and forestry facilities // Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2022. V. 15, № 1 (72). P. 71-81.
25. Kunickaya O.A., Pomiguyev A.V. Functional capabilities and operational characteristics of power supply facilities for forest terminals // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Sed'moj Vseros. nac. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (25 maya 2021 g.). Petrozavodsk, 2021. P. 102-103.
26. Kunickaya O.A., Storodubceva T.N., Pomiguyev A.V. Energy-resource-saving technologies of power supply of forest terminals // Ekologo-resursoberegayushchie tekhnologii v nauke i tekhnike: materialy Vseros. nauch.-tekhneskoj konf. (19-20 okt. 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 112-117.