

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 623.437.3.093; 629.03; 629.36

DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-114-119

Увеличение подвижности гусеничных вездеходов для вахтовых лесозаготовок

Р.Ю. Добрецов^{1 a}, И.В. Григорьев^{2 b}, В.А. Иванов^{3 c}¹Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого, Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский 5, Санкт-Петербург, Россия³Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия^adr-idpo@yandex.ru, ^bsilver73@inbox.ru, ^civanovva55@mail.ru

Статья поступила 5.04.2016, принята 22.04.2016

В настоящее время приобретает особую актуальность проблема ведения лесозаготовительных работ на территориях, находящихся на значительном расстоянии от населенных пунктов. Длительное пребывание в пути при доставке рабочей группы к месту работы делает необходимой организацию на маршрутах следования временных поселков, эксплуатация которых увеличивает себестоимость лесозаготовительных работ. Минимизировать число таких поселков возможно за счет увеличения скорости прохождения маршрута транспортной машиной, что достижимо как минимум тремя путями. Это прокладка на местности дорог, допускающих применение колесного транспорта, использование транспортных средств с альтернативным бесконтактным двигателем и применение быстроходных гусеничных машин. Первые два пути требуют значительных финансовых вложений. Эксплуатация транспортных гусеничных машин в условиях слабо развитой дорожной сети и бездорожья — это компромисс, позволяющий минимизировать вложения в подготовку трассы движения в сочетании с умеренными эксплуатационными расходами на содержание парка транспортных средств. В контексте решения задачи по минимизации временных затрат на переброску людей и грузов на заданные расстояния ограничение накладывают, в большей степени, управляемость и устойчивость машины при движении на больших скоростях, а также эффективность передачи сил тяги на опорное основание. Увеличить скорость прохождения трассы быстроходной гусеничной машиной возможно путем установки замкнутой системы управления поворотом. За счет подавления эффекта неустойчивости траков и связанного с ним положительного смещения машины можно ожидать снижения расхода топлива на 8–10 %. Ожидаемый экономический эффект от реализации предложений, изложенных в статье, складывается из снижения эксплуатационных расходов при использовании гусеничных вездеходов и затрат на организацию и содержание рабочих поселков на пути следования машин.

Ключевые слова: гусеничные вездеходы; вахтовые лесозаготовки; высокоскоростные гусеничные машины.

Mobility increase in all-terrain tracked vehicles for logging camp-type operations

R. Yu. Dobretsov^{1 a}, I. V. Grigorev^{2 b}, V. A. Ivanov^{3 c}¹Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University; 29, Polytechnicheskaya St., St. Petersburg, Russia²St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky per., St. Petersburg, Russia³Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia^adr-idpo@yandex.ru, ^bsilver73@inbox.ru, ^civanovva55@mail.ru

Received 5.04.2016, accepted 22.04.2016

The problem of logging operations conducting on the territories, remoted from the housing at a considerable distance, is becoming of current interest nowadays. Being upon the road for a long time, while getting working groups to the work place, makes it necessary to organize temporary settlements on the routes, which increases the prime cost of logging operations. To minimize the number of such settlements is possible by increasing the speed of passing the route by a vehicle. This can be achieved in at least three ways: by laying the roads, allowing the use of wheeled transport; by using the vehicles with an alternative non-contact propulsion unit; by using high-speed tracked vehicles. The first two ways require considerable financial investments. The operation of the tracked vehicle under conditions of poorly developed roads and off-road is a compromise allowing to minimize the investment into the road preparation combined with moderate operating costs of a vehicle fleet. When solving the problem on minimizing the time, required to get people and cargo at the specified distance, restrictions are imposed, to a greater extent, the handling and stability of vehicle movement at high speeds, as well as the efficiency of the transmission of the thrust forces on the substructure. To increase the transmission speed for high-speed tracked vehicle is possible by installing a closed-loop system of rotation control. By suppressing the effect of instability of trucks and vehicle positive displacement connected with it, the decrease in fuel consumption is expected by 8-10%. The economic effect expected

from the implementation of the proposals consists of the lower operating costs when using tracked vehicles and costs to the organization and content of the settlements for working groups on the routes.

Key words: all-terrain tracked vehicles; logging camp-type operations; high-speed tracked vehicles.

Введение

Несмотря на то, что расчетная лесосека в России, даже с учетом нелегальных рубок, осваивается не более чем на 50 %, доступные запасы спелых хвойных лесов осваиваются практически полностью и даже перерубаются [1].

Из-за длительного процесса лесовосстановления среднее плечо вывозки древесины на лесозаготовительных предприятиях постоянно растет и уже достигает для ряда сибирских лесозаготовительных компаний 250–300 км [2]. Этим объясняется актуальность проблемы ведения лесозаготовительных работ на территориях, удаленных от населенных пунктов на значительные расстояния.

Длительное пребывание в пути при доставке рабочей группы (вахты) к месту работы делает необходимой организацию на маршрутах следования временных поселков, эксплуатация которых увеличивает себестоимость лесозаготовительных работ.

Минимизировать число таких поселков возможно за счет увеличения скорости прохождения маршрута транспортной машиной, что достижимо как минимум тремя путями. Это прокладка на местности дорог, допускающих применение колесного транспорта, использование транспортных средств с альтернативным бесконтактным двигателем (машины на воздушной подушке, экранопланы) и применение быстроходных гусеничных машин.

Первые два пути требуют значительных финансовых вложений. Эксплуатация транспортных гусеничных машин в условиях слабо развитой дорожной сети и бездорожья — это компромисс, позволяющий минимизировать вложения в подготовку трассы движения в сочетании с умеренными эксплуатационными расходами на содержание парка транспортных средств. В контексте решения задачи по минимизации временных затрат на переброску групп людей и грузов на заданные расстояния ограничение накладывают, в большей степени, управляемость и устойчивость движения машины на относительно больших скоростях, а также эффективность работы системы поддрессирования и передачи сил тяги на опорное основание.

При многократных проходах гусеничных машин с близкими геометрическими характеристиками ходовой системы трасса приобретает характерный синусоидальный профиль. Период синусоиды кратен длине опорной поверхности машин. Амплитуда определяется в конечном счете несущей способностью полотна пути. Такой профиль является резонансным, его формирование приводит к возникновению значительных вертикальных и угловых ускорений, воздействующих на водителя, пассажиров и груз. Результатом является снижение скорости прохождения машиной резонансного участка трассы [3].

Рациональный выбор маршрута позволяет предельно снизить суммарную длину криволинейных участков, на которых скорость движения ограничена в первую очередь угрозой заноса машины:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{\mu_{max} g B \rho_{кр}}{0,925 + 0,15 \rho_{кр}}},$$

где μ_{max} — максимальное значение коэффициента сопротивления повороту (величина, определяемая экспериментально для различных грунтов [4–6]); g — ускорение свободного падения; B — колея машины, $\rho_{кр} = R_{кр}/B$ — критическое значение относительного радиуса поворота (вводится как отношение критического радиуса поворота к колее машины [4; 5]).

Значения μ_{max} для различных дорожных условий приведены в [6], для типичных грунтов — также в источниках [4; 5]. Для влажных суглинков, например, это значение принимается в пределах 0,30–0,40 и составляет при повороте на рыхлом снегу 0,25–0,30.

Таким образом, вне зависимости от особенностей конструкции механизмов поворота и системы управления поворотом, приближение в повороте к скоростному пределу 25–27 км/ч (приблизительно 7–7,5 м/с), определенному параметрами плавности хода транспортной гусеничной машины в рассматриваемых условиях, требует обеспечения минимального радиуса поворота на трассе, $R_{min} = 50–150$ м, в весенний, летний и осенний сезоны. При наличии снежного покрова на трассе обеспечение безопасности движения требует снижения расчетной скорости прохождения поворота до 19–21 км/ч (5–6 м/с).

Увеличить скорость прохождения трассы быстроходной гусеничной машиной возможно путем установки замкнутой (следающей) системы управления поворотом [7]. Такой подход позволяет в принципе сохранить традиционный для гусеничных вездеходов однопоточный механизм поворота с фрикционными элементами управления (ФЭУ), улучшив его эксплуатационные характеристики. Улучшение управляемости достигается за счет обеспечения однозначной связи между положением органа управления и угловой скоростью поворота машины за счет контроля буксования дисковых ФЭУ. Плавное и устойчивое изменение скорости буксования дисков обеспечивается применением принципа широтно-импульсной модуляции давления [8] в гидравлической системе управления ФЭУ.

На рис. 1 приведена структура замкнутой системы управления поворотом [7]. В состав системы входят: 1 — датчик, связанный с органом управления; 2 — дифференциальный усилитель; 3 — широтно-импульсный модулятор; 4 — объект управления (электромагнитный клапан в гидравлическом приводе ФЭУ); 5 — датчик обратной связи (датчик угловой скорости поворота).

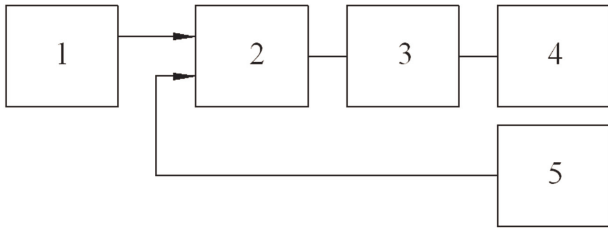


Рис. 1. Структура замкнутой системы управления поворотом: 1 — задатчик; 2 — дифференциальный усилитель; 3 — широтно-импульсный модулятор; 4 — объект управления; 5 — датчик обратной связи

При прямолинейном движении сигналы задатчика 1 и датчика обратной связи 5 равны между собой. Дифференциальный усилитель выдает на выходе нулевое напряжение. Импульсы напряжения на входе модулятора отсутствуют, клапан 4 обесточен, ФЭУ выключен.

Перемещение рычага управления приводит к появлению сигнала от задатчика. Как следствие, появляется сигнал ошибки на выходе дифференциального усилителя 2. Коэффициент заполнения сигнала на входе модулятора 3 стремится к единице, модулятор переходит в режим нагнетания, и начинается заполнение гидроцилиндра ФЭУ.

При входе машины в поворот сигнал ошибки с усилителя 2 снижается. Это вызывает уменьшение значения коэффициента наполнения импульсов на входе модулятора 3. Модулятор 3 начинает попеременно подключать гидроцилиндр к магистрали нагнетания или слива. Наступает динамическое равновесие системы: ФЭУ пробуксовывает с постоянной скоростью, за счет чего осуществляется поворот с постоянным радиусом.

Перемещением органа управления в исходное положение водитель уменьшает значение коэффициента заполнения до нуля. ФЭУ отключается, и машина выходит из поворота.

Описанная система управления поворотом испытана в стендовых условиях и на экспериментальных машинах. Была достигнута абсолютная устойчивость работы во всем диапазоне изменения радиусов поворота. В 3-4 раза возросла стабильность курса машины в повороте, в 3-5 раз уменьшено время запаздывания входа в поворот [7]. Монтаж системы управления предпочтительно осуществлять в заводских условиях, что возможно не только в процессе сборки машины, но и при проведении ремонтных работ или в ходе плановой модернизации.

Улучшение тягово-экономических показателей транспортной гусеничной машины возможно путем рационального выбора геометрических и кинематических характеристик движителя. Исследования авторов [9; 10] показывают, что процесс передачи тягового усилия гусеницей с различным типом шарнира сопровождается непроизводительными перемещениями траков на опорной поверхности, что приводит к потерям энергии. Кроме того, в процесс передачи силы тяги может вовлекаться не вся опорная ветвь [11; 12].

На основании анализа данных [13], наблюдения за работой движителя и стендовых испытаний предложен ряд мер, направленных на стабилизацию траков и сни-

жение связанных с их колебаниями энергозатрат на перемещение машины. На основе этих предложений разрабатывается конструкция трака [14], предназначенного для эксплуатации на машинах малой и средней категории по массе.

На рис. 2 показан эскиз серийного трака ходового макета машины, для которой наблюдается эффект неустойчивости траков при перекатывании опорного катка по беговой дорожке гусеницы. Показанная конструкция траков, соединенных открытым металлическим шарниром последовательного типа, является типичной для отечественных серийных транспортных и тяговых машин. Главные причины неустойчивости траков — это нерациональное расположение грунтозацепов (наличие ненулевых плеч a_1 и a_2), перепады высоты беговой дорожки гусеницы и слабо развитое перекрытие зазора между смежными траками.

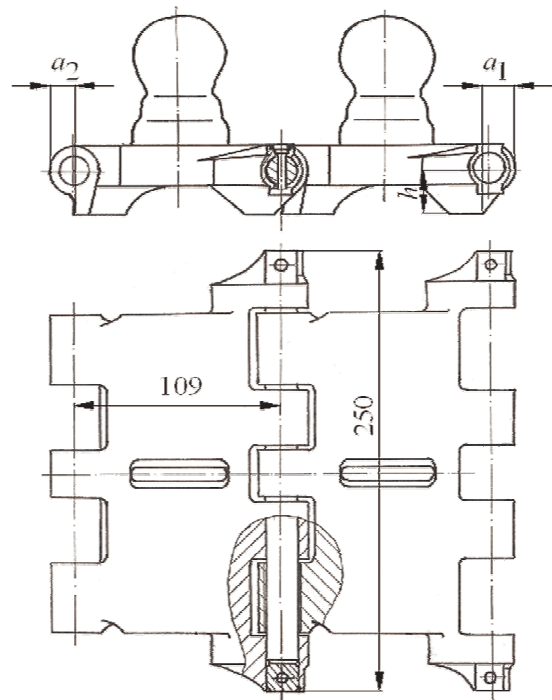


Рис. 2. Серийный трак гусеничной цепи макета транспортной машины: максимальное плечо опрокидывающей силы $a_1 = a_2 = 10$ мм; расстояние от оси шарнира до кромки грунтозацепа $h = 24$ мм

Положительное смещение для пары траков в рассматриваемом примере формируется следующим образом. При перекатывании опорного катка на трак последний теряет устойчивость и поворачивается относительно оси шарнира. В случае недеформируемого основания (испытания на бетоне или стальном листе) опрокидывание сопровождается скольжением кромки грунтозацепа по опорному основанию. В случае деформируемого грунта площадь контакта увеличивается.

Затем скольжение трака прекращается, под воздействием опорного катка он опускается в горизонтальное положение, и происходит подтягивание гусеничной цепи, также сопровождающееся трением гусеницы об опорное основание.

Таким образом, процесс положительного смещения формируется на отдельных участках опорной ветви (в простейшем случае — в парах смежных траков). Такие участки называют активными [11]. Число активных участков гусеницы равно числу опорных катков на борту n . Само опрокидывание трака возможно, если сила натяжения на данном участке гусеничной цепи недостаточна для препятствования этому. Поскольку натяжение в опорной ветви распределено неравномерно (традиционно считается, что форма эпюры натяжения близка к треугольной или трапециевидной), явление развивается преимущественно под передними опорными катками, где сила натяжения ниже.

Для случая, когда «активный» участок j ($j = \overline{1, n}$) затрагивает пару смежных траков, элементарное смещение $\chi_j(x, \{\Phi\})$ формируется при прохождении осью опорного катка пути $2t$ (t — шаг гусеницы, в данном примере $t = 0,109$ м). Здесь $x \in [-t, t]$ — координата оси опорного катка в неподвижной системе координат, связанной с грунтом. Начало этой системы координат расположено в точке на передней кромке грунтозацепа трака, первого (на рассматриваемом участке) в направлении движения катка. В общем случае элементарное смещение есть функция нескольких переменных. В множество $\{\Phi\}$ таких переменных входят инерционный момент, возникающий при повороте звена, равнодействующая реакции опоры, продольная сила, действующая на звено со стороны катка и др. [10; 13]. Поскольку некоторые из этих переменных сами могут вводиться как функции, зависящие, в том числе, от координаты x оси катка, можно вводить $\chi_j(x, \{\Phi\})$ как функционал. С другой стороны, с целью упрощения постановки задачи можно свести проблему к рассмотрению функции одной переменной $\chi_j(x)$ или даже определять зависимость суммарного смещения машины на отрезке пути [9]. В таких случаях факторы, в явном виде не учтенные математической моделью, учитывают с помощью «опытных коэффициентов», характерные значения которых получают для ходовых систем с различными конструктивными признаками.

При перекачивании катка вертикальная нагрузка переносится с трака на трак. Имеет место некоторый закон изменения прижимной силы для скользящего звена: $Z_j = Z_j(x)$.

В предположении, что характеристики грунта под опорной поверхностью (в частности коэффициент сцепления трака с грунтом φ) — это постоянные величины, не зависящие от координаты x , можно оценить энергию, рассеиваемую на паре траков, как:

$$\Delta E_j = 2\varphi \int_{-t}^t \chi_j(x, \{\Phi\}) \cdot Z_j(x) dx.$$

Множитель 2 учитывает наличие двух бортов и вводится в предположении, что нормальная нагрузка распределена между бортами поровну. В общем случае (например, при воздействии внешней поперечной си-

лы) это не так, и задачу нужно решать для каждого борта отдельно. Соответственно, для всей опорной поверхности:

$$\Delta E = 2\varphi \sum_{j=1}^n \left[\int_{-t}^t \chi_j(x, \{\Phi\}) \cdot Z_j(x) dx \right].$$

Ожидаемая мощность дополнительного сопротивления движению:

$$\Delta P = 2\varphi V \sum_{j=1}^n \left[\int_{-t}^t \chi_j(x, \{\Phi\}) \cdot Z_j(x) dx \right] / \sum_{j=1}^n \left[\int_{-t}^t \chi_j(x, \{\Phi\}) dx \right],$$

где V — скорость движения машины, принятая как постоянная величина, не зависящая от координаты x .

Процесс формирования положительного смещения различен для ходовых систем разного конструктивного исполнения (для обрезиненных и металлических опорных катков, различных конструкций беговых дорожек и типов шарниров). Этот вопрос подробно рассмотрен в работах [9–12]. Оценить положительное смещение гусеницы для рассматриваемого ходового макета при малых скоростях движения можно, воспользовавшись зависимостью, предложенной в работе [9]:

$$\lambda = kL^2 h^2 n / (t^2 d),$$

где λ — относительное положительное смещение машины (величина положительного смещения, отнесенная к длине опорной поверхности L . В данном примере $L = 3,25$ м); $k \approx 0,035$ — опытный коэффициент, учитывающий особенности конструкции (в том числе величины a_1 и a_2); $h = 0,024$ м — расстояние от оси шарнира до поверхности грунта; $n = 6$ — число опорных катков на борту; $d = 0,61$ м — принятый диаметр опорного катка.

Для рассматриваемого примера получено значение $\lambda = 0,192$. Этому соответствует увеличение фактического пути на $\chi = 192$ м на каждые 1 000 м. При скорости движения 7–7,5 м/с и массе машины 8 т на грунтовой дороге мощность дополнительного сопротивления качению составит не менее 20 кВт. Следует отметить, что с ростом скорости движения значение положительного смещения траков увеличивается [9].

Таким образом, только за счет подавления эффекта неустойчивости траков и связанного с ним положительного смещения машины можно ожидать снижения расхода топлива на 8–10 %. Кроме того, ожидаются уменьшение глубины колеи машины на деформируемом почвогрунте [12], а также снижение виброактивности опорной поверхности, что приведет к росту реализуемой максимальной скорости прямолинейного движения машины без модернизации системы поддресоривания.

Следует особо отметить, что снижение деформации почвогрунта позволит уменьшить негативные экологические последствия от передвижения вахтовых вездеходов по лесным массивам [14–19]. Вместе с тем, в рамках разработанной на лесоинженерном факультете СПбГЛТУ концепции оценки экологической эффективности лесопользования [20–23], снижение расхода топлива на перемещение вахтовых вездеходов наряду

со снижением затрат на лесовосстановительные работы в целом повысит не только экономическую, но и экологическую эффективность выполнения лесозаготовительных работ при их производстве вахтовым методом.

На рис. 3 показан эскиз сборного трака с открытым металлическим шарниром параллельного типа в соответствии с патентом [24]. Участок гусеничной цепи (показаны смежные траки) состоит из следующих элементов: 1 — пальцы; 2 — проушины; 3 — боковины; 4 — усилители; 5 — неметаллическая вставка; 6 — скоба. Для повышения надежности неметаллическая вставка по сути армирована стальными усилителями.

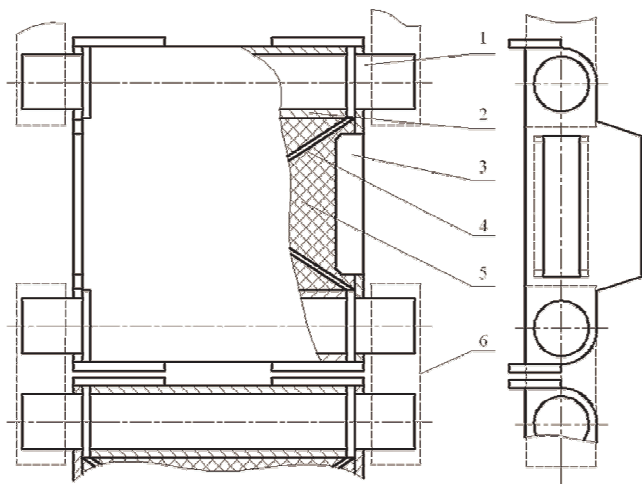


Рис. 3. Схема трака гусеничной цепи по [24]

Основные достоинства предложенной конструкции представляются следующими.

1. Низкая себестоимость изготовления при индивидуальном и мелкосерийном производстве (область применения — опытные машины, макеты, вездеходы различного назначения).

2. Меньшая, по сравнению с литыми и штампованными траками, масса при сохранении преимуществ звенчатой металлической гусеницы.

3. Устойчивость звена при перекачивании опорного катка.

Таким образом, ожидается, что применение звеньев новой конструкции позволит минимизировать неустойчивость траков и существенно снизить затраты мощности на передвижение машины, а также повлияет на увеличение максимальной скорости на прямолинейных участках маршрута.

Заключение

1. Конструкция трансмиссии и ходовой части современного гусеничного вездехода допускает мероприятия по модернизации. Предложены технические решения, способные при малом уровне вложений обеспечить снижение как эксплуатационных расходов, так и времени, затрачиваемого на прохождение маршрута.

2. Ожидаемый экономический эффект от реализации предложений складывается из снижения эксплуатационных расходов при использовании гусеничных вездеходов и затрат на организацию и содержание рабочих поселков на пути следования машин.

1. Grigorev V. Ivanov G. Gasparian A. Nikiforova E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem 2014 conference proceedings 2014. Vol. 2. P 443-446.

2. Григорьев И.В., Куницкая О.А. Современные концепции лесопользования // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т.3. № 2-2 (13-2). С. 212-215.

3. Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: Из-во ЛТА, 2006. 236 с.

4. Носов Н.А., Гальшев В.Д., Волков Ю.П., Харченко А.П. Расчет и конструирование гусеничных машин. Л.: Машиностроение, 1972. 559 с.

5. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1975. 448 с.

6. Теория и конструкция танка / под ред. С.С. Бутова. Т.8. Параметры внешней среды, используемые при расчете танков. М.: Машиностроение, 1987. 196 с.

7. Гальшев Ю.В. Замкнутые системы управления поворотом гусеничных машин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Наука и образование. 2014. № 3 (202). С. 201-208.

8. Бойков А.В. К методу оценки частоты импульсного управления поворотом гусеничной машины // Рабочие процессы компрессоров и установок с ДВС: межвуз. сб. Л.: Изд-во ЛПИ, 1987. С.73-78.

9. Дорогин С.В., Акулов С.В., Степанов В.Н. О сдвиге гусениц при прямолинейном движении танка // Вестник бронетанковой техники. 1959. № 2. С. 48-52.

10. Мазур А.И., Крюков В.В., Фадеев И.Ф. Механизм взаимодействия гусениц с грунтом // ВБТ. 1983. № 3. С. 34-42.

11. Красеньков В.И. Ловцов Ю.И. Быко-Янко А.В. Нормальные давления под гусеницей // Труды МВТУ им. Н.Э.Баумана. 1982. № 390. С. 3-12.

12. Гальшев Ю.В., Добрецов Р.Ю. Эффективность использования опорной поверхности гусеничного движителя при передаче нормальных нагрузок // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Наука и образование. 2013. № 3. С. 272-278.

13. Добрецов Р.Ю. Особенности работы гусеничного движителя в области малых удельных сил тяги // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2009. № 6. С. 25-31.

14. I. Grigorev E. Khitrov A. Kalistratov M. Stepanishcheva. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem 2014 conference proceedings. 2014. Vol. 2. P. 339-344.

15. Grigorev O. Burmistrova M. Stepanishcheva G. Gasparian. The way to reduce ecological impact on forest soils caused by wood skidding // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2014 conference proceedings. 2014. Vol. 2. P. 501-508.

16. Анисимов Г.М., Григорьев И.В., Жукова А.И. Экологическая эффективность трелевочных тракторов. СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2006. 352 с.

17. Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средоадаптивные технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. СПб.: Изд-во ЛТА, 2008. 176 с.

18. Lisov, V.Yu. I.V. Grigorev Determination coefficient filtration of forest soil European Science and Technology: Materials of the IV international research and practice conference, Vol. I, Munich, April 10th – 11th, 2013 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2013. P. 268–274.

19. Григорьев И.В., Былев А.Б., Хахина А.М., Никифорова А.И. Математическая модель уплотняющего воздействия динамики поворота лесозаготовительной машины на боковые полосы трелевочного волока // Учен. зап. Петрозавод. гос. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки. 2012. № 8. С. 72-78.

20. Grigoriev E., Khitrov V., Ivanov A., Kalistratov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2014 conference proceedings. 2014. Vol. 2. P. 407-414.

21. Grigorev V., Ivanov O., Burmistrova M. Validation of ecological efficiency assessment for forest management methodology // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem 2014 conference proceedings. 2014. Vol. 2. P. 521-528.

22. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Куницкая О.А. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестн. Крас. гос. агр. ун-та. 2012. № 6. С. 72-77.

23. Григорьев И.В., Хитров Е.Г., Никифорова А.И., Григорьева О.И., Куницкая О.А. Определение энергоёмкости продуктов лесопользования в рамках методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестн. Тамб. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки. 2014. Т. 19, № 5. С. 1499-1502.

24. Добрецов Р.Ю., Семёнов А.Г. Гусеничная цепь ходовой части транспортного средства: пат. 2385815 Рос. Федерация. № 2009109923/11(013428); заявл. 18.03.09; опубл. 10.04.10. Бюл. №10. 8 с.

References

1. Grigorev I.V., Ivanov G., Gasparian A., Nikiforova E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem 2014 conference proceedings. 2014. Vol. 2. P. 443-446.

2. Grigor'ev I.V., Kunitskaya O.A. Modern concepts of forest management // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). P. 212-215.

3. Grigor'ev I.V. Reducing the negative impact on the soil of wheeled skidders justification modes of their motion and process equipment. SPb.: Iz-vo LTA, 2006. 236 p.

4. Nosov N.A., Galyshev V.D., Volkov Yu.P., Kharchenko A.P. Calculation and design of tracked vehicles. L.: Mashinostroenie, 1972. 559 p.

5. Zabavnikov N.A. Fundamentals of the theory of transport tracked vehicles. M.: Mashinostroenie, 1975. 448 p.

6. Theory and design of the tank / pod red. S.S. Burova. Т. 8. Parametry vneshnei sredy, ispol'zuemye pri raschete tankov. M.: Mashinostroenie, 1987. 196 p.

7. Galyshev Yu.V. Closed-loop control systems for tracked vehicles steering // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Science and Education. 2014. № 3 (202). P. 201-208.

8. Boikov A.V. To the method of estimation of frequency impulse control turning tracked vehicle // Workflows with the engine compressors and installations K metodu otsenki chastoty impul'snogo upravleniya povоротom gusenichnoi mashiny // Rabochie protsessy kompressorov i ustanovok s DVS: mezhvuz. sb. L.: Izd-vo LPI, 1987. P. 73-78.

9. Dorogin S.V., Akulov S.V., Stepanov V.N. On the track shift in rectilinear motion of the tank // Vestnik bronetankovoi tekhniki. 1959. № 2. P. 48-52.

10. Mazur A.I., Kryukov V.V., Fadeev I.F. The mechanism of interaction of track with soil // VBT. 1983. № 3. P. 34-42.

11. Krasnen'kov V.I., Lovtsov Yu.I., Byko-Yanko A.V. The normal pressure under the caterpillar // Trudy MVТУ im. N.E.Baumana. 1982. № 390. P. 3-12.

12. Galyshev Yu.V., Dobretsov R.Yu. Efficiency of the usage of the ground contact area of a caterpillar drive under conditions of transmitting the normal loads // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Science and Education. 2013. № 3. P. 272-278.

13. Dobretsov R.Yu. Features of caterpillar propeller work in the region of small specific draw forces // Tractors and Agricultural Machinery. 2009. № 6. P. 25-31.

14. Grigorev I., Khitrov E., Kalistratov A., Stepanishcheva M. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem 2014 conference proceedings. 2014. Vol. 2. P. 339-344.

15. Grigorev I., Burmistrova O., Stepanishcheva M., Gasparian G. The way to reduce ecological impact on forest soils caused by wood skidding // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem 2014 conference proceedings. 2014. Vol. 2. P. 501-508.

16. Anisimov G.M., Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. Environmental efficiency of skidders. SPb.: Izd-vo SPb GLTA, 2006. 352 p.

17. Grigor'ev I.V., Zhukova A.I., Grigor'eva O.I., Ivanov A.V. Environment reduced impact technologies of development of cutting areas in the North-West region of the Russian Federation. SPb.: Izd-vo LTA, 2008. 176 p.

18. Lisov V.Yu., Grigorev I.V. Determination coefficient filtration of forest soil European Science and Technology: materials of the IV international research and practice conference, Vol. I, Munich, April 10th -11th, 2013 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg - Munich - Germany, 2013. P. 268-274.

19. Grigor'ev I.V., Bylev A.B., Khakhina A.M., Nikiforova A.I. Mathematical model of condensing effect caused by harvesting equipment on side bands of logway // Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences. 2012. № 8. P. 72-78.

20. Grigoriev E., Khitrov V., Ivanov A., Kalistratov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2014 conference proceedings. 2014. Vol. 2. P. 407-414.

21. Grigorev V., Ivanov O., Burmistrova M. Validation of ecological efficiency assessment for forest management methodology // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem 2014 conference proceedings. 2014. Vol. 2. P. 521-528.

22. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I., Kunitskaya O.A. Substantiation of the technique for the forest management ecological efficiency estimation // The Bulletin of KrasGAU. 2012. № 6. P. 72-77.

23. Grigor'ev I.V., Khitrov E.G., Nikiforova A.I., Grigor'eva O.I., Kunitskaya O.A. Determination of energy intensity of forest products within methodology for assessing eco-efficiency of forest management // Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences. 2014. Т. 19, № 5. P. 1499-1502.

24. Dobretsov R.Yu., Semenov A.G. Caterpillar chain of a running gear of the vehicle: pat. 2385815 Рос. Федерация. № 2009109923/11(013428); заявл. 18.03.09; опубл. 10.04.10. Бюл. № 10. 8 п.