



УДК 629.365

А.Е. Бажуков, В.Е. Ролле

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯЖЕНИЯ ГУСЕНИЦ НА СТАТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ КОРПУСА ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

A.E. Bazhukov, V.E. Rolle

THE EFFECT OF PRETENSION FORCE ON THE STATIC POSITION OF THE TRACKED VEHICLE HULL

В статье предложена методика расчета статического положения корпуса машины. Приведена математическая модель ходовой части. Показана зависимость положения центра масс по высоте относительно земли от сил предварительного натяжения, а также углового отклонения продольной оси корпуса от горизонтального положения. Выполнен контрольный расчет, результаты которого представлены в виде графических зависимостей. Численный эксперимент производился на примере гусеничной машины легкой категории с задним расположением ведущего колеса.

ГУСЕНИЦА; СТАТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ; ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАТЯЖЕНИЕ; ГУСЕНИЧНАЯ МАШИНА.

This article proposes the calculation methodology of the static position of the tracked vehicle hull. It is given the mathematical model of the track assembly. It is shown the dependency of the mass center position, relative to the ground, on the pretension force. It is conducted the reference calculation, the results of which are presented in plot form. Numerical experiment was carried out on an example of the tracked vehicle of light category with a rear drive wheel.

TRACK; STATIC POSITION; PRETENSION FORCE; TRACKED VEHICLE.

Идет бурное освоение северных и северо-восточных регионов России. В суровых условиях бездорожья единственно правильным решением будет использование гусеничных машин. По сравнению с колесной техникой они имеют более высокую проходимость, способность развивать большие тяговые усилия и оказывают меньшее уплотняющее воздействие на грунт. Однако ходовая часть гусеничных машин обладает рядом недостатков, самый существенный из которых — это большие внутренние потери в гусеничном движителе. Так, на современных транспортных гусеничных машинах (ТГМ) при движении с максимальной скоростью около 50 %, развиваемой двигателем мощности, теряется именно в движителе. Снизить эти потери можно путем соблюдения оптимального натяжения гусениц.

Еще одна важная задача — обеспечение устойчивости гусеничного обвода. Как известно, потеря устойчивости приводит к сбрасыванию гусеницы и, как следствие, к потере подвижности ТГМ. Для предотвращения этой аварийной си-

туации гусеницу предварительно натягивают с помощью механизма натяжения. Опытным путем было установлено, что при прямолинейном движении требуемое натяжение гусеницы должно быть меньше, чем при повороте. Движение по обустроенным дорогам, по дорогам с твердым покрытием также требует меньшего предварительного натяжения, чем при движении в тяжелых дорожных условиях, например по снежной целине.

Из вышесказанного можно сделать два вывода. Первый: для уменьшения потерь в движителе необходимо уменьшать предварительное натяжение гусениц, однако при этом будет снижаться их устойчивость. И, наоборот, с ростом натяжения повышается не только устойчивость, но растут и внутренние потери. Второй: для оптимальной работы движителя необходимо регулировать натяжение в зависимости от режимов движения.

Эти выводы показывают целесообразность применения механизма автоматического натяжения гусениц (МАН).

Для исследования сил, действующих в гусеничном обводе, и необходимого усилия, развиваемого МАН, при различных условиях движения разрабатываются алгоритм и программа. Отправной точкой исследования является статическое положение корпуса машины — установившееся положение перед началом движения.

Цель данной работы — предложить расчетную методику, определяющую зависимости между величиной силы предварительного натяжения гусеницы и высотой положения центра подрессоренной массы, а также углом наклона продольной оси корпуса неподвижной машины (статическое положение корпуса).

Как известно, сила предварительного натяжения гусениц — постоянная составляющая сил, действующих в гусеничном обводе, и определяет устойчивость гусеницы [1]. В статическом положении значения этой силы могут достигать больших величин и оказывать существенное влияние не только на нагруженность обвода, но и на положение корпуса машины.

Регулирование натяжения сопровождается изменением параметров ходовой части: углом наклона ветвей гусениц, изменением усилий подвесок, расстояний от центра подрессоренных масс до осей опорных катков [2]. Кроме того, у гусеничной машины изменяются вертикальные составляющие от сил натяжения гусениц и моменты от них относительно центра подрессоренной массы.

Вопросы кинематики и динамики гусеничного движителя освещены в трудах А.С. Антонова [3], Л.В. Сергеева [4], В.В. Гуськова [5].

Статическое положение корпуса в продольной плоскости определяется двумя координата-

ми: положением $z_{ст}$ по высоте центра масс относительно земли и угловым отклонением $\varphi_{ст}$ продольной оси машины от горизонтального положения [6].

Для расчета этих параметров представим ходовую часть вместе с корпусом в виде схемы, симметричной относительно бортов (рис.1).

Условие равновесия внешних сил и моментов, действующих на машину:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n P_i - P_H (\sin \gamma_1 + \sin \gamma_2) - 0,5G_{ГМ} = 0; \\ \sum_{i=1}^n P_i L_i + P_H (S_1 - S_2) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $G_{ГМ}$ — вес машины; P_i — упругая сила подвески, приведенная к i -му опорному катку; P_H — сила предварительного натяжения; γ_1 и γ_2 — углы наклона передней и задней ветвей гусеничного обвода; L_i — расстояние от центра подрессоренной массы до оси i -го катка по горизонтали; S_1 и S_2 — плечи моментов сил натяжения гусениц относительно центра подрессоренной массы; n — число опорных катков на борт.

Статическая нагрузка на каток при постоянной жесткости подвески c_i определяется из выражения

$$P_{ст(i)} = c_i f_{ст(i)} = c_i (z_{ст} + \varphi_{ст} L_i), \quad (2)$$

где $f_{ст(i)}$ — статический ход i -го катка [7].

На большинстве машин упругая характеристика подвесок нелинейная. Поэтому принимается допущение, что для малых перемещений относительно статического положения характеристику можно принять близкой к линейной (рис. 2). Для расчета характеристику подвески будет задавать ходом катка f и упругой силой P .

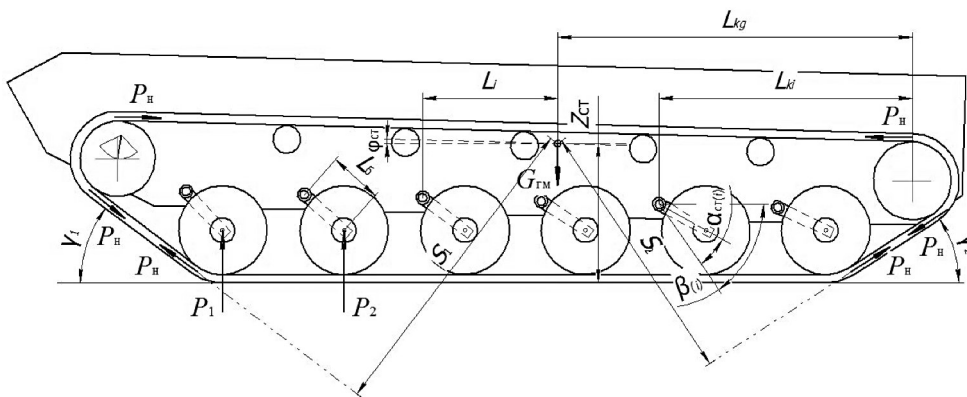


Рис. 1. Расчетная схема для определения $z_{ст}$ и $\varphi_{ст}$

Среднее значение упругой силы подвески, приведенной к оси катка [9]:

$$P_{cp(i)} = \frac{0,5(G_{ГМ} + 2P_H)}{n}$$

Далее с помощью графика получается приведенная жесткость i -й подвески:

$$c_{пп(i)} = \frac{P_i(2) - P_i(1)}{f_i(2) - f_i(1)}$$

Статический прогиб i -й подвески:

$$f_{ст(i)} = \frac{P_{cp(i)}}{c_{пп(i)}}$$

Ниже рассматриваются случаи переднего и заднего расположения ведущего колеса.

При заднем расположении ведущего колеса расстояние от центра подрессоренной массы до осей i -х катков в статическом положении (см. рис. 1) определяется по формуле

$$l_{cti} = L_{\kappa i} - L_g - k_{\delta i} R_{\delta} \cos(\beta_i - \alpha_{cti}),$$

где $L_{\kappa i}$ — расстояние от оси ведущего колеса до оси балансира i -го катка; L_g — расстояние от оси ведущего колеса до центра подрессоренной массы; $k_{\delta i}$ — метка учета направления наклона балансира i -го катка вдоль корпуса (+1 — по ходу машины; -1 — против хода); R_{δ} — длина балансира; β_i — угол наклона балансира в установочном положении; $\alpha_{ct(i)}$ — угол поворота балансира от установочного до статического положения,

$$\alpha_{cti} = \beta_i - \arcsin\left(\sin \beta_i - \frac{f_{cti}}{R_{\delta}}\right).$$

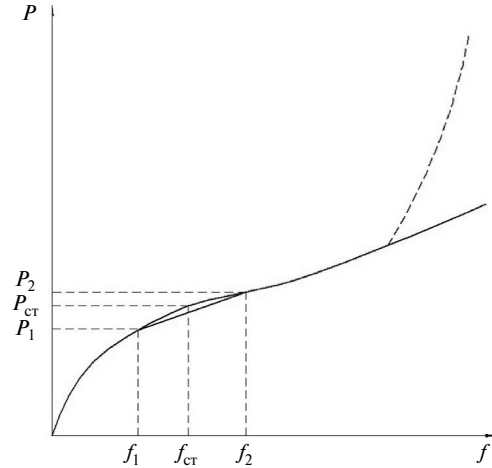


Рис. 2. Характеристика подвески ГМ

При переднем расположении ведущего колеса

$$l_{cti} = L_g - L_{\kappa i} - k_{\delta i} R_{\delta} \cos(\beta_i - \alpha_{cti}).$$

Углы наклона γ_1 и γ_2 , а также плечи моментов сил натяжения гусеницы S_1 и S_2 определяются в зависимости от перемещения крайних катков согласно расчетной кинематической схеме (рис. 3).

Формулы для определения углов наклона имеют вид

$$\gamma_{ct1(2)} = \gamma_{10(20)} + k_{\gamma 1(\gamma 2)} f_{1(n)ct}$$

где γ_{10} — угол наклона передней наклонной ветви гусеничного обвода при $f_1 = 0$; γ_{20} — угол наклона задней наклонной ветви гусеничного обвода при $f_n = 0$; $k_{\gamma 1}$, $k_{\gamma 2}$ — коэффициенты характеристик изменения угла наклона соответственно передней и задней ветвей гусеницы.

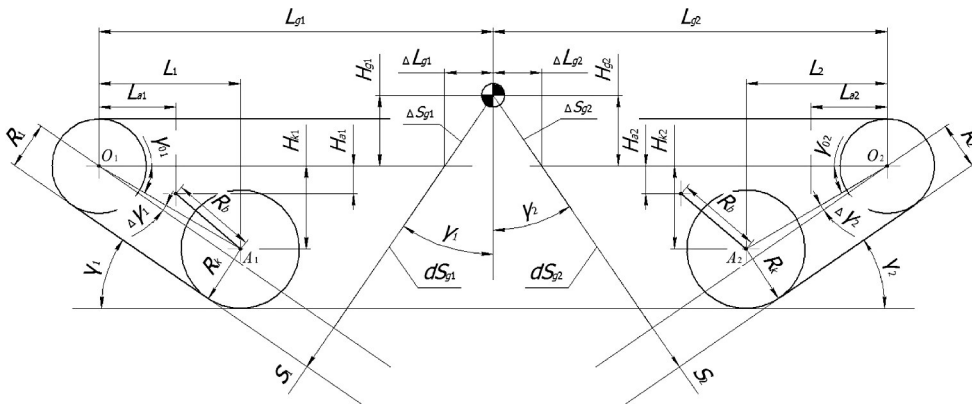


Рис. 3. Кинематическая схема перемещения крайнего катка для определения γ_1 и γ_2 , S_1 и S_2

Значения $\gamma_{10}, \gamma_{20}, k_{\gamma_1}, k_{\gamma_2}$ определяются по предварительно рассчитанным характеристикам и построенным зависимостям (рис. 4) индивидуально для каждой ходовой части ГМ.

Определением углов наклона также занимались В.П. Аврамов и Н.Б. Калейчев [8].

Полученные кривые в районе статического положения близки к линейным зависимостям, что позволяет в дальнейшем их аппроксимировать и определить $\gamma_{10}, \gamma_{20}, k_{\gamma_1}, k_{\gamma_2}$.

Плечи моментов определяются по формуле

$$S_{1(2)} = S_{10(20)} + k_{S1(S2)} f_{1(n)ст},$$

где S_{10} — расстояние от центра подрессоренной массы до сил натяжения гусениц в передней ветви гусеничного обвода при $f_1 = 0$; S_{20} — расстояние от центра подрессоренной массы до сил натяжения гусениц в задней ветви гусеничного обвода при $f_n = 0$; k_{S1}, k_{S2} — коэффициенты характеристик изменения расстояний S_1 и S_2 . Значения $S_{10}, S_{20}, k_{S1}, k_{S2}$ определяются аналогично значениям $\gamma_{10}, \gamma_{20}, k_{\gamma_1}, k_{\gamma_2}$ для каждой рассчитываемой ходовой части ГМ.

С использованием выражения (1) вычисляется сумма сил и сумма моментов, действующих на корпус в статическом положении:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n P_{ст(i)} - 0,5G_{ГМ} - P_H (\sin \gamma_{ст1} + \sin \gamma_{ст2}) ;$$

$$\Delta M = \sum_{i=1}^n [P_{ст(i)} l_{ст(i)}] - T_1 (S_{ст1} - S_{ст2}).$$

Если значения суммы сил и суммы моментов не равны нулю, это значит, что корпус не нахо-

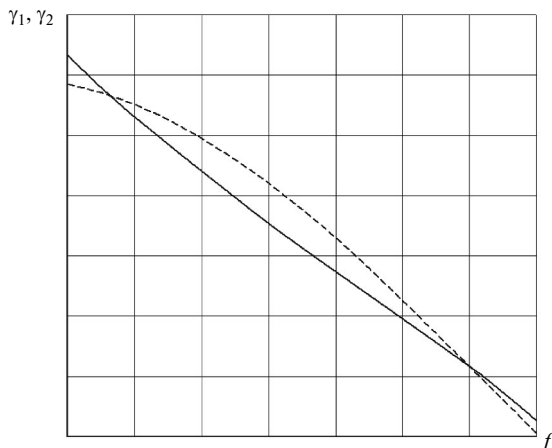


Рис. 4. Характеристики изменения углов наклона — — — передней и — — — задней ветвей гусеничного обвода

дится в равновесии и перемещается в сторону равновесия с ускорением $\ddot{z} = \frac{\Delta P}{M_n}$ и $\ddot{\phi} = \frac{\Delta M}{J_y}$.

Рассогласование устраняем за счет перемещений корпуса по высоте $z_{ст}$ и углу наклона $\phi_{ст}$ в результате которых находим приращение ходов подвесок i -х катков, новые значения статических ходов $f_{ст i}$ и новые значения упругих сил в статическом положении $P_{ст i}$:

$$\begin{cases} \Delta P = \sum_{i=1}^n dP_i; \\ \Delta M = \sum_{i=1}^n [dP_i l_{ст i}]. \end{cases}$$

При малых перемещениях корпуса и катков находим необходимые дополнительные перемещения корпуса по углу наклона

$$\Delta \phi = \frac{\Delta M \sum_{i=1}^n c_{пр i} - \Delta P \sum_{i=1}^n [c_{пр i} l_i]}{\sum_{i=1}^n [c_{пр i} l_i^2] \sum_{i=1}^n c_{пр i} - \left\{ \sum_{i=1}^n [c_{пр i} l_i] \right\}^2}$$

и по высоте

$$\Delta z = \frac{\Delta P - \Delta \phi \sum_{i=1}^n [c_{пр i} l_i]}{\sum_{i=1}^n c_{пр i}}.$$

Затем получаем приращение статического хода для i -го катка

$$\Delta f_i = \Delta z + l_i \Delta \phi.$$

Новое значение статического хода для i -го катка находим так:

$$f_{ст i} = f_{ст i} + \Delta f$$

Новое значение упругой силы подвески для статического положения i -го катка:

$$P_{ст i} = f_{ст i} c_{ст i}.$$

Уточняются значения расстояний $l_{ст i}$ и $S_{ст1(2)}$, углов наклона гусеницы $\gamma_{ст1(2)}$ и определяются новые значения суммы сил ΔP и суммы моментов ΔM . Расчет повторяется, пока не будет достигнута допустимая погрешность.

Погрешность оценивается с помощью ускорений \ddot{z} и $\ddot{\phi}$. При достижении значений \ddot{z} и $\ddot{\phi}$ близких к нулевым расчет можно завершить.

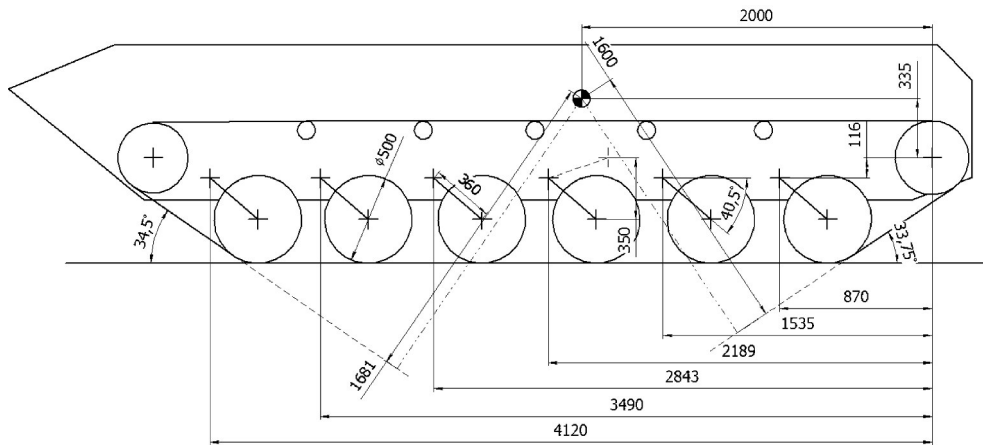


Рис. 5. Схема ходовой части с размерами в установочном положении (машина с грузом)

С учетом изменения параметров натяжения гусеницы и расстояний $l_{ст i}$ данный метод позволяет практически после третьего приближения получить необходимый результат. Полученные при последнем приближении значения $z_{ст}$ и $\varphi_{ст}$ будут искомыми координатами.

По данной методике с помощью системы автоматизированного проектирования MathCad составлена программа и выполнен контрольный расчет на примере гусеничной машины легкой категории.

Исходными данными для расчета являются:

- 1) общемашинные характеристики;
- 2) размеры элементов ходовой части (рис. 5);
- 3) упругая характеристика подвески (рис. 6).

Общемашинные характеристики гусеничной машины легкой категории приняты следующими:

Полная масса машины, кг	8000
Масса груза, кг	1400
Поддресоренная масса машины, кг.....	8908
Момент инерции поддресоренных масс, кг·м ²	26180
Число опорных катков на борт, шт.	6
Расположение ведущего колеса.....	заднее
Тип подвески	гидропневматическая

Предварительно рассчитанные характеристики подвесок приведены на рис. 6.

Результаты расчета статического положения представлены в виде графиков на рис. 7 и 8:

Как видно из графиков, увеличение силы предварительного натяжения привело к уменьшению высоты центра поддресоренной массы и увеличению угла наклона корпуса. В статическом положении значения этих величин не-

велики. Достоверность представленных результатов подтверждается обширным опытом эксплуатации ТГМ.

В результате проведенной работы сделано следующее:

Предложена методика теоретического определения высоты положения центра поддресоренной массы и угла наклона продольной оси корпуса транспортной гусеничной машины в зависимости от силы предварительного (статического) натяжения, действующей в обводе.

В отличие от существующих аналогов, предлагаемая методика позволяет учесть изменения вертикальных составляющих от сил натяжения в наклонных ветвях гусеничного обвода, а также

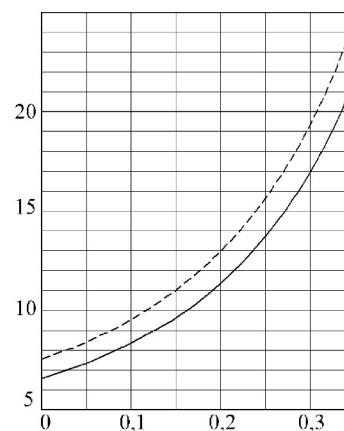


Рис. 6. Характеристика подвесок ГМ:

— — — упругая сила, приведенная к 1–4 каткам; — — — упругая сила, приведенная к 5–6 каткам

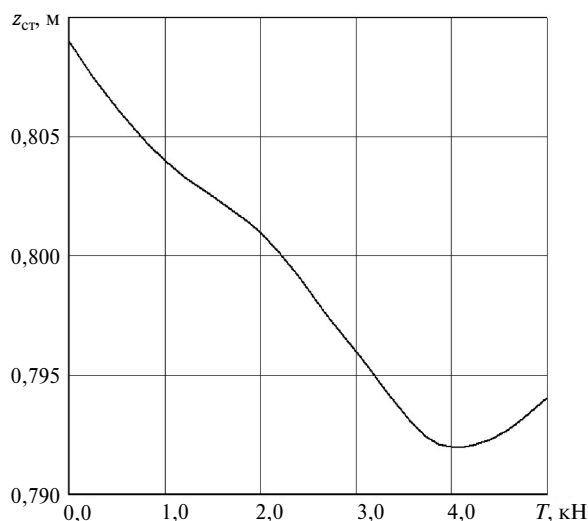


Рис. 7. Зависимость изменения высоты центра масс от силы предварительного натяжения

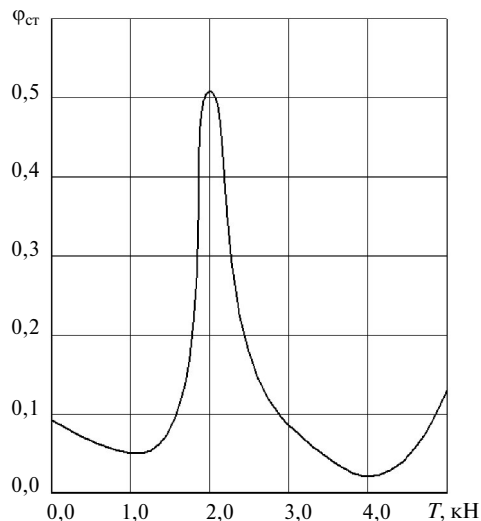


Рис. 8. Зависимость изменения угла наклона продольной оси корпуса от силы предварительного натяжения

моменты от них относительно центра подрессоренной массы;

Методика апробирована на примере гусеничной машины легкой категории с задним расположением ведущего колеса.

Описанная математическая модель является основой для дальнейшего исследования влияния сил, действующей в обводе, на положение корпуса ТГМ при различных условиях движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Забавников Н.А.** Основы теории транспортных гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1975. 448 с.
2. **Исаков П.П.** Теория и конструкция танка: в 10 тт. Т. 6. Вопросы проектирования ходовой части военных гусеничных машин / Б.А. Абрамов, Ю.И. Брагин, Е.В. Вавилов и др. / Под ред. д-ра тех. наук П.П. Исакова. М.: Машиностроение, 1985. 244 с.
3. **Антонов А.С.** Теория гусеничного движителя. М.: Машгиз, 1949. 214 с.
4. **Сергеев Л.В.** Теория танка. М.: Изд-во Военной ордена Ленина краснознаменной академии бронетанковых войск имени маршала Советского Союза Малиновского Р.Я., 1973. 495 с.
5. **Гуськов В.В., Велев Н.Н., Атаманов Ю.Е. [и др.].** Тракторы. Теория: Учебник. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.
6. **Волков Ю.П., Ролле В.Е., Самойлов А.Д.** Транспортные гусеничные машины. Ходовая часть: Учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 267 с.
7. **Платонов В.Ф.** Динамика и надежность гусеничного движителя. М.: Машиностроение, 1973. 232 с.
8. **Аврамов В.П., Калейчев Н.Б.** Динамика гусеничной транспортной машины при установившемся движении по неровностям. Х.: Віща шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1989. 112 с.
9. **Бойков В.П., Гуськов В.В., Коробкин В.А.** Многоцелевые гусеничные и колесные машины. Теория: Учебное пособие. Минск: Новое знание, 2012. 543 с.

REFERENCES

1. **Zabavnikov N.A.** Osnovy teorii transportnykh gusenichnykh mashin. M.: Mashinostroyeniye, 1975. 448 s. (rus.)
2. **Isakov P.P.** Teoriya i konstruktsiya tanka: v 10 tt. T.6. Voprosy proyektirovaniya khodovoy chasti voyennykh gusenichnykh mashin / B.A. Abramov, Yu.I. Bragin, Ye.V. Vavilov i dr. / Pod red. d-ra tekh. nauk P.P. Isakova. M.: Mashinostroyeniye, 1985. 244 s. (rus.)
3. **Antonov A.S.** Teoriya gusenichnogo dvizhitelya. M.: Mashgiz, 1949. 214 s. (rus.)

4. **Sergeyev L.V.** Teoriya tanka. M.: Izd-vo Voennoy ordena Lenina krasnoznamennoy akademii brone-tankovykh voysk imeni marshala Sovetskogo Soyuza Malinovskogo R.Ya., 1973. 495 s. (rus.)

5. **Guskov V.V., Velev N.N., Atamanov Yu.Ye. [i dr.].** Traktory. Teoriya: Uchebnik M.: Mashinostroyeniye, 1988. 376 s. (rus.)

6. **Volkov Yu.P., Rolle V.Ye., Samoylov A.D.** Transportnyye gusenichnyye mashiny. Khodovaya chast: Uchebnoye posobiye. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2009. 267 s. (rus.)

7. **Platonov V.F.** Dinamika i nadezhnost gusenichnogo dvizhitelya. M.: Mashinostroyeniye, 1973. 232 s. (rus.)

8. **Avramov V.P., Kaleychev N.B.** Dinamika gusenichnoy transportnoy mashiny pri ustanovivshemsya dvizhenii po nerovnostyam. Kh.: Vyshcha shk. Izd-vo pri Khark. un-te, 1989. 112 s. (rus.)

9. **Boykov V.P., Guskov V.V., Korobkin V.A.** Mnogetslevyye gusenichnyye i kolesnyye mashiny. Teoriya: Uchebnoye posobiye. Minsk: Novoye znaniye, 2012. 543 s. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БАЖУКОВ Артем Евгеньевич — аспирант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: artem_bashukov@mail.ru

РОЛЛЕ Владимир Евгеньевич — кандидат технических наук доцент Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: v.rolle@rambler.ru

AUTHORS

BAZHUKOV Artiom E. — St. Petersburg Polytechnic University. 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: artem_bashukov@mail.ru

ROLLE Vladimir E. — St. Petersburg Polytechnic University. 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: v.rolle@rambler.ru