

УДК 629.1.032.531.3

**С. Н. ВОРОНЦОВ****ОЦЕНКА ПЛАВНОСТИ ХОДА ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДЕМПФИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

Рассматривается задача оценки плавности хода гусеничной машины при использовании дополнительных демпфирующих устройств. Повышение требований к подвижности и, в частности, к плавности хода быстроходных гусеничных машин привело к необходимости увеличения энергоемкости системы поддрессоривания. Одним из способов улучшения плавности хода и снижения перегрева гидравлических амортизаторов является установка дополнительных демпфирующих устройств, которые вступают в действие в конце динамического хода катка, работая совместно с основным амортизатором. Это позволяет снизить поглощаемую мощность демпфирующих устройств на всех режимах движения машины при условии сохранения необходимой плавности хода. В статье приведены, полученные в результате математического моделирования, скоростные характеристики модернизированной системы поддрессоривания. Дана оценка полученных результатов в сравнении с исходными характеристиками. Приведена оценка уровня мощностей, поглощаемых основными и дополнительными демпфирующими элементами при движении по неровностям.

**Ключевые слова:** система поддрессоривания, гусеничная машина, демпфирующий элемент, амортизатор, скоростная характеристика, поглощаемая мощность.

**С. М. ВОРОНЦОВ****ОЦІНКА ПЛАВНОСТІ ХОДУ ГУСЕНИЧНОЇ МАШИНИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДОДАТКОВИХ ДЕМПФУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ**

Розглядається задача оцінки плавності ходу гусеничної машини при використанні додаткових демпфуючих пристроїв. Підвищення вимог до рухливості і, зокрема, до плавності ходу швидкохідних гусеничних машин привело до необхідності збільшення енергоємності системи піддресорювання. Одним із способів поліпшення плавності ходу і зниження перегріву гідравлічних амортизаторів є установка додаткових демпфуючих пристроїв, які вступають в дію в кінці динамічного ходу катка, працюючи спільно з основним амортизатором. Це дозволяє знизити потужність, що поглинається демпфуючими пристроями на всіх режимах руху машини за умови збереження необхідної плавності ходу. У статті наведено результати, що отримані за рахунок математичного моделювання, швидкісні характеристики модернізованої системи піддресорювання. Дана оцінка отриманих результатів в порівнянні з вихідними характеристиками. Наведено оцінку рівня потужностей, що поглинаються основними і додатковими демпфуючими елементами при русі по нерівностях.

**Ключові слова:** система піддресорювання, гусенична машина, демпфуючий елемент, амортизатор, швидкісна характеристика, потужність, що поглинається.

**S. N. VORONTSOV****EVALUATION OF THE SMOOTH RUNNING OF THE CRAWLER WITH ADDITIONAL DAMPING DEVICES**

The problem of estimating the smooth running of a caterpillar vehicle using additional damping devices is considered. Increasing the requirements for mobility and, in particular, for the smooth running of high-speed crawler vehicles led to the need to increase the energy intensity of the suspension system. One way to improve ride smoothness and reduce overheating of hydraulic shock absorbers is to install additional damping devices that act at the end of the dynamic stroke of the roller, working in conjunction with the main shock absorber. This makes it possible to reduce the absorbed power of the damping devices in all modes of the machine's motion, provided that the necessary smoothness of the stroke is maintained. The article presents the speed characteristics of a modernized suspension system, obtained as a result of mathematical modeling. The obtained results are evaluated in comparison with the initial characteristics. The estimation of the level of power absorbed by the main and additional damping elements during movement along irregularities is given.

**Keywords:** suspension system, caterpillar, damping element, shock absorber, speed characteristic, absorbed power.

**Введение**

Система поддрессоривания быстроходной гусеничной машины (БГМ) должна обеспечивать необходимую плавность хода во всем возможном диапазоне скоростей движения и любом чередовании неровностей. Она должна обеспечивать нормальную работу экипажа, сохранность перевозимого груза и работоспособность оборудования и систем.

Оценка плавности хода осуществляется по следующим критериям:

1. Собственные частоты вертикальных и продольно-угловых колебаний корпуса должны находиться в пределах 0,8...2 Гц.

2. При частоте возмущающего воздействия со стороны дороги 0...2 Гц должны отсутствовать пробои подвески, а вертикальные ускорения в местах

расположения экипажа должны составлять не более 3g.

3. В случае движения по высокочастотному профилю (мерзлая пахота) вертикальные ускорения (ускорения тряски) не должны превышать величины  $\pm 0,5g$  при проезде неровностей высотой не более 0,05 мм.

4. При движении загруженного изделия по пересеченной местности температурный режим работы гидравлического амортизатора (ГА) должен находиться в пределах 100...110 °С.

**Постановка задачи.**

На рис.1 показана передняя подвеска БГМ с гидравлическим буфером (ГБ) и амортизатором.

© С. Н. Воронцов, 2018

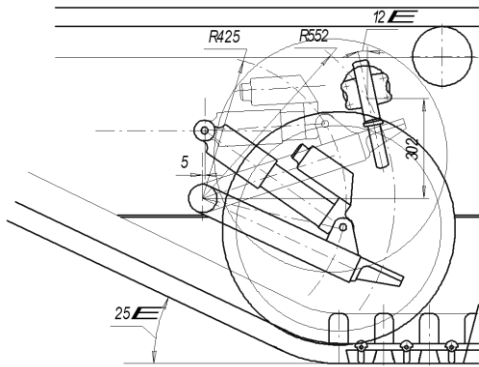


Рис.1. Передняя подвеска БГМ

Характеристика используемых серийных телескопических ГА, принятая в качестве исходной в расчетных исследованиях, представлена на рис.2. Она может быть с достаточной точностью аппроксимирована следующей зависимостью:

– прямой ход

$$P_A = \begin{cases} 1.875v_{шт}^2, \text{ при } v_{шт} < 0.5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \\ 4687.5 + 380\sqrt{v_{шт} - 50}, \text{ при } v_{шт} \geq 0.5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \end{cases} \quad (1)$$

– обратный ход

$$P_A = 1.43v_{шт}^2, \quad (2)$$

где  $P_A$  – усилие сопротивления на штоке телескопического амортизатора;  $v_{шт}$  – скорость перемещения штока телескопического амортизатора.

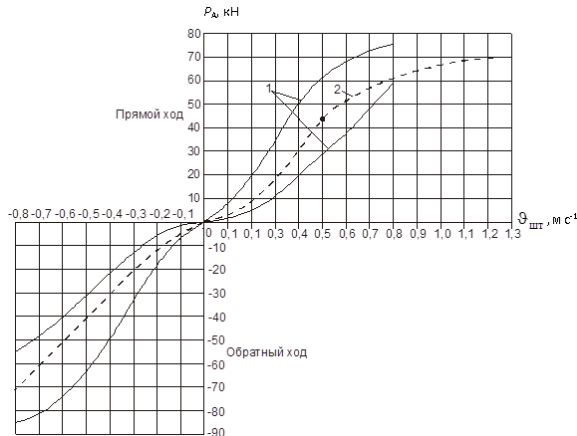


Рис.2. Характеристика амортизатора базового изделия

Исследования плавности хода проводились путем построения скоростных характеристик СП. Они представляют собой зависимость высоты неровностей, которую изделие преодолевает без пробоев подвески (с вертикальными ускорениями не более 3g) от скорости движения машины.

В математической модели движения БГМ по неровностям можно использовать три варианта неровностей:

1. Профиль неровностей, полученный статистической обработкой реальных трасс в различных регионах страны [140, 97].

2. Профиль, составленный из единичных неровностей имеющих случайный характер [129].

Такой профиль можно получить, формируя с помощью генератора случайных чисел ЭВМ белый шум [7].

3. Гармонический профиль неровностей.

Учитывая работы [140, 54, 63], в качестве наиболее неблагоприятного был выбран синусоидальный профиль неровностей с расстоянием между вершинами равным  $2L$ , где  $L$  – длина опорной поверхности гусениц. Правильность данного положения обоснована в работах [79, 54]. Одновременно, с целью оценки, строились скоростные характеристики для аналогичных неровностей длиной  $1,5L$  и  $2,5L$ . Совместно с параметрами плавности хода рассчитывались мощности, поглощаемые ГА каждой подвески, что позволило оценить их тепловую напряженность.

Для оценки тепловой напряженности по методике [54, 140] были рассчитаны значения поглощаемой мощности телескопического ГА, которую он способен рассеять в окружающую среду.

В основе данного расчета лежит тепловое состояние амортизатора, которое в любой момент времени можно описать уравнением теплового баланса:

$$dQ = dQ_n + dQ_{и} + dQ_{оп} + dQ_k, \quad (3)$$

где  $dQ$  – количество теплоты, выделяемое внутренними источниками;  $dQ_n$  – количество теплоты, затрачиваемое на нагрев;  $dQ_{и}$  – количество теплоты, отводимое излучением;  $dQ_{оп}$  – количество теплоты, отводимое от тела через опоры;  $dQ_k$  – количество теплоты, отводимое конвекцией.

В результате расчетов оказалось, что при температуре окружающей среды  $20^\circ\text{C}$  и нагреве ГА до  $100^\circ\text{C}$ , без нарушения теплового баланса он способен, в зависимости от скорости движения, рассеивать поглощаемую мощность в пределах  $1,8 \dots 2,9$  кВт. Если же, используя более высокотемпературную рабочую жидкость и материал уплотнений, поднять допустимую температуру нагрева ГА до  $160^\circ\text{C}$ , то рассеиваемая мощность возрастет и составит  $3,7$  кВт при скорости  $5,6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  и  $5,2$  кВт при скорости  $18,9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  [60].

Следует уточнить, что здесь и далее рассматривается случай сколь угодно долгого движения в самых неблагоприятных дорожных условиях. На практике же, они встречаются не так часто и имеют конечную длину. Это значит, что если при въезде на участок с тяжелыми дорожными условиями, температура ГА составляла  $50 \dots 60^\circ\text{C}$ , то во время движения по неровностям, вследствие нарушения теплового баланса данная температура начнет увеличиваться. Это займет определенный промежуток времени, за который машина возможно сможет миновать тяжелый участок без критического перегрева ГА.

В математической модели для оценки тепловой напряженности рассчитывалось значение работы, совершаемой каждым амортизатором при движении машины через третью неровность.

### Сравнительный анализ плавности хода БГМ с исходными и предлагаемыми параметрами СП.

На рис.3 представлены скоростные характеристики СП с гидравлическим буфером. Как следует из анализа кривых, на дорезонансных режимах движения (до  $8,9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ), плавность хода и

проходная высота неровностей увеличилась. На резонансном режиме движения, для неровностей длиной  $2,5L$ , данная высота снизилась до допустимой величины  $0,2 \text{ м}$  и на зарезонансных режимах, проходная высота неровностей также несколько уменьшилась, но за допустимые пределы не вышла.

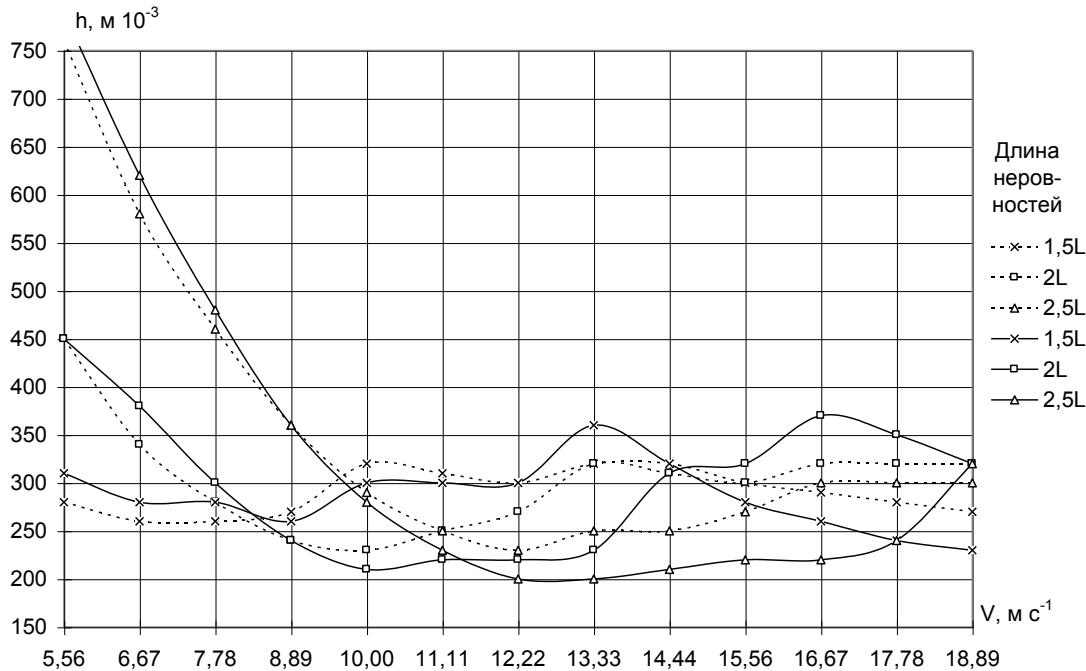


Рис.3. Скоростные характеристики СП (сплошная – рекомендованные параметры СП; пунктир – исходные характеристики СП)

Оценим уровень мощностей, поглощаемых ГА и ГБ при движении по неровностям длиной  $2L$  и высотам, соответствующим скоростной характеристике СП. На рис.4 представлены соответствующие кривые, а их анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. на дорезонансном режиме движения ( $6,7 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , высота неровностей  $0,38 \text{ м}$ ) мощности, поглощаемые ГА 1-й, 2-й, 6-й и 7-й подвесок соответственно уменьшились с  $9,1 \text{ кВт}$ ,  $3,7 \text{ кВт}$ ,  $1,5 \text{ кВт}$  и  $2,5 \text{ кВт}$  до  $8,5 \text{ кВт}$ ,  $2,7 \text{ кВт}$ ,  $0,8 \text{ кВт}$  и  $1,7 \text{ кВт}$  или на  $7\%$ ,  $27\%$ ,  $47\%$  и  $32\%$ ;

2. на резонансном режиме движения ( $11,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , высота неровностей  $0,22 \text{ м}$ ) рассматриваемые мощности для ГА 1-й, 2-й и 6-й подвесок уменьшились соответственно с  $18,6 \text{ кВт}$ ,  $18,4 \text{ кВт}$  и  $7,2 \text{ кВт}$  до  $13,6 \text{ кВт}$ ,  $11,6 \text{ кВт}$  и  $4,4 \text{ кВт}$  или на  $27\%$ ,

$37\%$  и  $39\%$ ; (ГА 7-й подвески на данном режиме движения нагружен незначительно и его работа практически не изменилась);

3. на зарезонансном режиме движения ( $18,9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , высота неровностей  $0,32 \text{ м}$ ) данные мощности для ГА 1-й, 2-й, 6-й и 7-й подвесок уменьшились соответственно с  $30,7 \text{ кВт}$ ,  $16,8 \text{ кВт}$ ,  $23,3 \text{ кВт}$  и  $13,3 \text{ кВт}$  до  $24 \text{ кВт}$ ,  $10,4 \text{ кВт}$ ,  $21,9 \text{ кВт}$  и  $9,9 \text{ кВт}$  или на  $22\%$ ,  $38\%$ ,  $6\%$  и  $26\%$ ;

4. максимальные, поглощаемые ГБ 1-й подвески, мощности наблюдаются на скоростях  $7,8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  (высота неровностей  $0,3 \text{ м}$ ) и  $18,9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  (высота неровностей  $0,32 \text{ м}$ ), которые составляют соответственно  $6,25 \text{ кВт}$  и  $16,5 \text{ кВт}$ ; для 7-й подвески максимальная, поглощаемая ГБ мощность, равна  $13,8 \text{ кВт}$  на скорости  $17,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , при высоте неровностей  $0,36 \text{ м}$ .

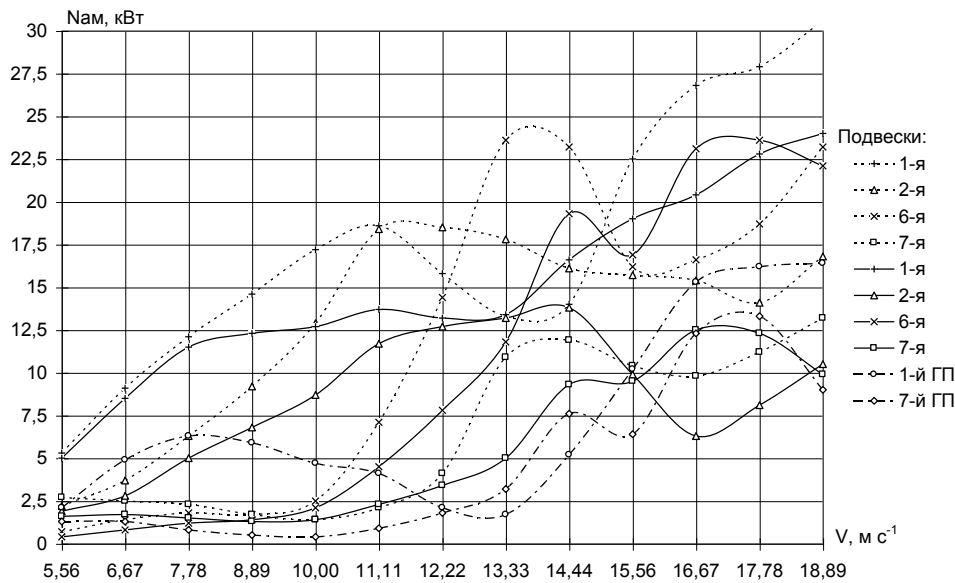


Рис.4. Мощности, поглощаемые ГА и ГБ.

Длина неровностей  $2L$ , сплошная – рекомендованные параметры СП; пунктир – исходные характеристики СП

### Вывод.

Таким образом, благодаря применению на крайних подвесках ГБ и более «мягкой» характеристики прямого хода ГА, удалось достичь существенного снижения тепловой напряженности ГА на всех режимах движения машины. Тем не менее нагруженность ГА, особенно 1-й подвески остается на довольно высоком уровне.

### Список литературы

1. Математическое моделирование процессов возмущенного движения агрегатов и систем бронетанковой техники / Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич, В.В. Дущенко, Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. – 354 с.
2. Дущенко В.В. Питання удосконалення методології аналізу та синтезу систем підресорювання військових гусеничних і колісних машин / Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ ім. П. Сагайдачного. Львів, – 2012. – Вип. 1. – С. 26–32.
3. Обзор В.С. Развитие систем поддресоривания танков. / В.С. Обзоров, А.С. Стамбровский, Б.Н. Шадов // Зарубежное военное обозрение. –1984. –№5. –С.54-62.
4. Западнгерманский танк «Леопард-2». // Зарубежная военная техника. Обзоры. Бронетанковая техника и вооружение. –1983. –Вип.14(14). –С.14-36.
5. Колебания в транспортных машинах: Монография / Е.Е.Александров, Я.В.Грита и др. –Харьков: ХГПУ, 1996. –256 с.
6. Певзнер Я.М. Исследование на ЭВМ влияния характеристик амортизаторов на колебания автомобиля / Я.М. Певзнер, А.Д. Конеv // Автомобильная промышленность. –1969. –№11.–С.8-11.
7. Дущенко В.В. Постановка задачи оптимизации параметров системы поддресоривания транспортной гусеничной машины / В.В. Дущенко, С.М. Воронцов // Вестник НТУ «ХПИ». Сб. науч.

трудов. Сер:»Транспортное машиностроение. – Х. : НТУ «ХПИ». – 2000.– Вып. 101. – С. 37–41.

### References (transliterated)

1. Matematy`cheskoe modely`rovany`e processov vozmushhennogo dvy`zhe-ny`ya agregatov y` sy`stem broetan-kovoj tehny`ky [Mathematical modeling of disturbed motion aggregates and systems of armoured vehicles] / E.E. Aleksandrov, D.O. Voloncevych, V.V. Dushhenko, Kharkov: NTU «ХPY». – 2012. – 354 p.
2. Dushhenko V.V. Py`tannya udoskona-lennya metodologiyi analizu ta sy`nte-zu sy`stem pidresoryuvannya vijs`ko-vy`x guseny`chny`x i kolisny`x mashyn [The issues of improving the methodology of analysis and synthesis of suspension systems of military tracked and wheeled vehicles] / Vijs`kovotekhnichny`j zbirny`k Akademiyi suhoputny`x vijs`k im. P. Sa-gajdachnogo. Lviv, – 2012. – Vy`p. 1. – P. 26–32.
3. Obzorov V.S. Razvitie sistem podressorivaniya tankov. / V.S. Obzorov, A.S. Stambrovskij, B.N. SHadov // Zarubezhnoe voennoe obozrenie. –1984. –№5. –P.54-62.
4. Zapadnogermanskij tank «Leopard-2». // Zarubezhnaya voennaya tekhnika. Obzory. Bronetan-kovaya tekhnika i vooruzhenie. –1983. –Vyp.14(14). –P.14-36.
5. Kolebaniya v transportnyh ma-shinah: Monografiya / E.E.Aleksandrov, YA.V.Grita i dr. –Har'kov: HGPU, 1996. –256 p.
6. Pevzner YA.M. Issledovanie na EHVМ vliyaniya harakteristik amortizatorov na kolebaniya avtomobilya / YA.M. Pevzner, A.D. Konev // Avtomobil'naya promyshlennost'. –1969. –№11. –P.8-11.
7. Dushchenko V.V. Postanovka zadachi optimizacii parametrov sistemy podressorivaniya transportnoj gusenichnoj mashiny / V.V. Dushchenko, S.M. Voroncov // Vestnik NTU „HPI“. Sb. nauch. trudov. Ser:»Transportnoe mashinostroenie. – H. : NTU «HPI». – 2000. – Vyp. 101. – P. 37–41.

Поступила (received) 18.07.2018

### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Воронцов Сергій Миколайович (Воронцов Сергей Николаевич, Vorontsov Sergey Nikolaevich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Інформаційні технології і системи колісних та гусеничних машин» імені О. О. Морозова; e-mail: [snvorontsov@gmail.com](mailto:snvorontsov@gmail.com)