

Научная статья

УДК 631.372:629.114.2

EDN YZWSDM

DOI: 10.22450/199996837\_2022\_4\_144

### К вопросу стабилизации ходовой системы и повышения устойчивости против опрокидывания колесного энергетического средства

Александр Александрович Шуравин<sup>1</sup>, Николай Вениаминович Пономарев<sup>2</sup>,  
Дмитрий Владимирович Беляков<sup>3</sup>, Елена Владимировна Панова<sup>4</sup>,  
Евгений Евгеньевич Кузнецов<sup>5</sup>, Сергей Васильевич Щитов<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Дальневосточный государственный аграрный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>1</sup> [sh.aleksandr.2019@mail.ru](mailto:sh.aleksandr.2019@mail.ru), <sup>2</sup> [nic\\_dalgau@mail.ru](mailto:nic_dalgau@mail.ru), <sup>3, 5</sup> [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru),

<sup>4</sup> [panova1968@mail.ru](mailto:panova1968@mail.ru), <sup>6</sup> [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru)

**Аннотация.** Как известно, колесные тракторы моноблочной компоновки с колесами различного диаметра имеют ограничения по эксплуатации в условиях склоновых земель, так как при движении возможно переворачивание трактора вокруг задней оси. Следовательно, вопрос обеспечения безопасности движения тракторно-транспортных агрегатов в рассматриваемых условиях всегда является основополагающим при транспортно-технологическом обеспечении районов, в которых развито склоновое земледелие, так как при ведении сельскохозяйственных работ их эффективность во многом зависит от своевременности, оперативности и качества выполнения операций, предусмотренных технологией растениеводства. В рамках реализации научной темы 8 «Мобильная энергетика» в Дальневосточном государственном аграрном университете предложена конструкция буксирно-распределяющего устройства, предназначенного для стабилизации не только курсовой и траекторной устойчивости тракторно-транспортного агрегата при движении, но и повышающего устойчивость трактора против опрокидывания при его галопировании. В статье представлены исследования по стабилизации ходовой системы и обоснованию устойчивости против опрокидывания колесного энергетического средства. При этом теоретически доказана эффективность конструкции буксирно-распределяющего устройства, позволяющего улучшить технологические параметры трактора и его устойчивость против опрокидывания по сравнению с серийным вариантом.

**Ключевые слова:** тракторно-транспортный агрегат, стабилизация устойчивости, опрокидывание трактора, буксирно-распределяющее устройство

**Для цитирования:** Шуравин А. А., Пономарев Н. В., Беляков Д. В., Панова Е. В., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. К вопросу стабилизации ходовой системы и повышения устойчивости против опрокидывания колесного энергетического средства // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 4. С. 144–150. doi: 10.22450/199996837\_2022\_4\_144.

Original article

### On the issue of the running system stabilizing and the stability increasing against rollover of a wheeled power vehicle

Aleksandr A. Shuravin<sup>1</sup>, Nikolay V. Ponomarev<sup>2</sup>, Dmitry V. Belyakov<sup>3</sup>,  
Elena V. Panova<sup>4</sup>, Evgeny E. Kuznetsov<sup>5</sup>, Sergey V. Shchitov<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

<sup>1</sup> [sh.aleksandr.2019@mail.ru](mailto:sh.aleksandr.2019@mail.ru), <sup>2</sup> [nic\\_dalgau@mail.ru](mailto:nic_dalgau@mail.ru), <sup>3, 5</sup> [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru),

<sup>4</sup> [panova1968@mail.ru](mailto:panova1968@mail.ru), <sup>6</sup> [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru)

**Abstract.** As you know, monoblock wheeled tractors with wheels of different diameters have

limitations in operation in sloping lands, so when driving, it is possible to turn the tractor around the rear axle. Therefore, the issue of the safety ensuring of the movement of tractor-transport units in the conditions under consideration is always fundamental in the transport and technological support of areas in which slope agriculture is developed, since during agricultural work their effectiveness largely depends on the timeliness, efficiency and quality of operations provided by crop production technology. As part of the implementation of the scientific topic 8 "Mobile Energy" in the Far East State Agrarian University, a design of a towing and distributing device was proposed, designed to stabilize not only the course and trajectory stability of the tractor-transport units during movement, but also increase the stability of the tractor against rollover over when galloping. The article presents studies on the stabilization of the running system and the justification of the stability against rollover of a wheeled power vehicle. At the same time, effectiveness of the design of the towing and distributing device was theoretically proved, which makes it possible to improve the technological parameters of the tractor and its stability against rollover compared to the serial version.

**Keywords:** tractor-transport unit, stabilization, tractor rollover, towing and distributing device

**For citation:** Shuravin A. A., Ponomarev N. V., Belyakov D. V., Panova E. V., Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. K voprosu stabilizatsii khodovoi sistemy i povysheniya ustoichivosti protiv oprokidyvaniya kolesnogo energeticheskogo sredstva [On the issue of the running system stabilizing and the stability increasing against rollover of a wheeled power vehicle]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*. – *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022; 16; 4: 144–150. (in Russ.). doi: 10.22450/199996837\_2022\_4\_144.

**Введение.** Одной из особенностей при передвижении транспортных агрегатов по дорогам, имеющим значительные показатели крутизны продольного уклона поверхности движения, особенно при движении на подъем, является воздействие прицепа на стабилизацию ходовой системы трактора [1, 2].

Производственными наблюдениями установлено, что при движении под уклон в холмистых участках местности динамический фактор прицепа производит догрузку передней оси трактора, ухудшая управляемость. При движении на подъем прицепной агрегат уменьшает сцепной вес трактора, смещая центр масс в сторону задней оси, снижает продольную устойчивость, увеличивая опасность переворачивания. Особенно значительно эти зависимости проявляются при эксплуатации тракторов моноблочной компоновки с колесами различного диаметра, в связи с чем они имеют ограничения по использованию в условиях склоновых ландшафтов.

*Для достижения целей стабилизации и повышения устойчивости против опрокидывания ходовой системы колесного трактора моноблочной компоновки с колесами различного диаметра в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проведенных в соответствии с темой 8 «Мобильная энергетика» (Дальневосточный государственный аграрный*

*университет, номер государственной регистрации № 121022000099-61) предложена конструкция буксирно-распределяющего устройства (патент Российской Федерации № 2753047) [3].*

Данное техническое решение, конструкция и технологические характеристики которого подробно описаны в работах [4, 5] (рис. 1), согласно проведенных теоретических и экспериментальных исследований, способно стабилизировать ходовую систему тракторов, улучшив при этом продольную, курсовую и траекторную устойчивость за счет перераспределения сцепного веса в схеме тракторно-транспортного агрегата.

Вместе с тем воздействие предлагаемого устройства на галопирование и переворачивание трактора вокруг задней оси раскрыто не достаточно, что требует дополнительных теоретических изысканий.

Таким образом, **цель исследований состоит в проведении теоретического обоснования стабилизации ходовой системы и рассмотрения вопроса повышения устойчивости против опрокидывания колесного энергетического средства при установке на трактор буксирно-распределяющего устройства.**

Фрагмент испытаний тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределяющим устройством представлен на рисунке 2.



Рисунок 1 – Конструкция буксирно-распределительного устройства



Рисунок 2 – Фрагмент производственных испытаний тракторно-транспортного агрегата с буксирно-распределительным устройством

**Результаты исследований.** Для реализации поставленной цели и проведения теоретического обоснования, основываясь на работах [6, 7], примем тракторно-транспортный агрегат, как механическую систему, состоящую из элементов: трактор, буксирно-распределительное устройство, прицеп.

Рассмотрим опрокидывание трактора относительно задней опоры для серийного трактора. Для этого составим уравнение равновесия относительно задней опоры (рис. 3). При опрокидывании, отрыве переднего моста от поверхности  $R_{пер} = 0$ .

$$\sum M_{зад}(F_k) = 0 - R_{пер} \cdot B_T + G_T \cdot a_T = P_T \cdot h_k = 0, \quad (1)$$

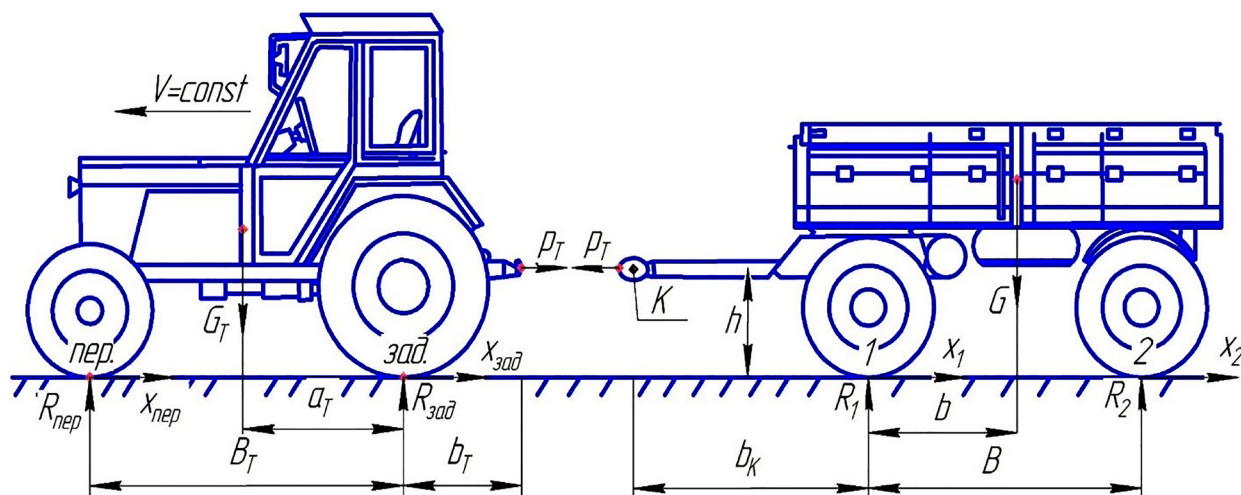
$$R_{пер} = \frac{G_T \cdot a_T}{B_T} - \frac{P_T \cdot h_k}{B_T} \quad (2)$$

При опрокидывании получаем выражение (3) при условии (4):

$$G_T \cdot a_T - P_T \cdot h_k = 0, \quad (3)$$

$$G_T \cdot a_T < P_T \cdot h_k \quad (4)$$

Рассмотрим опрокидывание трактора относительно задней опоры при работе



$B_T$  – колесная база трактора, м;  $a_T$  – расстояние от центра тяжести трактора до опоры заднего колеса трактора, м;  $b_T$  – расстояние от сцепной петли буксирного устройства до опоры заднего колеса трактора, м;  $h$  – расстояние от дышла до поверхности движения, м;  $G$  – вес прицепа, Н;  $G_T$  – вес трактора, Н;  $R_1$  и  $R_2$  – вертикальные составляющие реакции поверхности под опорами (колесными движителями) прицепа, Н;  $x_1$  и  $x_2$  – горизонтальные составляющие силовой реакции опор прицепа, Н;  $P_T$  – тяговое усилие трактора, Н;  $R_{пер}$  и  $R_{зад}$  – вертикальные составляющие силовой реакции поверхности движения под опорами (колесными движителями) трактора, Н;  $X_{пер}$  и  $X_{зад}$  – горизонтальные составляющие силовой реакции поверхности под опорами (колесными движителями) трактора, Н;  $B$  – колесная база прицепа, м;  $b$  – расстояние от центра тяжести прицепа до опоры направляющего колеса прицепа, м;  $b_K$  – расстояние от сцепной петли до опоры направляющего колеса прицепа, м

**Рисунок 3 – Схема действия сил к определению вертикальных составляющих реакций поверхности серийного тракторно-транспортного агрегата**

с устройством. Для этого составим уравнения равновесия относительно задней опоры экспериментального трактора с установленным буксирно-распределяющим устройством, согласно схемы на рисунке 4.

Составим уравнения равновесия относительно задней опоры, согласно схемы на рисунке 4, при отрыве передних колес от поверхности движения и переворачивании трактора:

$$\sum M_{зад}(F_k) = 0 - R'_{пер} \cdot B_T + y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_K + G_T \cdot a_T - N_D \cdot b_D = 0, \quad (5)$$

$$R'_{пер} = \frac{G_T \cdot a_T + y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D}{B_T} = \frac{G_T \cdot a_T}{B_T} + \frac{y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D}{B_T} \quad (6)$$

Так как при опрокидывании  $R'_{пер} = 0$ , получим выражения (7), (8):

$$\frac{G_T \cdot a_T}{B_T} + \frac{y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D}{B_T} = 0, \quad (7)$$

$$G_T \cdot a_T + y_L(B_T - a_K) - x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D = 0 \quad (8)$$

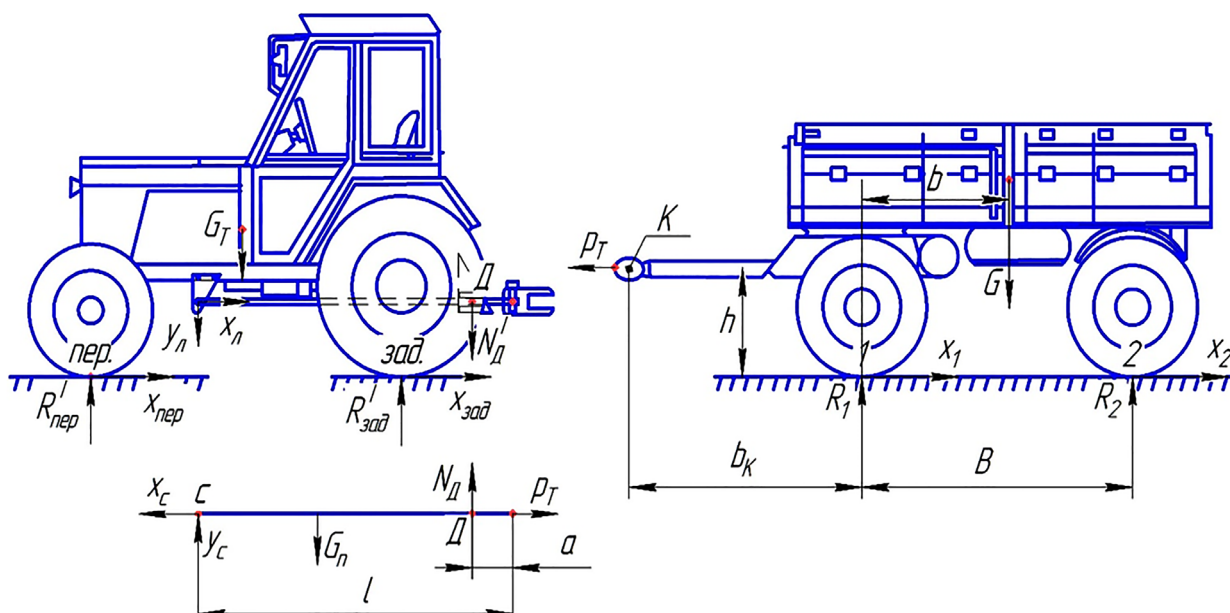
Таким образом, получаем условие опрокидывания при галопировании экспериментального трактора (9):

$$G_T \cdot a_T + y_L(B_T - a_K) < x_L \cdot h_K - N_D \cdot b_D \quad (9)$$

Согласно ранее полученным формулам (5)–(8), получаем выражения (10)–(11):

$$G_T \cdot a_T + \frac{G_n(0,5\ell - a)}{\ell - a} (B_T - a_K) < P_T \cdot h_K + \frac{0,5G_n}{\ell - a} \cdot b_D, \quad (10)$$

$$G_T \cdot a_T + \frac{G_n(0,5\ell - a)}{\ell - a} (B_T - a_K) < P_T \cdot h_K + \frac{0,5G_n}{\ell - a} \cdot b_D + G_0(B_T - a_K) \quad (11)$$



$b_d$  – расстояние от опоры заднего колеса до вертикальной проекции действия силы  $N_D$ , м;  
 $a_k$  – расстояние от опоры переднего колеса до линии действия силы  $y_d$ , м;  $h_k$  – расстояние от поверхности земли до точки соединения кронштейна и торсионной оси устройства, м;  
 $a$  – расстояние от тягово-сцепного устройства, м;  $l$  – длина рессорной пружины, м;  
 $D$  – реакция демпфера, Н;  $P_T$  – тяговое усилие, Н;  $y_c$  и  $x_c$  – реакции в точке с, Н;  $G_n$  – вес плоской рессорной пружины, Н,  $R'_{пер}$  и  $R'_{зад}$  – вертикальные составляющие силовой реакции поверхности движения под опорами (колесными движителями) экспериментального трактора, Н

**Рисунок 4 – Схема действия сил к определению вертикальных составляющих реакций поверхности экспериментального тракторно-транспортного агрегата**

С учетом взаимодействующих величин, при сравнении формул (3) и (11), получена величина увеличения параметров, уменьшающих вероятность опрокидывания, для экспериментального трактора (12):

$$\Delta = \frac{G_n(0,5l - a)}{l - a} (B_T - a_k) - \frac{0,5G_n}{l - a} \cdot B_d - G_0(B_T - a_k) \quad (12)$$

**Заключение.** Таким образом, сформированный математический аппарат

подтверждает научную гипотезу о том, что при использовании предлагаемого устройства вероятность опрокидывания трактора при галопировании уменьшается за счет перемещения воздействующей внешней нагрузки в точку, расположенную ближе к передней опоре трактора.

Следовательно, применение устройства предложенной конструкции позволяет не только добиться стабилизации ходовой системы трактора, но и повысить устойчивость колесного энергетического средства против опрокидывания при проявлении эффекта галопирования.

**Список источников**

1. Алдошин Н. В., Пехутов А. С. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 4. С. 26–27.
2. Belyaev V. I., Fruhauf M., Mainel T. Ecological consequences of conversion of steppe to arable land in Western Siberia // Europa Regional. 2004. Vol. 1. No. 4. P. 13–21.

3. Патент № 2739635 Российская Федерация. Буксирно-распределяющее устройство : № 2020110487 : заявл. 11.03.2020 : опубл. 28.12.2020 / Кушнарев А. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Бюл. № 1. 10 с.

4. Шуравин А. А., Кузнецов Е. Е. Способ корректирования тягово-сцепных свойств колесного энергетического средства в повороте // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 164–167.

5. Шуравин А. А., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Исследования криволинейного движения транспортных агрегатов // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 1 (57). С. 98–107.

6. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 272 с.

7. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колесных мобильных энергетических средств : монография / С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов, Е. С. Поликутина, О. А. Кузнецова. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. 148 с.

### References

1. Aldoshin N. V., Pekhutov A. S. Povyshenie proizvoditel'nosti pri perevozke sel'skokhozyaystvennykh грузов [Improving productivity in the transportation of agricultural goods]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva. – Mechanization and electrification of agriculture*, 2012; 4: 26–27 (in Russ.).

2. Belyaev V. I., Fruhauf M., Mainel T. Ecological consequences of conversion of steppe to arable land in Western Siberia. *Europa Regional*, 2004; 1; 4: 13–21.

3. Kushnarev A. N., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Buksirno-raspredelyayushchee ustroystvo [Towing-distributing device]. *Patent RF, No. 2728162 patenton.ru 2020* Retrieved from <https://yandex.ru/patents/doc/RU2020110487C1> (Accessed 02 September 2022) (in Russ.).

4. Shuravin A. A., Kuznetsov E. E. Sposob korrektsirovaniya tyagovo-stsepnnykh svoystv kolesnogo energeticheskogo sredstva v povorote [Method for correcting of the traction-coupling properties of a wheeled power vehicle in a turn]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2021; 2: 164–167 (in Russ.).

5. Shuravin A. A., Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. Issledovaniya krivolineinogo dvizheniya transportnykh agregatov [Studies of curvilinear motion of transport units]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2021; 1: 98–107 (in Russ.).

6. Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv v tekhnologii vozdeyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: monografiya [Increasing of the efficiency of using mobile energy resources in the technology of cultivation of agricultural crops: monograph], Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2017, 272 p. (in Russ.).

7. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Polikutina E. S., Kuznetsova O. A. Povyshenie prodol'no-poperechnoy ustojchivosti i snizhenie tekhnogennogo vozdeystviya na pochvu kolyosnykh mobil'nykh energeticheskikh sredstv: monografiya [Increasing of the longitudinal-transverse stability and reducing of the technogenic impact on the soil of wheeled mobile power means: monograph], Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020, 148 p. (in Russ.).

© Шуравин А. А., Пономарев Н. В., Беляков Д. В., Панова Е. В., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., 2022

Статья поступила в редакцию 22.10.2022; одобрена после рецензирования 29.11.2022; принята к публикации 13.12.2022.

The article was submitted 22.10.2022; approved after reviewing 29.11.2022; accepted for publication 13.12.2022.

**Информация об авторах**

**Шуравин Александр Александрович**, аспирант, Дальневосточный государственный аграрный университет, [sh.aleksandr.2019@mail.ru](mailto:sh.aleksandr.2019@mail.ru);

**Пономарев Николай Вениаминович**, аспирант, Дальневосточный государственный аграрный университет, [nic\\_dalgau@mail.ru](mailto:nic_dalgau@mail.ru);

**Беляков Дмитрий Владимирович**, аспирант, Дальневосточный государственный аграрный университет;

**Панова Елена Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, [panova1968@mail.ru](mailto:panova1968@mail.ru);

**Кузнецов Евгений Евгеньевич**, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru);

**Щитов Сергей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет, [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru)

**Information about authors**

**Aleksandr A. Shuravin**, Postgraduate Student, Far Eastern State Agrarian University, [sh.aleksandr.2019@mail.ru](mailto:sh.aleksandr.2019@mail.ru);

**Nikolai V. Ponomarev**, Postgraduate Student, Far Eastern State Agrarian University, [nic\\_dalgau@mail.ru](mailto:nic_dalgau@mail.ru);

**Dmitrii V. Belyakov**, Postgraduate Student, Far Eastern State Agrarian University;

**Elena V. Panova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, [panova1968@mail.ru](mailto:panova1968@mail.ru);

**Evgenii E. Kuznetsov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru);

**Sergei V. Shchitov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University, [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru)