

**Шекихачев Ю.А., Мишхожев В.Х., Шекихачева Л.З., Мишхожев Каз.В.,  
Мишхожев Кан.В.  
Shekikhachev Y.A., Mishkhogev V.H., Shekikhacheva L.Z., Mishkhogev Kaz.V.,  
Mishkhogev Kan.V.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА НА СКЛОНЕ STUDY OF WHEEL TRACTOR MOVEMENT ON SLOPE**

В статье предлагается методика моделирования процесса буксования движителей трактора при вероятностном характере внешних воздействий.

В условиях горного земледелия при обработке склоновых земель, имеющих уклон 9...10°, чаще всего используются колесные тракторы с пневматическими шинами. Технологический процесс их работы на склоновых землях, как и тракторов с гусеничным движителем, ограничен как наличием опасности опрокидывания, так и заметным снижением работоспособности вследствие ухудшения сцепления с почвой.

Наибольшее внимание следует обращать на процесс работы колесных тракторов при наличии бокового крена, так как в этом случае на них оказывает влияние действие боковой силы, вызванной весом трактора.

Известно, что жесткое колесо в случае, когда имеет место боковая сила, перекачивается в плоскости своего вращения до тех пор, пока значение боковой реакции почвы не сравняется с силой сцепления. Пневматическое же колесо, которое обладает также боковой эластичностью, перекачивается под углом к плоскости своего вращения даже при минимальной боковой силе. Данное явление характеризуется таким понятием, как «боковой увод колеса».

Хотя при эксплуатации тракторных агрегатов боковой увод колес и не постоянно действующий фактор, это явление и его влияние на движение тракторного агрегата исследовано довольно глубоко. Боковая сила, которая вызывает боковой увод колес трактора – это, главным образом, центробежная сила инерции, которая возникает в процессе движения трактора на повороте, или под действием бокового ветра.

Работа тракторного агрегата с боковым креном при эксплуатации в условиях склоновых земель – это эксплуатационный режим с постоянным действием боковой силы. Получены зависимости для расчета сил, которые вызывают боковой увод колес передней и задней оси трактора при эксплуатации в условиях склоновых земель.

The article proposes a technique for simulating the process of towing tractor propellers under the probabilistic nature of external impacts.

In mountain farming, wheeled tractors with pneumatic tyres are most often used in the processing of 9 lands with a slope of... 10 °. The technological process of their operation on slope lands, as well as tractors with a caterpillar propulsor, is limited both by the presence of danger of rollover and by the marked decrease of operability due to deterioration of adhesion with the soil.

Most attention should be paid to the operation of wheeled tractors in the presence of a side roll, as in this case they are influenced by the side force caused by the weight of the tractor.

It is known that the hard wheel, in the case where lateral force occurs, is rolled in the plane of its rotation until the value of the lateral reaction of the soil is equal to the adhesion force. The pneumatic wheel, which also has lateral elasticity, rolls at an angle to the plane of its rotation even with minimal lateral force. This phenomenon is characterized by the concept of "side wheel recovery."

Although in the operation of tractor units, the lateral withdrawal of wheels is not a constant factor, this phenomenon and its impact on the movement of the tractor unit has been studied quite

deeply. The lateral force that causes the side discharge of the tractor wheels is mainly the centrifugal force of inertia that occurs during the movement of the tractor at a turn, or under the influence of lateral wind.

Operation of tractor unit with side roll during operation under conditions of slope lands is operational mode with constant action of side force. Dependencies are obtained for calculation of forces, which cause lateral discharge of wheels of front and rear axes of tractor during operation in conditions of slope lands.

**Ключевые слова:** склон, трактор, движение, скольжение, боковой увод, движитель, буксование.

**Key words:** slope, tractor, movement, sliding, lateral recovery, propulsor, towing.

**Шекихачев Юрий Ахметханович** – доктор технических наук, профессор кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Тел.: 8 928 077 33 77

E-mail: shek-fmer@mail.ru

**Мишхожев Владислав Хасенович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механизации сельского хозяйства, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

**Шекихачева Людмила Зачиевна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, Нальчик

**Мишхожев Каземир Владиславович** – студент 3 курса направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

**Мишхожев Кантемир Владиславович** – студент 4 курса направления подготовки «Экономика», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

**Shekikhachev Yuri Akhmetkhanovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technical Mechanics and Physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

**Mishkhozhev Vladislav Khasenovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agricultural Mechanization, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

**Shekikhacheva Lyudmila Zachievna** - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Land Management and Cadasters, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

**Mishkhozhev Kazemir Vladislavovich** – 3rd year student of the direction of preparation "Heat and Power Engineering", FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

**Mishkhozhev Kantemir Vladislavovich** – 4th year student of the "Economics" training direction, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

**Введение.** Эффективность использования колесных тракторов в заданных условиях в значительной степени зависит от показателей, характеризующих тягово-сцепных свойств трактора [1-3]. Эти показатели эксплуатационных свойств трактора определяют по результатам его тяговых испытаний. Однако получаемая при этом информация не обобщается до уровня математических моделей, что не позволяет использовать ее за пределами условий, сопутствующих эксперименту [4-8].

Работа трактора с боковым креном в горных местностях представляет эксплуатационный режим, при котором боковая сила действует на трактор постоянно. Боковой увод пневматиков отрицательно влияет на устойчивость в направлении движения и на управляемость трактора, вызывает дополнительный расход энергии, в связи с чем ухудшается топливная экономичность. Следовательно, боковой увод колес для тракторов имеет не менее важное значение, чем для автомобилей. Несмотря на это, в настоящее время данной проблеме не уделено достаточного внимания.

**Методы проведения исследований** включают: теоретические исследования процесса работы колесного трактора на склоновых землях со сложным рельефом местности с использованием математического анализа.

**Результаты исследования и их обсуждение.** При моделировании процесса движения колесных тракторов по склону параметры буксования движителя подразделяются на основные (частота вращения вала двигателя  $\omega$ , часовой расход топлива  $G$ , показатель буксования  $\delta$  и фактический радиус ведущих колес  $r_\phi$ ) и производные (скорость  $V$ , крюковая мощность  $N_{кр}$ , тяговая КПД  $\eta_T$ , условный тяговый КПД,  $\eta'_T$  и удельный расход топлива  $g_{кр}$ ):

$$V = \frac{\omega r_\phi}{c_k} (1 - \delta); \quad (1)$$

$$N_{кр} = P_{кр} \cdot V; \quad (2)$$

$$\eta_T = \frac{N_{кр}}{N}; \quad (3)$$

$$\eta'_T = \frac{N_{кр}}{N_H}; \quad (4)$$

$$g_{кр} = \frac{G}{N_{кр}}, \quad (5)$$

где  $N_H$  – номинальная мощность двигателя.

Величина  $\delta$  равна:

$$\delta = \delta_x + \delta_p, \quad (6)$$

где  $\delta_x$  – показатель буксования при холостом ходе трактора;  $\delta_p$  – составляющая показателя буксования влиянием тяговой нагрузки  $P$ .

В свою очередь:

$$\delta_x = f_1(G_z; r_k; \omega_k; \rho; H; \zeta; \text{tg} \alpha_n) \cdot K, \quad (7)$$

$$\delta_p = f_2(r_k; \omega_k; P_x; h_p; \text{tg} \alpha_p; \rho; H; \zeta) \cdot K, \quad (8)$$

где  $f_1, f_2$  – коэффициенты трения колеса о почву, соответственно, при холостом и рабочем ходе трактора;  $G_z$  – вес трактора, Н;  $r_k$  – радиус колеса, м;  $\omega_k$  – частота вращения колеса,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\rho$  – плотность почвы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $H$  – высота прицепа орудий к трактору, м;  $\alpha_n$  – направление силы тяги, град;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $K$  – форма и качество протектора колес.

После некоторых преобразований получим:

$$\delta_x = \varphi_1 \left( \frac{G_z}{\rho g r_k^3}; \frac{\omega_k r_k}{\sqrt{g r_k}}; \frac{H}{\rho g r_k}; \text{tg} \alpha_n; K \right); \quad (9)$$

$$\delta_p = \varphi_2 \left( \frac{\omega_k r_k}{g r_k}; \frac{P_x}{\rho g r_k^3}; \text{tg} \alpha_p; \frac{H}{g \rho r_k}; \frac{h_p}{r_k}; K \right). \quad (10)$$

Зависимости (9) и (10) представим так:

$$\delta_x = A_0 \frac{G_z}{\rho g r_k^3} K; \quad (11)$$

$$\delta_p = A_1 A_2 K, \quad (12)$$

где

$$A_0 = \varphi \left( \frac{\omega_k r_k}{\sqrt{g r_k}}; \frac{H}{\rho g r_k}; \text{tg} \alpha_n \right); \quad (13)$$

$$A_1 = \varphi \left( \frac{\omega_k}{\sqrt{g r_k}}; \frac{h_p}{r_k}; \text{tg} \alpha_p; \frac{H}{\rho g r_k} \right); \quad (14)$$

$$A_2 = \varphi \left( \frac{P_x}{\rho g r_k^3} \right). \quad (15)$$

Окончательно:

$$\delta_p = (B_1 + B_2 Z_p) \frac{P_x}{\rho g r_k^3} \cdot K, \quad (16)$$

где

$$B_1 = \Delta_1(\delta_p)_0 \frac{\rho g r_k^3}{P_1}; \quad (17)$$

$$B_2 = \Delta_2(\delta_p)_0 \frac{\rho g r_k^3}{P_i}; \quad (18)$$

$$Z_p = \left( \frac{P_x}{P_i} - 1 \right) \cdot \left( \frac{P_x}{P_i} - 2 \right). \quad (19)$$

При движении с боковым креном действующая на трактор боковая сила  $G \sin \alpha$  (рис. 1) распределяется по осям трактора следующим образом:

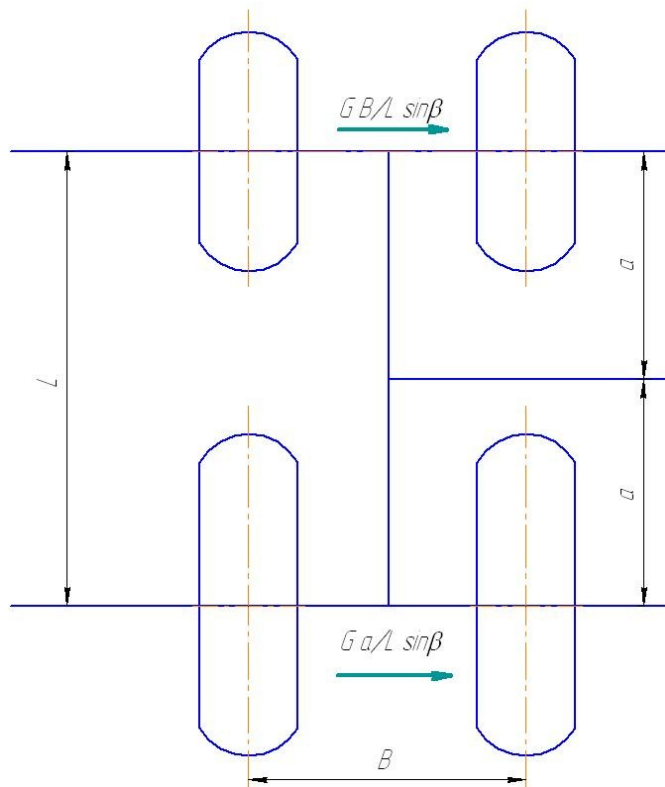
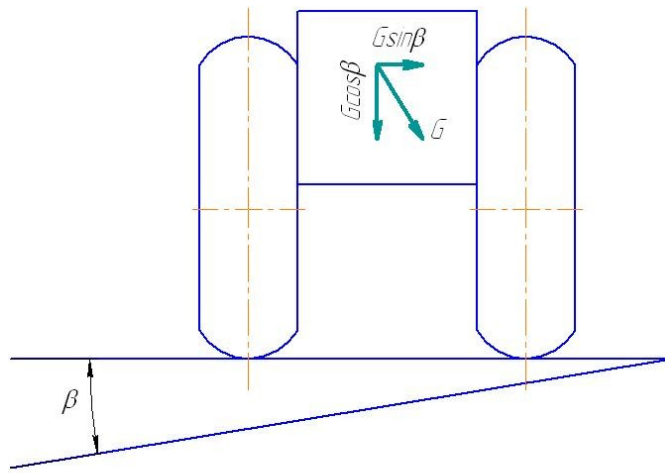


Рисунок 1 – Движение трактора с боковым креном

- передняя ось:

$$G \frac{b}{L} \cdot \sin \alpha, \tag{1}$$

- задняя ось:

$$G \frac{a}{b} \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол склона.

Под действием указанных сил возникает боковой увод колес.

Для упрощения допускаем, что углы бокового увода ведущих и передних колес равны. При этом, угол бокового увода ( $\delta_2$ ) ведущих колес больше угла бокового увода ( $\delta_1$ ) передних колес:  $\delta_2 > \delta_1$ . В этом случае трактор начнет двигаться прямолинейно поперек склона после того, как задние колеса трактора повернутся к направлению движения на угол  $\delta_2$ , а передние колеса – вниз по склону на угол  $\Theta = \delta_2 - \delta_1$  (рис. 2). При этом на угол бокового увода  $\delta_2$  повернется и продольная ось трактора.

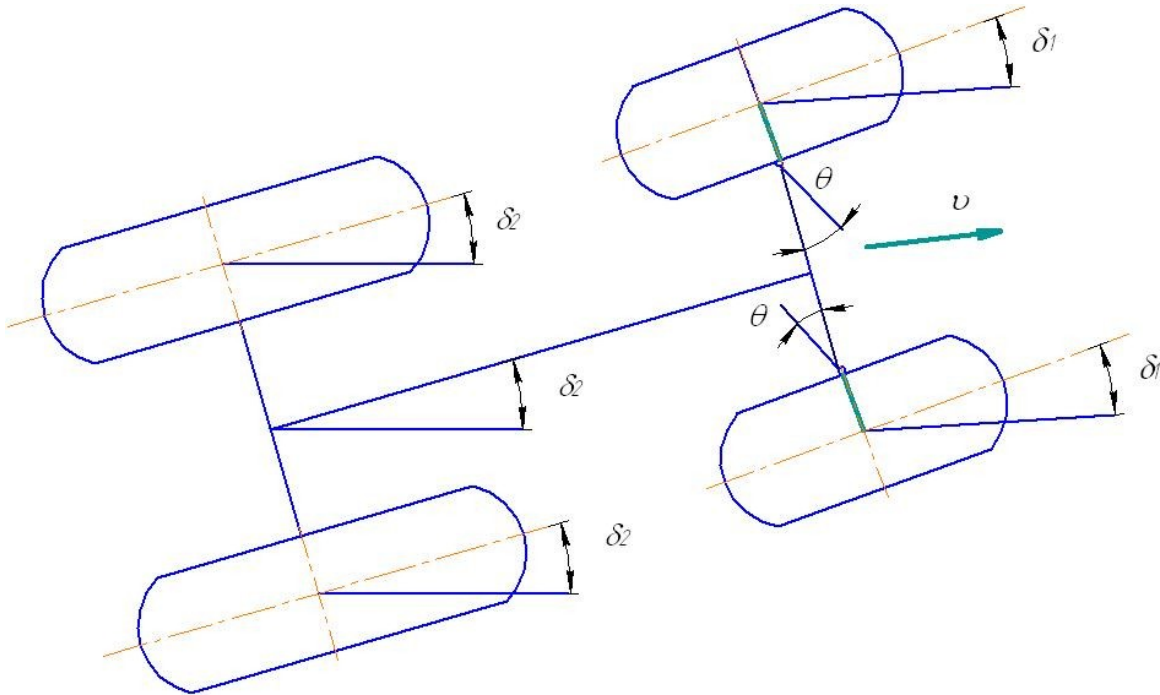


Рисунок 2 – Движение трактора с боковым уводом

При  $\delta_1 > \delta_2$  передние колеса следует повернуть вверх по склону на угол  $\Theta = \delta_1 - \delta_2$ .

В действительности, угол бокового увода  $\delta_2''$  нижнего колеса задней оси меньше угла бокового увода  $\delta_2'$  верхнего колеса той же оси, а для передних колес  $\delta_1'' < \delta_1'$ . В этом случае угол поворота продольной оси трактора не может

равняться двум разным углам бокового увода задних колес и угол поворота  $\Theta$  передних колес также не может соответствовать двум углам бокового увода тех же колес. Ввиду этого, качение колес сопровождается скольжением, что вызывает увеличение сопротивления движения трактора при перемещении с креном.

Для того, чтобы обеспечить движение трактора в заданном направлении при работе с боковым креном направляющие колеса, следует повернуть вверх или вниз на угол  $\Theta$ . Точно повернуть передние колеса на требуемый угол  $\Theta$  практически невозможно. Исходя из этого, имеет место недостаточный или излишний поворот. Вследствие этого, необходимо дополнительно поворачивать колеса то в одну, то в другую сторону. Из-за этого трактор начинает вилять, приводя к уменьшению его полезной работы вследствие уменьшения коэффициента использования действительной скорости.

В случае агрегатирования трактора с прицепом, под действием боковой силы  $G_a \sin \alpha$  ( $G_a$  – вес прицепа) имеет место боковой увод колес прицепа, продолжающийся до тех пор, пока они не повернутся на угол бокового увода (рис. 3).

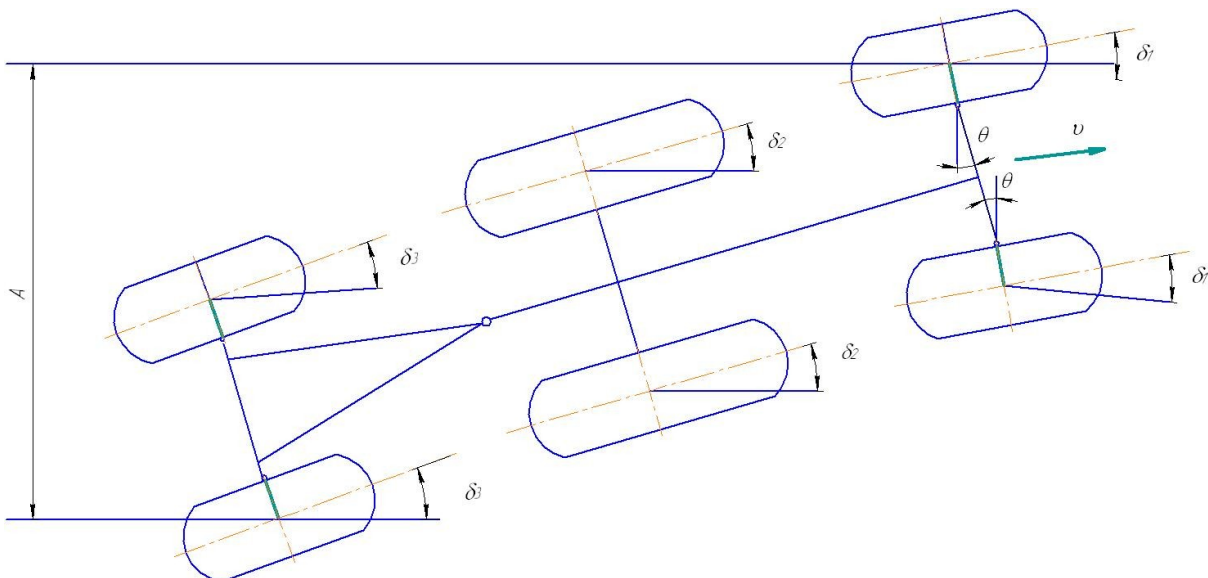


Рисунок 3 – Схема колесного трактора с прицепом



При движении с креном из-за увода колес значительно возрастает ширина захвата  $A$  тракторного агрегата. Установлено, что ширина захвата тракторного агрегата на склоне  $10...12^\circ$  увеличивается до 40 см, что усложняет его работу в междурядьях сельхозкультур.

**Область применения результатов.** Результаты исследования могут быть использованы сельскохозяйственными предприятиями.

**Выводы.** 1. Величина угла бокового увода определяется наряду с действующей боковой силой также и боковой эластичностью колеса и радиальной нагрузкой на колесо. Для качения колес без скольжения необходимо обеспечить разные углы бокового увода.

2. Боковой увод колес увеличивает сопротивление движению и ширину захвата тракторного агрегата при его движении поперек склона.

3. Величину бокового увода колеса можно уменьшить путем увеличения боковой жесткости шины (увеличив давление в нем или заполнив ее водой).

### Литература

1. Каскулов М.Х., Шекихачев Ю.А., Тхазеплов Х.М. Эффективность колесных тракторов в условиях горного земледелия. Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2009. 32 с.

2. Балкаров Р.А., Шомахов Л.А., Шекихачев Ю.А. Машины по уходу за почвой в садах на горных склонах // Садоводство и виноградарство. 2000. № 1. С. 7.

3. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B., Borisova N.A. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards / Indian Journal of Ecology. 2017. Т. 44. № 2. P. 239-243.

4. Шомахов Л.А., Шекихачев Ю.А., Балкаров Р.А. Машины по уходу за почвой в садах на горных склонах / Л.А. Шомахов, Ю.А. Шекихачев, Р.А. Балкаров // Садоводство и виноградарство. 1999. № 1. С. 7.

5. Каскулов М.Х., Шекихачев Ю.А., Тхазеплов Х.М. Математическая модель машинно-тракторного парка в условиях горного земледелия. Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2010. 23 с.

6. Каскулов М.Х., Шекихачев Ю.А., Тхазеплов Х.М. Оптимизация параметров движителя колесного трактора с шинами со съёмным протектором. Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2010. 36 с.

7. Мишхожеев В.Х., Шекихачев Ю.А., Каскулов М.Х. О техническом и технологическом решении задачи повышения эффективности горного кормопроизводства в Кабардино-Балкарской республике // АгроЭкоИнфо.

2018. № 1 (31). С. 25.

8. Пазова Т.Х., Шекихачев Ю.А., Сохроков А.Х., Дохов М.П., Твердохлебов С.А., Кишев М.А. Оптимизация состава машинно-тракторного парка // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 75. С. 285-295.

### References

1. Kaskulov M.H., SHekihachev YU.A., Thazeplov H.M. Effektivnost' kolesnyh traktorov v usloviyah gornogo zemledeliya. Nal'chik: Poligrafservis i T, 2009. 32 s.

2. Balkarov R.A., SHomahov L.A., SHekihachev YU.A. Mashiny po uhodu za pochvoj v sadah na gornyh sklonah // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2000. № 1. S. 7.

3. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B., Borisova N.A. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards / Indian Journal of Ecology. 2017. T. 44. № 2. R. 239-243.

4. SHomahov L.A., SHekihachev YU.A., Balkarov R.A. Mashiny po uhodu za pochvoj v sadah na gornyh sklonah / L.A. SHomahov, YU.A. SHekihachev, R.A. Balkarov // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 1999. № 1. S. 7.

5. Kaskulov M.H., SHekihachev YU.A., Thazeplov H.M. Matematicheskaya model' mashinno-traktornogo parka v usloviyah gornogo zemledeliya. Nal'chik: Poligrafservis i T, 2010. 23 s.

6. Kaskulov M.H., SHekihachev YU.A., Thazeplov H.M. Optimizaciya parametrov dvizhitelya kolesnogo traktora s shinami so s"emnym protektorom. Nal'chik: Poligrafservis i T, 2010. 36 s.

7. Mishkhozhev V.H., SHekihachev YU.A., Kaskulov M.H. O tekhnicheskome i tekhnologicheskom reshenii zadachi povysheniya effektivnosti gornogo kormoproizvodstva v Kabardino-Balkarskoj respublike // AgroEkoInfo. 2018. № 1 (31). S. 25.

8. Pazova T.H., SHekihachev YU.A., Sohrokov A.H., Dohov M.P., Tverdohlebov S.A., Kishev M.A. Optimizaciya sostava mashinno-traktornogo parka // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 75. S. 285-295.