

**АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES****Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса**  
**Technologies, Machines and Equipment for the Agro-industrial Complex**

Научная статья

УДК 631.331:001.891

doi: 10.55196/2411-3492-2025-2-48-59-66

**Пути повышения динамико-технологических характеристик**  
**машинно-тракторного агрегата на склоне****Казбек Дмитриевич Кудзиев<sup>1</sup>, Мухтарбек Агубеевич Кубалов<sup>2</sup>,**  
**Алан Маирбекович Агузаров<sup>3</sup>**

Горский государственный аграрный университет, улица Кирова, 37, Владикавказ, Россия, 362040

<sup>1</sup>k.d.kudziev@gmail.com<sup>2</sup>mehfak@gorskigau.ru<sup>3</sup>alan-aguzarov@mail.ru

**Аннотация.** Сельскохозяйственная техника, предназначенная для горных условий, должна быть универсальной, способной работать на склоне и равнине. Также необходимо, чтобы мобильные склоновые агрегаты по возможности были комбинированными, выполняли два и более технологических процесса. Современные сельскохозяйственные агрегаты, применяемые на склонах, устойчивы против опрокидывания, однако при несоблюдении научно обоснованных правил поворота на концах гона часто возникает аварийная ситуация, и агрегат опрокидывается. Это особенно относится к колесным тракторным агрегатам. Изложенное говорит о том, что мобильные склоновые агрегаты должны обладать свойством достаточной маневренности. Проведенный анализ состояния исследуемой проблемы показал, что на качество технологических процессов, выполняемых на склонах, решающее влияние оказывают форма и параметры рельефа, которые нарушают управляемость и устойчивость движения мобильного агрегата вдоль горизонтали склона. Для стабилизации направления движения и повышения динамико-технологических характеристик машинно-тракторного агрегата при работе на склоне разработано двухконтурное автоматическое устройство, которому свойственно наличие систематической ошибки. Величина ошибки возрастает с увеличением крутизны склона. Компенсация этой ошибки возможна при периодическом использовании ориентиров горизонталей через каждые 20–30 м прохода машинно-тракторного агрегата. В результате проведенных исследований установлено весомое влияние микро-рельефа поля и изменчивости почвы на устойчивость движения на склоне.

**Ключевые слова:** склон, рельеф, почва, машинно-тракторный агрегат, технологический процесс, курсовая устойчивость, горизонталь

**Для цитирования:** Кудзиев К. Д., Кубалов М. А., Агузаров А. М. Пути повышения динамико-технологических характеристик машинно-тракторного агрегата на склоне // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова 2025. № 2(48). С. 59–66. doi: 10.55196/2411-3492-2025-2-48-59-66

Original article

## Ways to improve the dynamic and technological characteristics of a machine-tractor unit on a slope

Kazbek D. Kudziev<sup>1</sup>, Mukhtarbek A. Kubalov<sup>2</sup>, Alan M. Aguzarov<sup>✉3</sup>

Gorsky State Agrarian University, 37 Kirov Street, Vladikavkaz, Russia, 362040

<sup>1</sup>k.d.kudziev@gmail.com

<sup>2</sup>mechfak@gorskigau.ru

<sup>✉3</sup>alan-aguzarov@mail.ru

**Abstract.** Agricultural machinery designed for mountain conditions must be universal, capable of operating on a slope and a plain. It is also necessary that mobile slope units be combined, if possible, and perform two or more technological processes. Modern agricultural units used on slopes are resistant to tipping over, however, if scientifically based rules for turning are not observed, an emergency situation often occurs at the ends of the run, and the unit tips over. This especially applies to wheeled tractor units. The above suggests that mobile slope units must have the property of sufficient maneuverability. The conducted analysis of the state of the problem under study showed that the quality of technological processes performed on slopes is decisively influenced by the shape and parameters of the relief, which disrupt the controllability and stability of the mobile unit along the horizontal slope. A dual-circuit automatic device has been developed to stabilize the direction of movement and improve the dynamic and technological characteristics of the machine-tractor unit when working on a slope. The device for stabilizing the direction of movement with a two-circuit angular correction is characterized by the presence of a systematic error at the level, the value of which increases with the steepness of the slope. Compensation for this error is possible with the periodic use of horizontal reference points every 20–30 m of the passage of the machine-tractor unit. As a result of the conducted studies, a significant influence of the field microrelief and soil variability on the stability of movement on the slope was established.

**Keywords:** slope, relief, soil, machine-tractor unit, technological process, directional stability, horizontal

**For citation:** Kudziev K.D., Kubalov M.A., Aguzarov A.M. Ways to improve the dynamic and technological characteristics of a machine-tractor unit on a slope. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2025;2(48):59–66. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2025-2-48-59-66

**Введение.** Технологические показатели выполняемых технологических операций, особенно на склонах, значительно зависят от управляемости и устойчивости работы мобильных сельскохозяйственных агрегатов [1–3].

На качество технологических процессов, выполняемых на склонах, решающее влияние оказывают форма и параметры рельефа. От этого зависит степень нарушения устойчивости работы и управляемости мобильного сельскохозяйственного агрегата.

Следует констатировать тот факт, что форма поверхности склона как геометрическая фигура не всегда учитывается при рассмотрении динамики мобильного агрегата, а между тем влияние ее на технологическую стабильность процесса значительное.

Форма рельефа склонов в общем случае подразделяется на плоскую, выпуклую и вогнутую поверхности, а главными их параметрами являются радиус кривизны кривых горизонталей, амплитуда и частота изменения форм поверхностей по длине гона.

Заметим, что форма кривых горизонталей, по которым движется агрегат, является главным внешним фактором, воздействующим на глубину хода рабочих органов.

Горная сельскохозяйственная техника вместе со специализацией должна быть универсальной, способной работать на склоне и равнине. Желательно также, чтобы мобильные склоновые агрегаты по возможности были комбинированными, выполняли два и более технологических процесса [4–9].

Современные сельскохозяйственные агрегаты, применяемые на склонах, устойчивы против опрокидывания, однако при несоблюдении научно обоснованных правил поворота на концах гона часто возникает аварийная ситуация, и агрегат опрокидывается. Это особенно относится к колесным тракторным агрегатам. Изложенное говорит о том, что мобильные склоновые агрегаты должны обладать свойством достаточной маневренности [10–12].

Известные исследования свидетельствуют о том, что маневренные склоновые агрегаты должны быть по возможности компактными и оснащенными автоматическими средствами, повышающими устойчивость работы и улучшающими управляемость.

При разработке новой и совершенствовании существующей техники в основу основ следует заложить обеспечение требуемого качества выполняемого технологического процесса, иначе все технические решения по созданию склоновой техники теряют смысл.

Таким образом, несмотря на наличие многочисленных работ по исследованию мобильных сельскохозяйственных агрегатов на склонах, проблема эта и сегодня является актуальной, требующей следующего этапа развития.

**Цель исследования** – повышение динамико-технологических характеристик машинно-тракторного агрегата (МТА) на склоне.

**Материалы, методы и объекты исследования.** При проведении исследования использована типовая нормативная и справочная информация. Исследования базируются на теоретических и эмпирических методах анализа, обобщения и сравнения. В качестве объекта исследования использовано разработанное двухконтурное автоматическое устройство.

**Результаты исследования.** Технологические процессы обработки почвы, особенно колесными агрегатами, являются следствием поведения последнего как сложной динамической, механической системы. Обеспечить высокую стабильность их качества возможно лишь составлением математической модели системы и глубоким, всесторонним ее анализом.

Поперечные отклонения агрегатов неизбежны, поэтому решение задачи заключается в том, чтобы эти отклонения в качестве ограничений при анализе уравнений движения не

выходили за пределы агротехнических допусков, равных  $0,1B$  (при сплошной обработке почвы), где  $B$  – ширина захвата рабочей машины.

При соблюдении этого требования считается, что мобильный агрегат обладает достаточной курсовой устойчивостью. Принято под курсовой устойчивостью МТА понимать совокупность его свойств, обеспечивающих движение в заданном направлении без воздействия на органы управления с минимальными отклонениями от заданной траектории. Считается целесообразным курсовую устойчивость МТА на склоне оценивать по среднеинтегральному коридору движения [12]:

$$KД_u = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} KД dt ,$$

где

$KД$  – текущее значение коридора движения, которое определяется из следующего выражения:

$$KД = B + b_{3,4} + L \cdot \sin(\varphi) + r_{1,2} \cdot \sin(\varphi + \theta_{1,2}) - 0,5 \cdot (b_{3,4} - b_{1,2}) + r_{3,4} \cdot \sin(\varphi + \theta_{3,4}) + Y_k ,$$

где

$t_k, t_0$  – время начала и окончания движения агрегата соответственно, с;

$\varphi$  – курсовой угол, град;

$L$  – база трактора, м;

$b_{1,2}, b_{3,4}$  – средняя ширина шин передней и задней осей соответственно, м;

$\theta_{1,2}, \theta_{3,4}$  – углы поворота передней и задней осей соответственно;

$r_{1,2}, r_{3,4}$  – свободные радиусы колес передней и задней осей соответственно, м;

$Y_k$  – поперечное отклонение трактора, м.

Таким образом, условие достаточной курсовой устойчивости будет:

$$KД \leq KД_g ,$$

где

$KД_g$  – допустимая величина коридора движения. По расчетам, при междурядной обработке пропашных культур с трактором МТЗ-82К  $KД_g = 0,26$  м.

Если выбрать культиватор КРН-2,4, то по известному выражению  $0,1B = 0,24 \text{ м} < KД_g$  получается противоречие. Поэтому с предложениями, изложенными в [12], следует обращаться достаточно осторожно и при «особых» случаях, например, при ширине захвата пропашного культиватора  $B > 2,6 \text{ м}$ .

Отметим, что из-за бокового крена нагрузка на ходовые колеса распределяется неравномерно, в результате чего возникает поворачивающий момент, иногда достигающий 5000 Н·м на склоне  $10^\circ$ , из-за чего поперечное отклонение составляет 20 м на длине гона 100 м. Величина поворачивающего момента для колесных тракторов определяется по выражению:

$$M_n = f \cdot (R_1 - R_2) \cdot \frac{B}{2},$$

где

$f$  – коэффициент сопротивления качению колес;

$R_1, R_2$  – сумма нормальных реакций переднего и заднего, нижних и верхних колес соответственно, Н;

$B$  – колея трактора, м.

Перераспределение нагрузок значительно ухудшает тяговые качества трактора, возрастает сползание и буксование.

При движении машинно-тракторного агрегата вдоль горизонтали склона происходит самопроизвольный увод вниз по склону, приводящий к нарушению прямолинейного движения трактора и, как следствие, к увеличению непроизводительных затрат мощности, перерасходу топлива и, что очень важно, к недопустимому ухудшению качества выполняемого технологического процесса.

Потери мощности трактора, ухудшение управляемости и устойчивости МТА особенно значительны при работе на склоне с пересяченным рельефом, характеризующимся вогнутостью или выпуклостью кривых горизонталей поверхности. Так, на выпуклом рельефе с углом склона в  $5^\circ$  потеря мощности составляет 6,2 кВт, а на склоне  $12^\circ$  составляет 16,5 кВт [11].

Сохранение параллельности продольной оси МТА и касательных к кривым горизонталей поверхности поля не даёт возможности полностью избежать отклонения от заданного направления движения. Изменчивый характер

почвы и грунта постоянно перемещает трактор вниз по склону, поэтому параллельно с работами по улучшению работы МТА, безусловно, следует вести также исследования по разработке стабилизатора направления движения МТА.

Способность МТА сохранять (следовать) заданное направление движения – важнейший показатель функционирования динамической механической системы. Нарушение курсовой устойчивости не только приводит к изменению ширины захвата агрегата, но и порождает большие опасности снижения качества работы при возделывании пропашных культур на склонах – прямолинейность высаживаемых рядов; чрезмерное изменение стыковых междурядий; увеличение степени повреждения культурных растений (большие значения агротехнических допусков) и т. д.

Согласно нашим исследованиям и имеющейся информации из научных литературных источников курсовая устойчивость колесного МТА нарушается в основном из-за наличия следующих трех факторов: увод колес; поворачивающий момент; перемещение вниз по склону из-за изменчивости объёмного коэффициента смятия почвы по длине гона и по ширине захвата агрегата.

В противоположность известным положениям о том, что агрегат сползает вниз по склону, мы считаем, что МТА может сползать по склону вниз, если угол  $\alpha$  данного склона больше угла внешнего трения ходовых органов, т. е.  $\alpha > \varphi$ .

Известно, что условие устойчивого прямолинейного движения машины описывается величиной критической скорости движения:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{K_{Y_1} \cdot K_{Y_2} \cdot (\ell_1 + \ell_2)}{m \cdot (\ell_1 \cdot K_{Y_1} - \ell_2 \cdot K_{Y_2})}},$$

где

$K_{Y_1}, K_{Y_2}$  – коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей машины соответственно;

$\ell_1, \ell_2$  – расстояния от центра масс машины передней и задней осей соответственно;

$m$  – масса машины.

При работе на склоне машин, взаимодействующих с почвенной средой (культиватор, плуг, сеялка и др.), устойчивость прямолинейного движения МТА можно улучшить ре-

гулированием величины боковой реакции (например, полевой доски) путем изменения направления силы тяги в вертикально-продольной плоскости.

На потери курсовой устойчивости МТА значительное влияние оказывает изменчивый характер физико-технологических свойств почвы и грунта.

При работе в таких почвенных условиях, даже если нет сползания трактора вниз по склону, т. е.  $\alpha < \varphi = 20^\circ$ , где  $\alpha$  – угол склона,  $\varphi$  – угол трения ходовой части о почву), всё равно происходит процесс перемещения агрегата вниз.

Анализ известных научных материалов показывает, что наиболее рациональным решением проблемы повышения курсовой устойчивости мобильного сельскохозяйственного агрегата является создание и применение устройства стабилизации направления движения (УСНД) тракторного агрегата вдоль горизонтали склона.

В Горском ГАУ было разработано устройство, которое при движении машинно-тракторного агрегата поперёк склона обеспечивает поворот управляемых колёс в сторону подъёма на угол, величина которого определяется крутизной склона, что позволяет исключить самопроизвольный поворот трактора вниз по склону [11].

В идеальном случае этого было бы достаточно для того, чтобы удерживать МТА на горизонтали склона. Однако воздействие возмущения (рельеф, неоднородность почвы, изменение составляющих силы тяги и пр.) приводит к тому, что траектория движения МТА отклоняется от горизонтали, что обуславливает необходимость периодической коррекции траектории его движения.

Процесс коррекции траектории движения состоит из следующих этапов:

- установление направления и величины отклонения траектории движения агрегата от горизонтали склона;
- определение знака и интенсивности корректирующего воздействия;
- формирование корректирующего воздействия;
- отработка корректирующего воздействия.

Таким образом, устройство стабилизации направления движения вдоль горизонтали склона содержит основной контур стабилизации курса и вспомогательный контур коррекции по уклону, который начинает функционировать только при наличии продольного крена или отклонений агрегата от горизонтали под влиянием различных возмущающих воздействий [13].

Для оценки технологической эффективности применения стабилизирующего устройства направления движения были проведены экспериментальные исследования по определению степени повреждения культурных растений рабочими органами пропашного агрегата, оборудованного УСНД. Анализ полученных данных подтверждает технологическую эффективность применения на тракторе УСНД, нормализующего динамическую устойчивость пропашного агрегата в целом, способствующего повышению допустимых скоростей движения агрегата на склоне. Таким образом, УСНД способствует сокращению подрезаний культурных растений рабочими органами культиватора и, как следствие, повышается качество технологического процесса и производительность машинно-тракторного агрегата.

Техническая эффективность стабилизатора с увеличением крутизны склона более высокая, что говорит о том, что УСНД быстрее реагирует на изменение внешних возмущающих факторов.

**Выводы.** Установлено весомое влияние микрорельефа поля и изменчивости почвы на устойчивость движения машинно-тракторного агрегата на склоне.

Для повышения динамико-технологических характеристик МТА на склоне необходимо оборудовать трактор устройством автоматической стабилизации направления движения.

Устройству стабилизации направления движения с двухконтурной угловой коррекцией свойственно наличие систематической ошибки на уровне, величина которой возрастает с увеличением крутизны склона. Компенсация этой ошибки возможна при периодическом использовании ориентиров горизонталей через каждые 20–30 м прохода МТА.

Список литературы

1. Исследование движения колесного трактора на склоне / Ю. А. Шекихачев, В. Х. Мишхожев, Л. З. Шекихачева [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2019. № 4 (26). С. 81–86. EDN: NXIKNV
2. Повышение эксплуатационной надежности сельскохозяйственных машин / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2023. № 4(310). С. 12–16. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16. EDN: HHJDDY
3. Апажев А. К., Шомахов Л. А., Шекихачев Ю. А. Экономико-математическая модель оптимизации парка машин для садоводства на террасированных склонах // Экономические, био-техно-технологические аспекты устойчивого сельского развития в условиях цифровой трансформации: сб. науч. тр. по итогам VII Международной научно-практической конференции памяти Б. Х. Жерукова. Нальчик, 2019. С. 6–10. EDN: BVUBKF
4. Технологическое и техническое обеспечение повышения эффективности интенсивного горного и предгорного садоводства / А. Л. Хажметова, А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев [и др.] // Техника и оборудование для села. 2019. № 6(264). С. 23–28. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-23-28. EDN: NERVCY
5. Апажев А. К., Егожев А. М., Алиев Н. А., Апхудов Х. А. Устройство для обработки зоны приствольного круга интенсивного сада на склоновых землях // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 2 (44). С. 75–81. DOI: 10.55196/2411-3492-2024-2-44-75-81. EDN: PEZRYL
6. Шомахов Л. А., Шекихачев Ю. А., Балкаров Р. А. Машины по уходу за почвой в садах на горных склонах // Садоводство и виноградарство. 1999. № 1. С. 7.
7. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М. Рациональные параметры и режимы работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата // Известия Горского государственного аграрного университета. 2016. Т. 53. № 2. С. 138–143. EDN: WCFZTV
8. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М. Рациональные параметры и режимы работы комбинированного почвообрабатывающего шлейфа // Известия Горского государственного аграрного университета. 2016. Т. 53. № 2. С. 146–151. EDN: WCFZUP
9. Хажметова А. Л., Карданов Р. А., Хажметов Л. М. К вопросу совершенствования машин для обработки приствольных полос плодовых насаждений в террасном садоводстве // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2021. № 2(32). С. 89–94. EDN: PBNNCW
10. Колесные тракторы для работы на склонах / П. А. Амельченко, И. П. Ксенович, В. В. Гуськов, А. И. Якубович. Москва: Машиностроение, 1978. 248 с. EDN: WINJFR
11. Кудзиев К. Д., Кудзаев А. Б. Динамика колесного трактора на склонах. Владикавказ: ГППИ «РУХС», 2022. 104 с.
12. Шахов В. А., Тарасова С. В., Асманкин Е. М., Обоснование способа теоретического исследования траекториальной устойчивости мобильных энергетических средств в условиях склонного земледелия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 5. С. 81–83. EDN: RHAAAP
13. А. с. 1391519 СССР, МПК А01В 69/04. Система автоматического вождения тракторного агрегата на склонах / К. Д. Кудзиев, С. С. Калаев, М. С. Льянов. № 3963806; заявл. 11.10.1985; опубл. 30.04.1988, Бюл. №16. EDN: WTJEXD

References

1. Shekihachev Yu.A., Mishkhozhev V.H., Shekihacheva L.Z. [et al.]. Study of wheel tractor movement on slope. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2019;4(26):81–86. (In Russ.). EDN: NXIKNV
2. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A., Khazhmetov L.M. [et al.]. Improving the operational reliability of agricultural machines. *Machinery and equipment for rural area*. 2023;4(310):12–16. (In Russ.). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16. EDN: HHJDDY
3. Apazhev A.K., Shomakhov L.A., Shekikhachev Yu.A. Economic and mathematical model for optimizing the fleet of machines for gardening on terraced slopes. *Ekonomicheskie, bio-tekhniko-tehnologicheskie aspekty ustojchivogo sel'skogo razvitiya v usloviyah cifrovoj transformacii: sb. nauch. tr. po itogam VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii pamyati B.H. ZHerukova* [Economic, bio-

technical and technological aspects of sustainable rural development in the context of digital transformation: collection of scientific papers following the results of the VII International Scientific and Practical Conference in memory of B.Kh. Zherukov]. Nalchik, 2019. Pp. 6–10. (In Russ.). EDN: BVUBKF

4. Khazhmetova A.L., Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. [et al.]. Technological and technical support for improving the efficiency of intensive mountain and foothill gardening. *Machinery and equipment for rural area*. 2019;6(264):23–28. (In Russ.). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-23-28. EDN: NERVCY

5. Apazhev A.K., Egozhev A. M., Aliev N. A., Apkhudov Kh. A. A device for processing the zone of the trunk circle of an intensive garden on sloping lands. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2024;2(44):75–81. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2024-2-44-75-81. EDN: PEZRYL

6. Shomakhov L.A., Shekikhachev Yu.A., Balkarov R.A. Machines for soil care in gardens on mountain slopes. *Horticulture and viticulture*. 1999;(1):7. (In Russ.)

7. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M. Rational parameters and operating modes of the combined soil-cultivating unit. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2016;53(2):138–143. (In Russ.). EDN: WCFZTV

8. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M. Rational parameters and operating modes of the combined soil-cultivating planer. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University* 2016;53(2):146–151. (In Russ.). EDN: WCFZUP

9. Khazhmetova A.L., Kardanov R.A., Khazhmetov L.M. The issue of improving machines for processing trunk strips of fruit plantations in terrace gardening. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;2(32):89–94. (In Russ.). EDN: PBNNCW

10. Amelchenko P.A., Ksenevich I.P., Guskov V.V., Yakubovich A.I. *Kolesnye traktory dlya raboty na sklonah* [Wheeled tractors for work on slopes]. Moscow: Mashinostroenie, 1978. 248 p. (In Russ.). EDN: WINJFR

11. Kudziev K.D., Kudzaev A.B. *Dinamika kolesnogo traktora na sklonah* [Dynamics of a wheeled tractor on slopes]. Vladikavkaz: GPPI "RUHS", 2022. 104 p. (In Russ.)

12. Shakhov V.A., Tarasova S.V., Asmankin Ye.M. Substantiation of the practice of theoretical research on the trajectory stability of mobile energy facilities under the conditions of hillside farming. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2013;(5):81–83. (In Russ.). EDN: RHAAAP

13. A. s. 1391519 SSSR, Int. Cl. A01B 69/04. Sistema avtomaticheskogo vozheniya traktornogo agregata na sklonah. K.D. Kudziev, S.S. Kalaev, M.S. L'yanov; zayavitel' i patentoobladatel' Gorskiy sel'skohozyajstvennyj institut; application 11.10.1985; publ. 30.04.1988. Bull. № 16. (In Russ.). EDN: WTJEXD

---

#### Сведения об авторах

**Кудзиев Казбек Дмитриевич** – кандидат технических наук, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 9355-4280

**Кубалов Мухтарбек Агубеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 4923-6000

**Агузаров Алан Маирбекович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 2360-1535

#### Information about the authors

**Kazbek D. Kudziev** – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 9355-4280

**Mukhtarbek A. Kubalov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Gorsky State Agrarian University, SPIN- code: 4923-6000

**Alan M. Aguzarov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 2360-1535

---

**Авторский вклад.** Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

**Author's contribution.** All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

---

*Статья поступила в редакцию 09.04.2025;  
одобрена после рецензирования 29.04.2025;  
принята к публикации 07.05.2025.*

*The article was submitted 09.04.2025;  
approved after reviewing 29.04.2025;  
accepted for publication 07.05.2025.*