

Научная статья
УДК 631.372:614.8.084

ИСПЫТАНИЕ УСТРОЙСТВА ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ К ПОПЕРЕЧНОМУ ОПРОКИДЫВАНИЮ ТРАКТОРНЫХ СРЕДСТВ

Алексей Николаевич Ченин

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. При выполнении сельскохозяйственных работ на тракторе в поперечном направлении склона часто сталкиваются с проблемами обеспечения безопасности технологических операций, в частности, сохранения его устойчивости. Ранее нами был подобран оптимальный способ повышения поперечной устойчивости трактора – увеличение колесной колеи [1], а также произведены технологические и конструктивные расчеты устройства, позволяющего выполнить данную задачу [2,3]. Многие современные тракторы в своей конструкции имеют возможность регулировать ширину колесной колеи, поэтому нами в качестве экспериментального образца для модернизации подобран отечественный минитрактор, не имеющий такой опции, Уралец-180. Данный трактор может активно использоваться в личных подсобных хозяйствах, небольших фермерских хозяйствах, на тепличных комплексах и т.д. Так такой трактор используется для проведения подсобных работ в ООО «Фермерское» Почепского района Брянской области. В частности им выполняют обкашивание территории вокруг животноводческих зданий и машинно-тракторного парка. Рельеф данных территорий имеет множество склонов и отлично подходит для проведения испытаний разработанного нами устройства. Для этого по выполненным расчетам и 3D-моделям ступичных удлинителей на предприятии ООО «Скорая Экологическая Помощь» были изготовлены экспериментальные образцы. При установке их на трактор, подтвердилась правильность наших расчетов, по которым ширина колесной колеи должна составлять 1400 мм. Такой ширины достаточно для поддержания статической устойчивости трактора на склоне в 45°. Проведенный эксперимент это подтвердил. Однако трактор чаще всего в работе агрегатируется с сельхозмашиной и находится в динамике, что снижает устойчивость трактора до 22,5°. Ну а из соображений безопасности скашивание травы разрешено на склонах круче 17°. Проведение ряда опытов на местности подтвердило возможность применения данного устройства безопасности.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, поперечная устойчивость, колесная колея, ступичные удлинители, минитрактор, скашивание сена, работа на склонах.

Для цитирования: Ченин А.Н. Испытание устройства повышения устойчивости к поперечному опрокидыванию тракторных средств // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 5 (111). С. 67-73.

Original article

TESTING A DEVICE TO INCREASE THE RESISTANCE TO TRANSVERSE OVERTURNING OF TRACTOR VEHICLES

Alexey N. Chenin

Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Annotation. When performing agricultural work on a tractor in the transverse direction of the slope, problems often arise in ensuring the safety of technological operations, in particular, maintaining its stability. Earlier, we selected the optimal way to increase the transverse stability of the tractor – an increase in the wheel track, and also calculated the device that allows us to perform this task. Many modern tractors in their design have the ability to adjust the width of the wheel track, therefore, as an experimental model for modernization, we selected a domestic minitractor that does not have such an option – Uralets-180. This tractor can be actively used in private subsidiary farms, small farms, greenhouse complexes, etc. So such a tractor is used to carry out auxiliary work in LLC "Fermerskoe" of the Pochev district of the Bryansk region. In particular, they carry out mowing of territories around livestock buildings and a machine and tractor fleet. The relief of these territories has many slopes and is excellent for testing the device we have developed. For this purpose, experimental samples were manufactured based on the calculations and 3D models of hub extensions at the enterprise LLC "Skoraya Ecologicheskaya Pomoshch". When installing them on a tractor, the correctness of our calculations was confirmed, according to which the wheel track width should be 1400 mm. This width is sufficient to maintain the static stability of the tractor on a slope of 45 °. The conducted experiment confirmed this. However, the tractor is most often aggregated with an agricultural machine and is in dynamics, which reduces the stability of the tractor to 22.5 °. Well, for safety reasons, mowing grass is allowed on slopes steeper than 17 °. Conducting a number of experiments on the territory confirmed the possibility of using this safety device.

Keywords: machine and tractor unit, transverse stability, wheel track, hub extensions, minitractor, hay mowing, work on slopes.

For citation: Chenin A.N. Testing a device to increase the resistance to transverse overturning of tractor vehicles // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. No. 5 (111). Pp. 67-73.

Введение. В условиях экономических санкций и импортозамещения в нашей стране возрастают спрос на отечественные продовольственные товары. Исходя из этого, многим сельскохозяйственным производителям приходится увеличивать площадь сельхозугодий и выращивать культуры, обустраивать пастбища и сенокосы на территориях, которые ранее казались для этого непригодными – горная местность или склоны. Однако существуют значительные трудности при обработке таких земель – снижение продольной и поперечной устойчивость машин и тракторов, а также ухудшение их маневренности и управляемости [2].

Материалы и методы. Для решения проблемы потери тракторными средствами поперечной устойчивости нами предложено устройство увеличения колесной колеи. Устройство представляет собой ступичные удлинители (рисунок 1), которые позволяет расширить колею до определенных габаритов, повышая, тем самым, угол потери устойчивости. Для практического обоснования правильности нашего исследования выбран отечественный минитрактор Уралец-180, который часто применяется в работах малых фермерских хозяйств (рисунок 2).

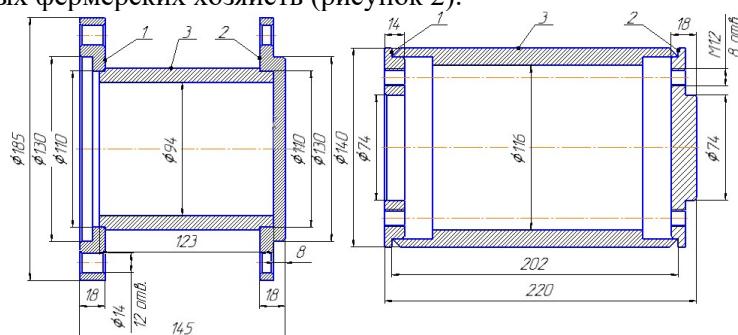


Рисунок 1 – Схема разработанных ступичных удлинителей: 1 – ступичный фланец; 2 – колесный фланец; 3 – труба-удлинитель

Технические характеристики трактора представлены на рисунке 2 и в таблице 1 [4].

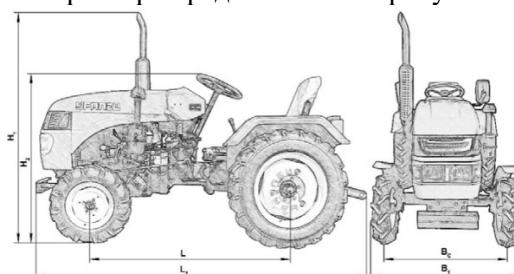


Рисунок 2 – Минитрактор Уралец-180 с обозначением размеров

Статическую устойчивость по опрокидыванию $\beta_{ст}$ ненагруженного трактора сравнительно легко рассчитать. Были произведены расчеты угла предельной поперечной устойчивости нашего минитрактора – 36° . Подобраны технологические размеры проставок для достижения нормативного угла устойчивости в 45° и расширении колесной колеи до 1,4 м [2].

Таблица 1 – Технические характеристики трактора Уралец-180

Параметр	Значение
Колея передних B_c / задних колес B_q , мм	960 / 990
Клиренс, мм	300
Мин. радиус поворота, м	3,9
Габаритные размеры:	
длина L_1 , мм	2530
ширина B_1 , мм	1200
высота H_1 , мм	1750
высота H_2 , мм	1400
высота центра тяжести, мм	650

Однако статическая устойчивость рассматривается как идеальное условие, а на практике мы сталкиваемся с понятием «динамической устойчивости», зависящей от множества факторов и не

имеющей точного значения. Установлена следующая закономерность: чем выше скорость движения трактора, тем интенсивней проявляется действие динамических факторов. Так дополнительная усадка шин при ударе о дно выемки или подбрасывание колеса при наезде на кочку увеличивают уклон трактора и, в свою очередь, снижают его боковую устойчивость, тем самым повышая риск опрокидывания трактора. Все это может привести к травмированию оператора (машиниста, тракториста) и возникновению техногенной или экологической ЧС [5,6,7].

Результаты и их обсуждение. Конструкция изготавливаемых передних и задних проставок (рисунок 1) практически одинаковая и отличается лишь размерами и способом крепления. Так проставки прикрепляются на ступицу трактора с помощью ступичного фланца 1 (передние болтом M12 в резьбовое отверстие, задние болтом и гайкой M14); на колесо трактора проставки крепятся колесным фланцем 2, который имеет посадочное место под диск; необходимой длины и прочности проставки достигают за счет трубы-удлинителя 3.

Для проведения дальнейших исследований необходимо определить динамический угол боковой устойчивости трактора. Данный параметр определяется по выражению, °:

$$\beta_{дин} = (0,4 \dots 0,6) \cdot \beta_{ст}, \quad (1)$$

где $\beta_{ст}$ - статический угол боковой устойчивости трактора, °.

Исходя из формулы 1, среднее расчетное значение угла динамической устойчивости трактора $\beta_{дин} = 22,5^\circ$.

Ситуация усугубляется при работе тракторного средства с навесным оборудованием (машинно-тракторный агрегат), которое создает дополнительную силу тяжести и понижает предел устойчивости до гораздо меньших значений (рисунок 3).

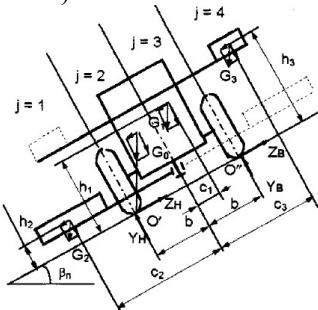


Рисунок 3 - Расчётная схема внешних сил и реакций, действующих на машинно-тракторный агрегат с перемещаемыми центрами масс нескольких составных частей

Исходя из рисунка 3, видно, что центры масс подвижных частей машинно-тракторного агрегата (МТА) при изменении своего положения в процессе выполнения технологических операций могут находиться в пространственных зонах j , разделенных плоскостями. Эти зоны строго параллельны продольной плоскости симметрии трактора. Таких зон четыре:

$j=1$ — зона у внешней стороны колес трактора, обращенных к подножию склона (нижних колес);

$j=2$ — зона между продольной плоскостью симметрии трактора и параллельной ей плоскостью симметрии нижних колес;

$j=3$ — зона между продольной плоскостью симметрии трактора и параллельной ей плоскостью симметрии верхних колес;

$j=4$ — зона у внешней стороны колес трактора, обращенных к вершине склона (верхних колес) [9].

Тогда динамическую устойчивость нагруженного МТА определим по формуле:

$$\beta_{дин}^{нагр} = 0,5 \arctg \frac{0,5BG_0 + G_1c_1(-1)^{\varepsilon_1} + G_2c_2(-1)^{\varepsilon_2}}{G_1h_1 + G_2h_2} \quad (2)$$

где G_0 - сила тяжести всего МТА в целом, Н;

G_1 - сила тяжести трактора, Н;

G_2 - сила тяжести сельскохозяйственной машины, агрегатируемой с трактором, Н;

c_1 - расстояние от продольной плоскости симметрии трактора до его центра тяжести (поперечная координата центра тяжести трактора), Н;

c_2 - расстояние от продольной плоскости симметрии трактора до центра тяжести сельскохозяйственной машины, Н;

h_1 - высота центра тяжести трактора, м;

h_2 - высота центра тяжести сельскохозяйственной машины, м;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - показатели степени, определяющие знак выражений, в состав которых они включены.

Для начала определим значения показателей степени $\varepsilon_1, \varepsilon_2$. В их качестве принимаются натуральные числа. Если они нечетные, то знак перед выражением получается отрицательный, а если четные, то знак перед выражением получается положительный. Обычно показателям степени $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ присваивают значения 1 и 0. При 1 запас устойчивости МТА максимальный, т.е. трактор находится на горизонтальном участке и на него не действует опрокидывающий момент. При 0 запас устойчивости МТА исчерпан, т.е. колеса отрываются от почвы. В нашем случае любой из показателей степени $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ принимается равным 0 в том случае, если центр тяжести трактора или сельхозмашины находится в зонах $j=3$ и $j=4$. Любой же из показателей степени $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ принимается равным 1 в случае, если центр тяжести трактора или сельхозмашины находятся в зонах $j=1$ и $j=2$.

Однако все теоретические расчеты должны быть проверены экспериментально.

Для начала проверим устойчивость нашего ненагруженного трактора в условиях статической поперечной устойчивости. Для этого совсем не обязательно проводить эксперимент непосредственно в полевых условиях. Наиболее удобно проводить такие эксперименты на горизонтальных участках, поднимая трактор подъемным устройством и устанавливая под колеса его деревянные подставки для имитации требуемого угла склона. Для облегчения выбора размеров высоты подставки или подъема колес определена номограмма (рисунок 4) взаимосвязи угла поперечного уклона трактора и высоты подъема его колес одной из сторон.

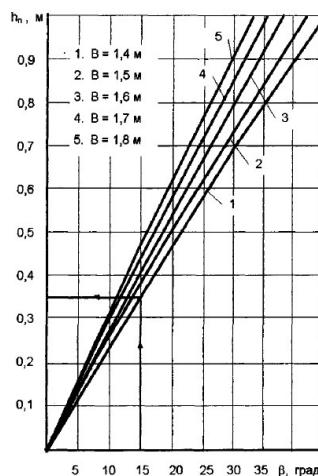


Рисунок 4 – Номограмма взаимосвязи угла поперечного уклона и высоты подъема колес одной из сторон трактора

Предельная высота подъема одной из сторон трактора $h_{\text{п}}$ определяется по формуле:

$$h_{\text{п}} = B \cdot \sin \beta_{\text{ст}}, \quad (3)$$

где B – ширина колеи трактора, мм;

$\beta_{\text{ст}}$ – угол статической предельной поперечной устойчивости, °.

Исходя из известного угла предела статической устойчивости ($\beta = 45^\circ$) и ширины колеи трактора ($B = 1400$ мм), предельная высота подъема трактора $h_{\text{п}} = 989,95$ мм. Определить высоту можно и графическим путем по схеме на рисунке 5.

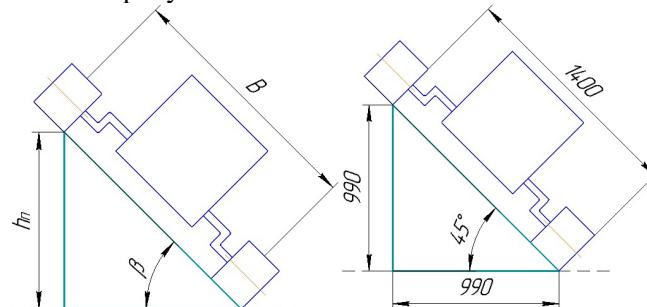


Рисунок 5 – Схема испытания поперечного опрокидывания трактора с удлинителями

Однако для подтверждения расчетов динамической устойчивости трактора и МТА в целом необходимо проводить эксперименты в полевых условиях.

Исходя из имеющихся расчетов, на машиностроительном заводе ООО «Скорая Экологическая Помощь» изготовлены ступичные удлинители, представленные на рисунке 6.



Рисунок 6 – Экспериментальные образцы ступичных удлинителей



Рисунок 7 – Установленные удлинители на одной из сторон трактора

Далее образцы были успешно установлены на минитрактор для дальнейших экспериментальных исследований (рисунок 7).

Установив удлинители, мы произвели замеры ширины колесной колеи. Как показали результаты замеров, нам удалось достичь ширины колеи на обеих осях в 1400 мм. Визуальное отображение результатов измерений представлено на рисунках 8 и 9.



Рисунок 8 – Измерение ширины колесной колеи на задней оси



Рисунок 9 - Измерение ширины колесной колеи на передней оси

После установки ступичных удлинителей на оси трактора нами был произведен подъем правого борта с целью определения предельного угла статической устойчивости трактора. С помощью гидравлических домкратов мы производили подъем обоих колес одновременно с последующей установкой под колеса деревянных подставок в промежуточных положениях. Из результатов экспериментов можно сделать вывод, что размера колеи трактора в 1400 мм достаточно для поддержания статической устойчивости при склоне в 45°.

Положительные результаты экспериментов мы получили и при передвижении ненагруженного трактора по склону в полевых условиях. При этом движении трактора осуществлялось на скорости, рекомендуемой при скашивании травы на склонах – не более 8-10 км/ч.

Однако, как сказано выше, в работе трактор чаще всего эксплуатируется нагруженным, т.е. с навесным или прицепным оборудованием. Соответственно и предельный угол динамической устойчивости МТА уже будет другим. Причем он может быть как выше, так и ниже установленного угла $\beta_{дин}$. Все зависит от вида и расположения сельхозмашины.

Для определения динамической устойчивости нагруженного МТА смоделируем реальные условия работы. В качестве исследуемой технологической операции выберем скашивание травы на сено передненавесной косилкой для минитракторов с размерами 930x810x780 (ШxДxB).

Зададимся значениями всех составляющих формулы 2. Так силу тяжести всего агрегата в целом (трактор + косилка) – 9633,6 Н (9221,5+412,1), координаты центра тяжести трактора 0,7x0,65м, координаты центра тяжести косилки 0,47x0,39м.

Подставив все значения в формулу 2, получим угол предельной динамической устойчивости нагруженного МТА $\beta_{дин}^{нагр} = 21,6^\circ$.

Ученым Сазоновым И.С. на основе уравнений движений МТА получены характеристические уравнения и условия, при выполнении которых сохраняется устойчивость движения данного МТА. Исходя из данных исследований, можно сделать вывод, что не все технологические операции при возделывании сельскохозяйственных культур допустимы на склонах, а на некоторые работы установлены предельно допустимые значения уклонов, которые представлены в таблице 2 [9].

Одной из наиболее сложных и опасных, с точки зрения опрокидывания МТА, является технологическая операция по скашиванию трав на сено, особенно, при проведении работ на склонах крутизной до 17° . Наши расчеты показали, что угол предельной динамической устойчивости нашего нагруженного МТА $\beta_{дин}^{нагр} = 21,6^\circ$. Это значение выше предельно допустимого. Таким образом, полученной шириной колеи должно быть достаточно, теоретически, для выполнения данной технологической операции.

Необходимо также отметить, что использование уборочной техники равнинного исполнения запрещено на склонах с углом уклона более 15° , что оговаривается в перечнях мер безопасности при выполнении таких работ [10].

Таблица 2 – Крутизна склонов, предельная для выполнения некоторых сельскохозяйственных операций с движением по горизонталям склона

№ п/п	Наименование с/х операций	Крутизна склона, град.
1	Вспашка с отвалом пласта по склону: - вверх - вниз	14-17 9-11
2	Предпосевная обработка почвы (трактор с боронами или культиватором)	14
3	Внесение органических и минеральных удобрений (твердых и жидкких)	17
4	Рядовой посев	9-14
5	Посадка картофеля	11
6	Междурядная обработка пропашных культур	10-11
7	Уборка трав на зеленый корм и сено: - трактором 4x2 с косилкой - то же с уширителями колес - то же со сдвоенными скатами	17 22 24
8	Подбор сена (трактор с подборщиком)	22
9	Транспортирование сена (трактор с прицепной платформой)	19
10	Уборка картофеля (копатель, подборщик)	9-14
11	Уборка свеклы и других овощей	7

Для проведения эксперимента с нагруженным МТА нами использовался минитрактор Уралец-180 с передненавесной косилкой, которая представлена на рисунке 10.



Рисунок 10 – Передненавесная роторная косилка КРФ-Т1



Рисунок 11 – Проведение динамических полевых испытаний на склоне

Динамические полевые испытания на склонах проводили на базовом тракторе и тракторе, с расширенной колеей. При проведении экспериментов (рисунок 11) нами выявлено, что МТА более устойчив при ширине колеи в 1400 мм.

Также в ходе динамических полевых испытаний на склонах от 15 до 20° выявлено значительное влияние неровностей опорной поверхности (канав, кочек) на динамическую устойчивость МТА. Визуально была замечена раскачка трактора при движении в поперечном направлении при преодолении препятствий высотой около 5 см при высокой поступательной скорости МТА в 8-10 км/ч, что может привести к его опрокидыванию. Однако при снижении скорости движения до 4-6 км/ч нам все же удалось достичь стабильно положительных результатов при работе на склонах в 17° , что соответствует нормативным значениям по технологии ведения скашивания травы на сено.

Выводы. Расчетным путем установлены углы статической и динамической устойчивости трактора, а также угол динамической устойчивости нагруженного МТА - 45° , $22,5^\circ$ и $21,6^\circ$ соответственно.

но. Для предельного угла технологической операции по скашиванию травы на сено предельным будет угол склона в 17° , что соответствует установленному значению. Исходя из конструктивно-технологических параметров, изготовлены ступичные удлинители, расширившие колесную колею трактора до необходимого размера в 1400 мм.

Нами подтверждена гипотеза о возможности использования ступичных удлинителей для повышения статической и динамической поперечной устойчивости, как ненагруженного трактора, так и в агрегатировании с передненавесной косилкой. При этом МТА смог сохранить свою устойчивость при работе на склоне в 17° со скоростью движения 4-6 км/ч.

Список источников

1. Ченин А.Н., Верещетина Ю.А. Анализ технических решений повышения поперечной устойчивости машинно-тракторного агрегата при работе на склоне // Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК: сб. материалов нац. науч.-техн. конф., Брянск, 18–19 января 2024 года. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2024. С. 204-210.
2. Ченин А.Н., Верещетина Ю.А. Расчет технологических параметров устройства повышения устойчивости к поперечному опрокидыванию тракторных средств // Современные тенденции развития аграрной науки: сб. науч. тр. II междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 07–08 декабря 2023 года. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2023. С. 142-148.
3. Ченин А.Н. Расчёт прочностных и конструкторских характеристик устройства повышения устойчивости к поперечному опрокидыванию тракторных средств // Известия Оренбургского ГАУ. 2024. № 4 (108). С. 140-146.
4. Минитрактор Уралец 16-22 л.с. 180.000 РЭ. Руководство по эксплуатации. Каталог запасных частей.
5. Теоретические исследования безопасности сельскохозяйственной техники, оснащённой гидравликой / Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович, Р.В. Шкрабак [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. 2023. Т. 16, № 2(62). С. 46-55.
6. Обеспечение безопасности механизаторов в сельскохозяйственном производстве Брянской области / Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович, Н.А. Верезубова [и др.] // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 4 (104). С. 62-67.
7. Сакович Н.Е., Адылин И.П., Верезубова Н.А. Обеспечение эффективности и безопасности сельскохозяйственного производства на основе совершенствования техники и технологий. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2025. 196 с.
8. Самуйленко С.В., Адылин И.П. Транспортные аварии как чрезвычайные ситуации // Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК: сб. материалов нац. науч.-техн. конф., Брянск, 18–19 января 2024 года. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2024. С. 227-231.
9. Обеспечение охраны труда в структурах растениеводства инженерно-техническими профилактическими мероприятиями / Е.Н. Христофоров, Р.В. Шкрабак, В.Е. Каюдин и др. // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 4 (110). С. 73-78.
10. Об утверждении правил по охране труда в сельском хозяйстве: приказ от 27 октября 2020 г. № 746н.

Информация об авторе:

А.Н. Ченин - кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the author:

A. N. Chenin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Bryansk State Agrarian University

Автор несет ответственность за свою работу, представленные данные и плагиат.

The author is responsible for his work, submitted data and plagiarism.

Статья поступила в редакцию 22.03.2025; одобрена после рецензирования 15.05.2025, принята к публикации 23.09.2025.

The article was submitted 22.03.2025; approved after reviewing 15.05.2025; accepted for publication 23.09.2025.

© Ченин А.Н.