

УДК 629.3.01

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

**К ВОПРОСУ О КИНЕМАТИКЕ
НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ПОВОРОТА
ШАРНИРНО СОЧЛЕНЕННОЙ
ПОЛНОПРИВОДНОЙ ЛЕСНОЙ МАШИНЫ**

Клубничкин Евгений Евгеньевич
Канд. техн. наук, доцент
Scopus Author ID: 57203352852
РИНЦ SPIN – код автора: 8158-0700
klubnichkin@bmstu.ru

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана,
Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул.
1-я Институтская, д. 1*

Клубничкин Владислав Евгеньевич
Канд. техн. наук, доцент
Scopus Author ID: 57203353572
РИНЦ SPIN – код автора: 6060-7794
vklubnichkin@bmstu.ru
*Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана,
Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул.
1-я Институтская, д. 1*

Васильева Карина Вениаминовна
Ст. преподаватель
РИНЦ SPIN – код автора: 4698-5016
kvasileva@bmstu.ru
*Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана,
Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул.
1-я Институтская, д. 1*

Сердюк Даниил Сергеевич
Студент
*Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана,
Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул.
1-я Институтская, д. 1*

Жданов Ринат Анварович
Студент
*Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана,
Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул.
1-я Институтская, д. 1*

В статье представлен детальный кинематический анализ неустойчивого криволинейного движения полноприводной шарнирно-сочлененной лесной машины (на примере машин семейства ПАО «КАМАЗ» 4×4) при различных типах межколесных дифференциалов. Научная новизна заключается в получении аналитических зависимостей, прогнозирующих траекторные характеристики машины на этапе входа в поворот с учетом типа дифференциала. Рассмотрены этапы входа в поворот, установившегося движения и выхода из него. Определены

UDC 629.3.01

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

**ON THE ISSUE OF THE KINEMATICS OF
UNSTEADY ROTATION OF AN
ARTICULATED FOUR-WHEEL DRIVE
FORESTRY MACHINE**

Klubnichkin Evgeny Evgenievich
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
Scopus Author ID: 57203352852
RSCI SPIN code: 8158-0700
klubnichkin@bmstu.ru

*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical
University, Russia, 141005, Moscow region,
Mytishchi, 1ya Institutskaya, 1*

Klubnichkin Vladislav Evgenievich
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
Scopus Author ID: 57203353572
RSCI SPIN code: 6060-7794
vklubnichkin@bmstu.ru
*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical
University, Russia, 141005, Moscow region,
Mytishchi, 1ya Institutskaya, 1*

Vasilyeva Karina Veniaminovna
Senior lecturer
RSCI SPIN code: 4698-5016
kvasileva@bmstu.ru
*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical
University, Russia, 141005, Moscow region,
Mytishchi, 1ya Institutskaya, 1*

Serdyuk Daniil Sergeevich
Student
*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical
University, Russia, 141005, Moscow region,
Mytishchi, 1ya Institutskaya, 1*

Zhdanov Rinat Anvarovich
Student
*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical
University, Russia, 141005, Moscow region,
Mytishchi, 1ya Institutskaya, 1*

The article presents a detailed kinematic analysis of the unsteady curvilinear motion of an all-wheel drive articulated timber vehicle (using the example of the KAMAZ 4x4 family of vehicles) with various types of inter-wheel differentials. The stages of entering a turn, steady motion and exiting it are considered. The key maneuverability parameters are determined: turning radius, angular velocity, torque distribution, and wheel slip angles. A comparative computer simulation of transmissions with classical differentials and high-friction differentials has been carried out. The results show significant differences.

ключевые параметры маневренности: радиус поворота, угловая скорость, распределение крутящего момента и углы скольжения колес. Проведено сравнительное компьютерное моделирование трансмиссий с классическими дифференциалами и дифференциалами повышенного трения. Результаты показывают существенные различия. Полученные зависимости имеют критическое значение для проектирования активных систем управления, алгоритмов стабилизации и повышения устойчивости лесных машин в сложных условиях эксплуатации. Полученные аналитические зависимости позволяют с достаточной для инженерных расчетов точностью прогнозировать траекторные характеристики машины на этапе входа в поворот, что необходимо для оптимизации систем гидравлического управления складыванием рамы и оценки показателей маневренности. Игнорирование специфики распределения скоростей в трансмиссии с блокируемыми дифференциалами при кинематическом моделировании приводит к завышенным оценкам радиуса поворота. Данный фактор должен учитываться при проектировании систем автоматического управления движением и динамической стабилизации тяжелых шарнирно сочлененных транспортных средств

Ключевые слова: ШАРНИРНО СОЧЛЕНЕННАЯ РАМА, КИНЕМАТИКА ПОВОРОТА, НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ, ПОЛНОПРИВОДНАЯ МАШИНА, МЕЖКОЛЕСНЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛ, ДИФФЕРЕНЦИАЛ ПОВЫШЕННОГО ТРЕНИЯ, МАНЕВРЕННОСТЬ

The obtained dependences are of critical importance for the design of active control systems, algorithms for stabilization and increasing the stability of forest machines in difficult operating conditions. The obtained analytical dependences allow predicting the trajectory characteristics of the machine at the turn entry stage with sufficient accuracy for engineering calculations, which is necessary to optimize the hydraulic control systems for folding the frame and evaluating maneuverability indicators. Ignoring the specifics of the speed distribution in a transmission with lockable differentials in kinematic modeling leads to overestimated estimates of the turning radius. This factor should be taken into account when designing automatic motion control and dynamic stabilization systems for heavy articulated vehicles

Keywords: ARTICULATED FRAME, TURNING KINEMATICS, UNSTEADY MOVEMENT, FOUR-WHEEL DRIVE MACHINE, INTER-WHEEL DIFFERENTIAL, FRICTION DIFFERENTIAL, MANEUVERABILITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-220-018>

Введение

Криволинейное движение полноприводной машины с шарнирно-сочлененной рамой, характерной для машин семейства ПАО «КАМАЗ» 4x4 и аналогичных тягачей высокой проходимости, представляет собой сложный динамический процесс. В общем случае данный процесс можно декомпозировать на три последовательные фазы: фаза входа в поворот, характеризующаяся монотонным уменьшением радиуса траектории от бесконечно большого значения $R = \infty$ до заданного конечного R ; фаза установившегося движения по дуге постоянного радиуса; фаза выхода из поворота с увеличением радиуса до $R = \infty$. При сохранении постоянной

<http://ej.kubagro.ru/2026/06/pdf/18.pdf>

частоты вращения коленчатого вала двигателя, первая и третья фазы представляют собой «неустановившийся поворот», кинематика которого в значительной степени определяется типом применяемых дифференциалов и скоростными характеристиками гидравлической системы складывания рамы.

Временной интервал неустановившегося движения при изменении угла сочленения рамы лимитируется быстродействием гидропривода и может быть выражен зависимостью:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{a}{\omega_T}, \quad (1)$$

где:

V - рабочий объем гидроцилиндра механизма складывания,

Q - объемный расход рабочей жидкости в гидросистеме,

a - текущий угол складывания полурам,

ω_T - средняя угловая скорость изменения угла a , определяемая параметрами гидросистемы.

Ключевым для кинематического анализа является определение характерной точки машины, скорость которой в процессе маневра остается неизменной и равной скорости прямолинейного движения. Для транспортного средства с традиционными коническими дифференциалами в мостах такой точкой, как правило, является геометрический центр ведущей оси. Однако для машин, оснащенных дифференциалами повышенного трения или механизмами блокировки, картина усложняется. В частности, для конструкции с дифференциалами свободного хода в качестве характерной точки при неустановившемся движении корректнее принимать точку контакта с опорной поверхностью «внутреннего (забегающего) ведущего колеса», а не проекцию шарнира сочленения, как это иногда упрощенно предполагается [8 - 16]. Следовательно, ранее полученные кинематические соотношения [1 - 7] справедливы для

трансмиссии с обычными дифференциалами и требуют корректировки для современных полноприводных машин с улучшенными тяговыми свойствами.

Материалы и методы

Рассмотрим процесс входа в поворот шарнирно сочлененной полноприводной машины (ПАО «КАМАЗ» 4х4). Примем допущение об отсутствии поперечного увода и продольного буксования колес, что справедливо для условий достаточного сцепления. В Таблице 1 представлены параметры шарнирно-сочлененных машин. Для упрощения вывода математических моделей предположим, что шарнир сочленения расположен в середине продольной базы L . На Рис. 1 представлена расчетная схема в начальный момент маневра.

Таблица 1.

Параметры машин

	Параметр	Машина 1	Машина 2
1	Модель	КАМАЗ обычный дифференциал	КАМАЗ блокируемый дифференциал
2	База L , м	3.00	3.00
3	Колея B , м	2.30	2.30
4	Скорость v , м/с	3.00	3.00
5	ω _склад., рад/с	0.15	0.15
6	α _тах, град	45.0	45.0
7	Дифференциал	стандартный	блокируемый

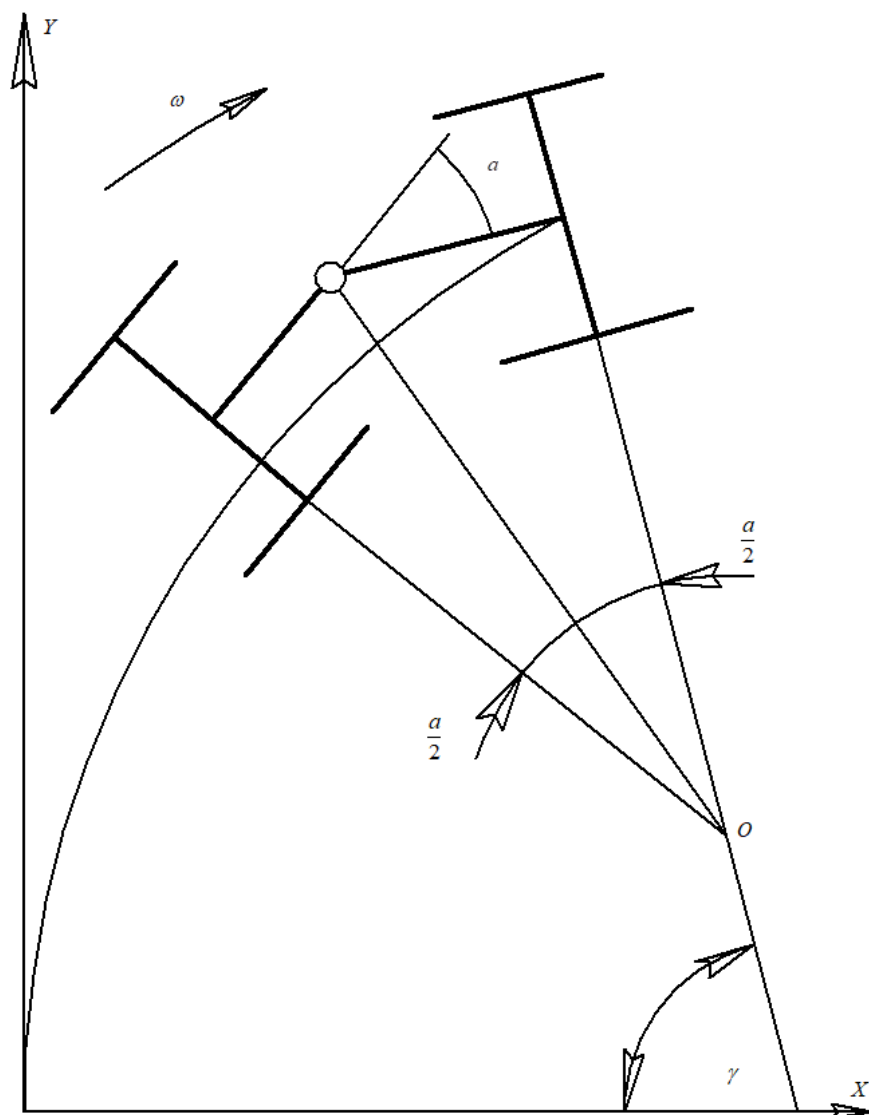


Рисунок 1 – Расчетная кинематическая схема шарнирно сочлененной машины на входе в поворот: O – мгновенный центр поворота, γ - угол поворота машины, a - угол складывания полурам.

При принятых допущениях мгновенный центр поворота O находится на пересечении продолжений осей переднего и заднего мостов. Мгновенный радиус поворота средин обоих мостов идентичен и определяется выражением:

$$R = \frac{L}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{a}{2}\right)}, \quad (2)$$

Угловая скорость поворота всей машины ω как твердого тела (относительно точки O) находится как отношение линейной скорости характерной точки к ее расстоянию до мгновенного центра:

а) Для конфигурации с стандартными дифференциалами, где характерная точка - середина ведущего моста:

$$\omega_1 = \frac{2v}{L} \operatorname{tg} \frac{a}{2} = \frac{d\gamma_1}{dt}, \quad (3)$$

б) Для конфигурации с дифференциалами повышенного трения или свободного хода, где внутреннее ведущее колесо стремится поддерживать скорость, характерную для прямолинейного движения. В этом случае характерная точка смещена к внутреннему колесу. Если B - колея машины, то:

$$\omega_2 = \frac{2v}{L - B \operatorname{tg} \frac{a}{2}} \cdot \operatorname{tg} \frac{a}{2} = \frac{d\gamma_2}{dt}, \quad (4)$$

где:

v - поступательная скорость характерной точки,

γ_1, γ_2 - угол курса (поворота) машины для первой и второй конфигурации соответственно.

Учитывая связь $dt = \frac{da}{\omega}$, из (3) и (4) получаем дифференциалы угла курса:

$$d\gamma_1 = \frac{2v \operatorname{tg} \frac{a}{2}}{\omega L} da;$$

$$d\gamma_2 = \frac{2v \operatorname{tg} \frac{a}{2}}{\omega \left(L - B \operatorname{tg} \frac{a}{2} \right)} da;$$

Интегрирование данных выражений в пределах от 0 до a дает:

$$\gamma_1 = -\frac{4v}{\omega L} \ln \cos \frac{a}{2}, \quad (5)$$

$$\gamma_2 = \frac{4v}{\omega(L^2 + B^2)} \left(\ln \frac{L}{L \cos \frac{a}{2} - B \sin \frac{a}{2}} - \frac{Ba}{2L} \right). \quad (6)$$

Результаты и обсуждение

На Рис. 2 - 11 представлены рассчитанные по формулам (3)-(6) зависимости угловой скорости поворота ω и накопленного угла курса ω от угла складывания рамы a для двух рассматриваемых типов трансмиссии.

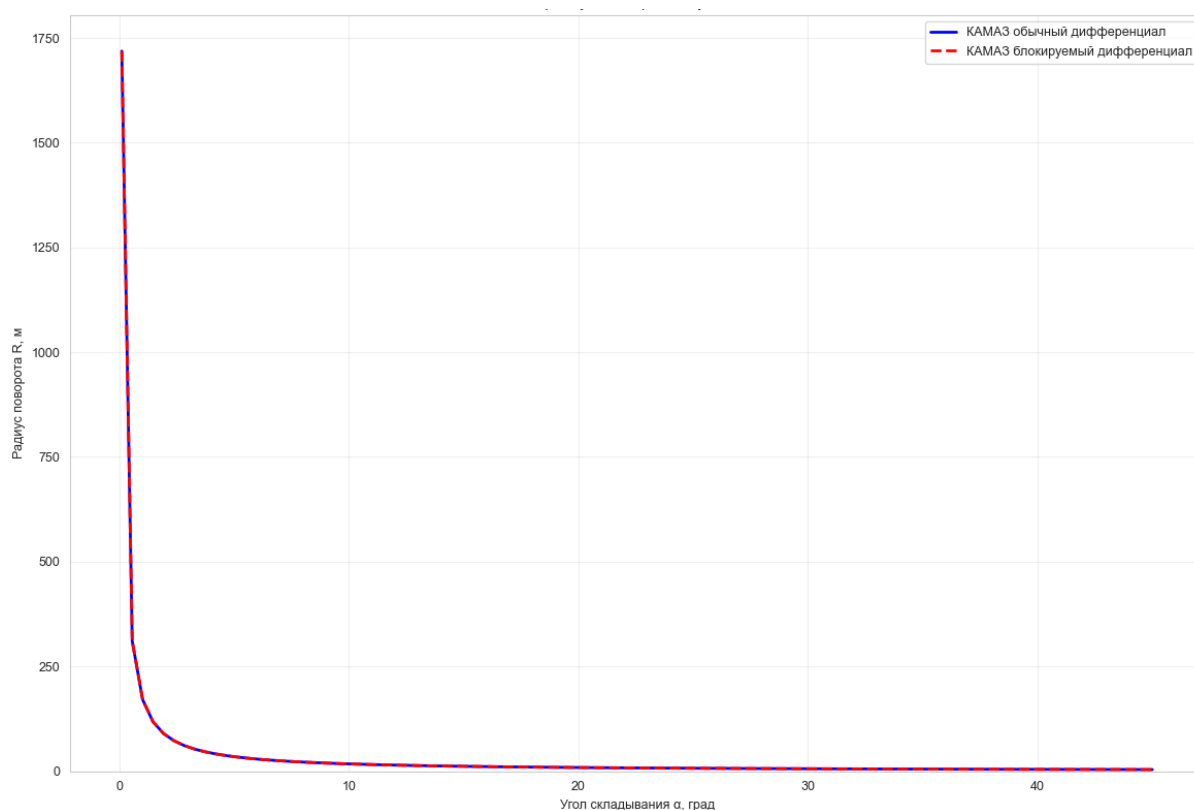


Рисунок 2 – Зависимость радиуса поворота от угла складывания

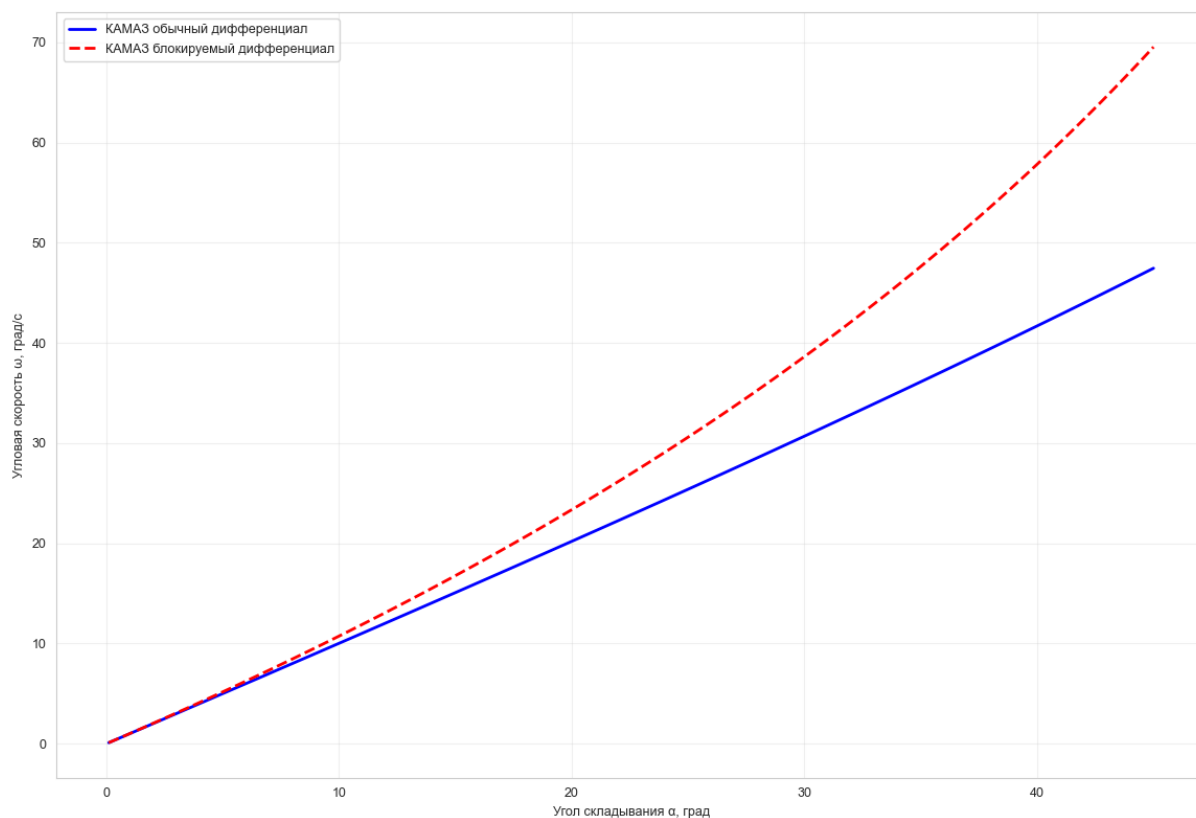


Рисунок 3 – Зависимость угловой скорости от угла складывания

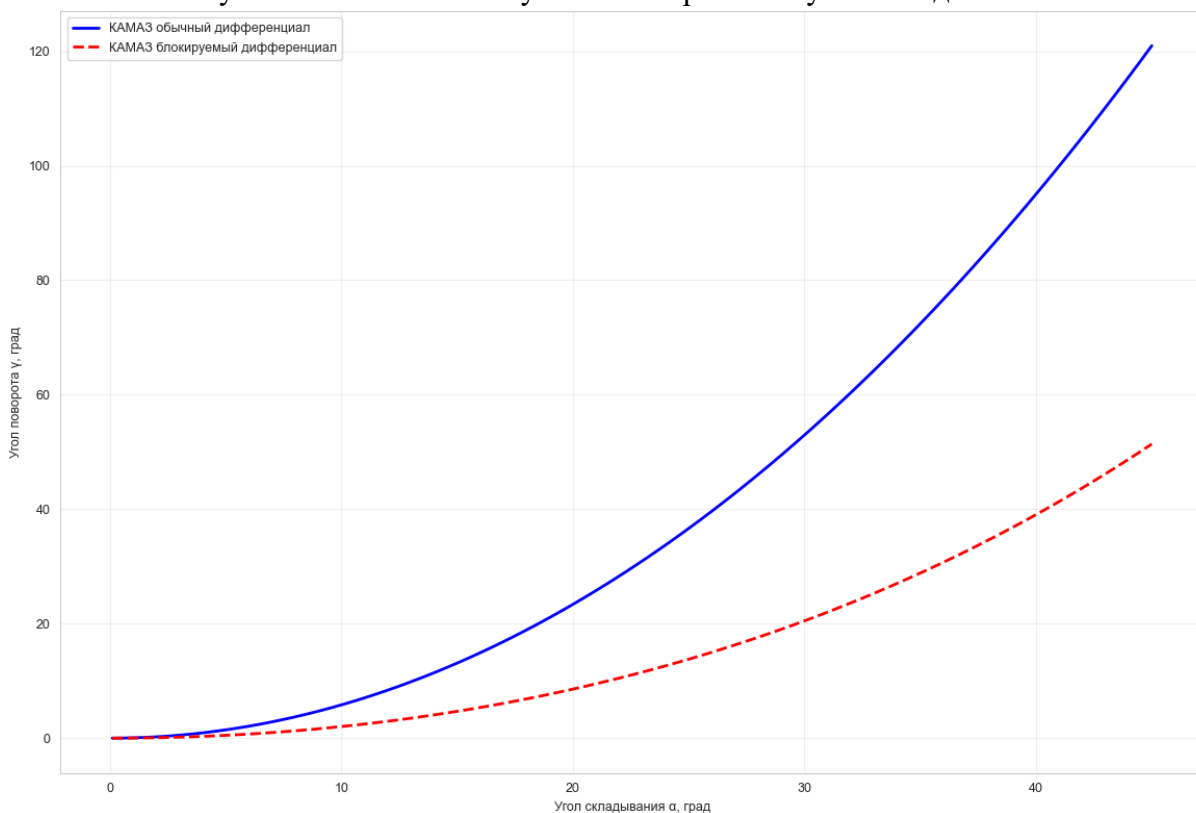


Рисунок 4 – Зависимость угла поворота от угла складывания

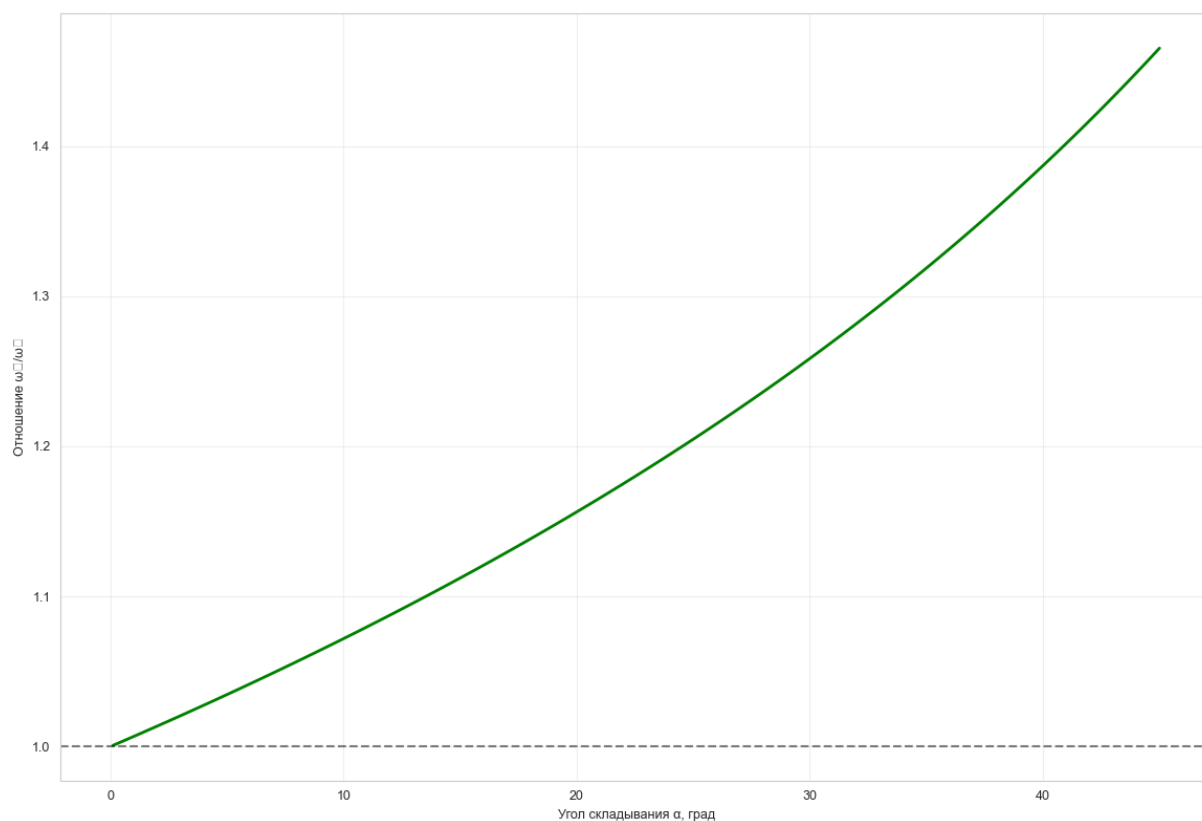


Рисунок 5 – Относительная угловая скорость

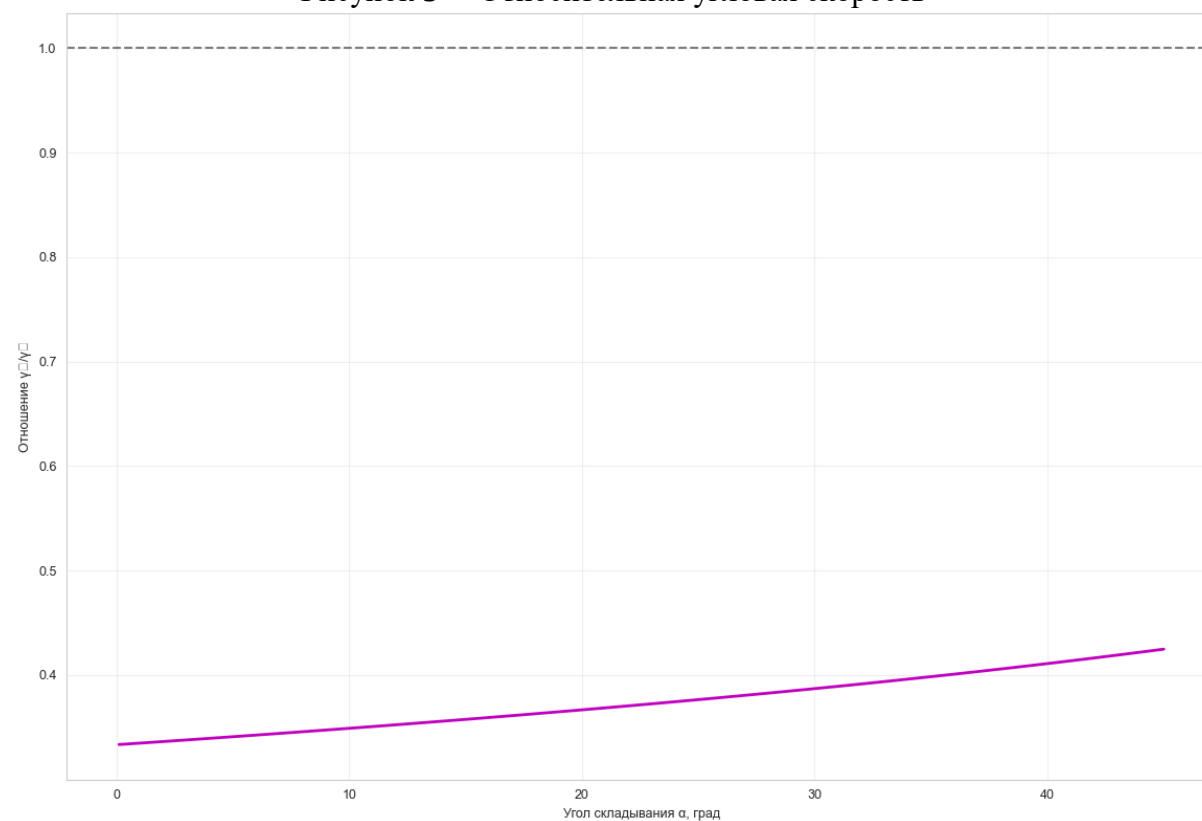


Рисунок 6 – Относительный угол поворота

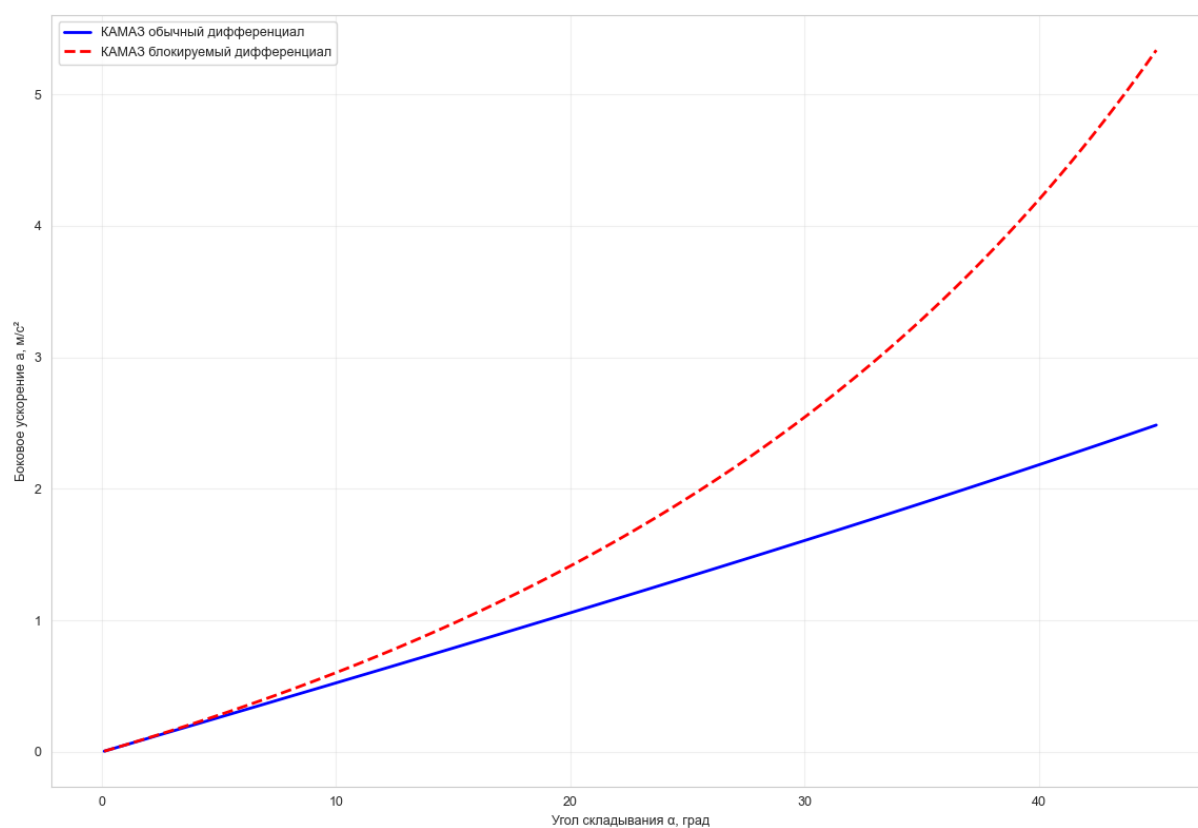


Рисунок 7 – Боковое ускорение при повороте

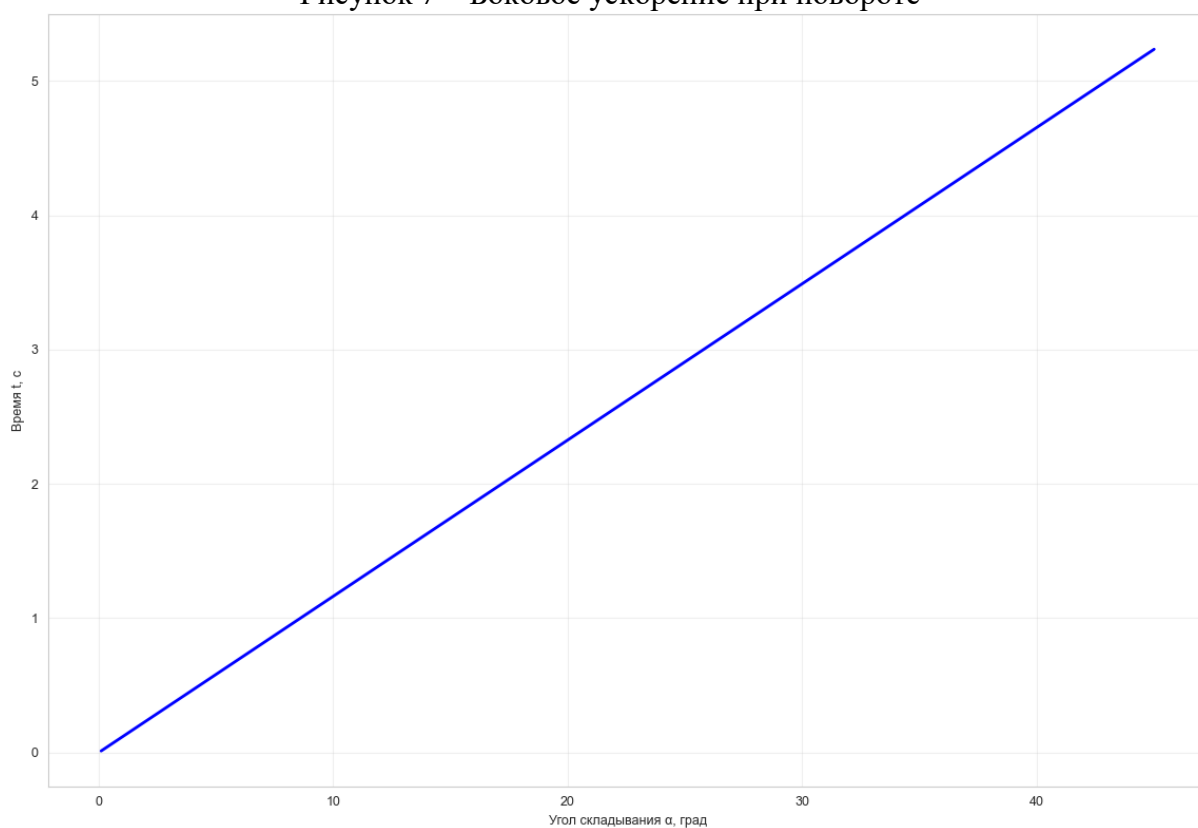


Рисунок 8 – Время выполнения поворота

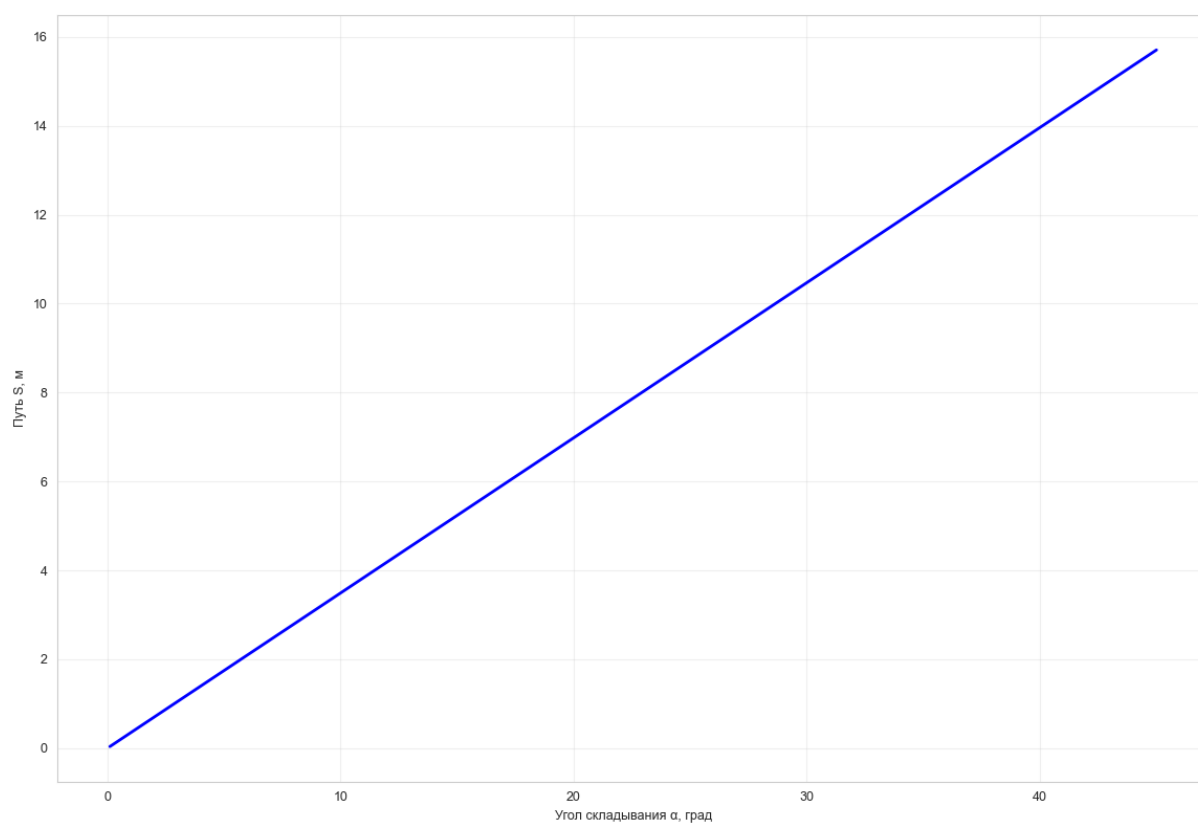


Рисунок 9 – Пройденный путь за время поворота

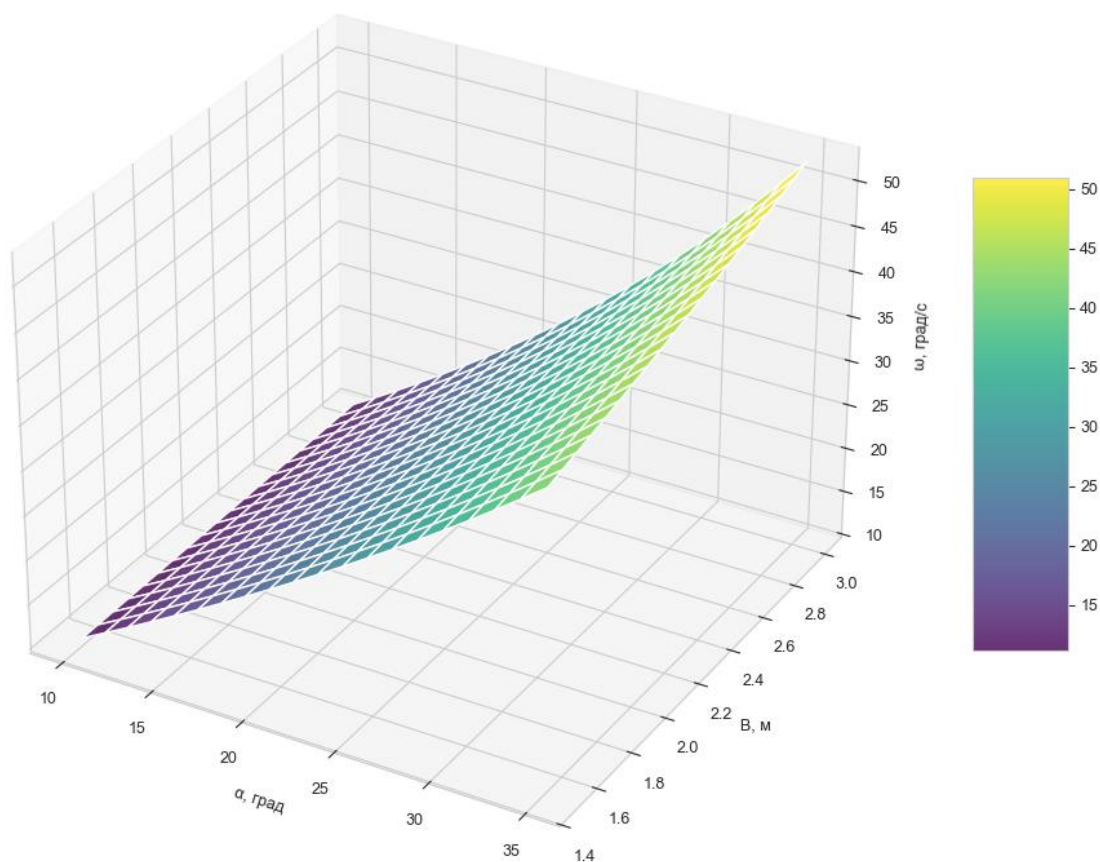


Рисунок 10 – 3D гистограмма: $\omega = f(\alpha, B)$ для блокируемого дифференциала

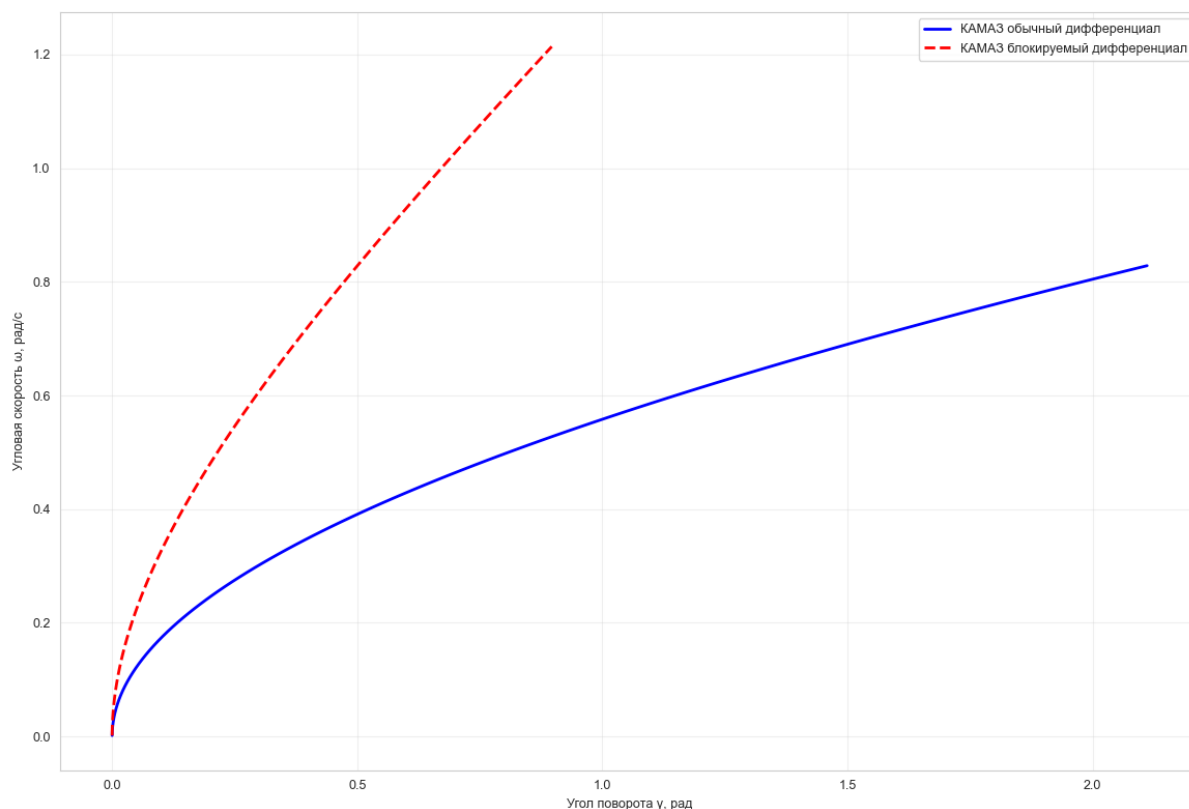


Рисунок 11 – Фазовая плоскость (ω - угловая скорость поворота машины, рад/с;
 γ - накопленный угол курса, рад)

В Таблице 2 представлены результаты расчёта кинематики поворота для обеих машин. Как видно из таблицы 2, при $\gamma = 45^\circ$ угловая скорость машины с блокируемым дифференциалом достигает 69,55 град/с, что существенно выше, чем у машины со стандартным дифференциалом (47,47 град/с).

Таблица 2.

Расчёт кинематики поворота машин

	a , град	R_1 , м	R_2 , м	ω_1 , град/с	ω_2 , град/с	γ_1 , град/с	γ_2 , град/с
1	0.0	1718.87	1718.87	0.10	0.10	0.00	0.00
2	10.0	17.01	17.01	10.10	10.84	5.92	2.07
3	20.0	8.48	8.48	20.26	23.44	23.52	8.63
4	30.0	5.59	5.59	30.74	38.70	53.09	20.55
5	45.0	3.62	3.62	47.47	69.55	120.97	51.38

Данные Таблицы 3 свидетельствуют о том, что при одинаковом радиусе поворота боковое ускорение у машины с блокируемым дифференциалом (5,34 м/с²) более чем вдвое выше, чем у машины со стандартным дифференциалом (2,49 м/с²), что необходимо учитывать при оценке устойчивости.

Таблица 3.

Сравнительные характеристики машин

Характеристика	Машина 1	Машина 2
1 Радиус поворота R, м	3.62	3.62
2 Угловая скорость ω , град/с	47.47	69.55
3 Угол поворота γ , град	120.97	51.38
4 Боковое ускорение a , м/с ²	2.49	5.34
5 Время поворота t , с	5.24	5.24
6 Пройденный путь S, м	15.71	15.71
7 Эффективность поворота (γ/t), град/с	23.10	9.81
8 Маневренность ($1/R$), 1/м	0.2761	0.2761

Таблицы 4 и 5 иллюстрируют рациональные параметры времени и машин соответственно. В Таблице 5 максимальное отношение ω_2/ω_1 достигает 1,465 при $\gamma = 45^\circ$, что указывает на пик маневренности для блокируемого дифференциала.

Таблица 4.

Рациональные параметры времени

a , град	Время t , с	Путь S, м	Средняя ω , град/с	Средняя v , м/с
1 0.0	0.01	0.03	0.05	3.00
2 10.0	1.17	3.52	5.05	3.00
3 20.0	2.33	7.00	10.08	3.00
4 30.0	3.49	10.48	15.19	3.00
5 45.0	5.24	15.71	23.10	3.00

Таблица 5.

Рациональные параметры машин

Показатель	Значение	a , град	Примечание
1 Максимальное отношение ω_2/ω_1	1.465	45.0	Пик маневренности
2 Максимальное отношение γ_2/γ_1	0.425	45.0	Макс, эффективность поворота
3 Минимальный радиус у машины 2	3.62 м	45.0	Наименьший возможный радиус
4 Максимальное ускорение машины 1	2.485 м/с ²	45.0	Предел устойчивости
5 Максимальное ускорение машины 2	5.336 м/с ²	45.0	Предел устойчивости

В таблицах 2 - 5 представлены результаты моделирования машин.

Анализ зависимостей (2), (3), (5), (6) и графиков (Рис. 2 - 11) позволяет сделать следующие выводы:

1. Машина с дифференциалами повышенного трения (или свободного хода) входит в поворот более интенсивно. При малых углах

складывания $\alpha < 10 - 12^\circ$ разница в кинематических параметрах незначительна.

2. С ростом α разница становится существенной. Угловая скорость ω_2 и угол поворота γ_2 для данной конфигурации превышают аналогичные показатели ω_1 и γ_1 для варианта со стандартными дифференциалами.

3. Для иллюстрации, при максимальном рабочем угле складывания рамы, характерном для тяжелой техники $\alpha = 45^\circ$, соотношения могут достигать: $\frac{\omega_2}{\omega_1} = 1,25$, $\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = 1,16$.

Это означает, что машина с улучшенными дифференциалами за одно и то же время складывания рамы успеет повернуться на угол примерно на 18% больший.

Выводы

1. Кинематика неустановившегося поворота шарнирно сочлененной полноприводной машины критически зависит от типа применяемых в мостах дифференциалов. Применение дифференциалов повышенного трения или свободного хода, типичное для машин повышенной проходимости типа ПАО «КАМАЗ» 4x4, приводит к снижению расчетного радиуса поворота и увеличению угловой скорости по сравнению с трансмиссией на основе обычных дифференциалов.

2. Полученные аналитические зависимости (2), (5), (6) позволяют с достаточной для инженерных расчетов точностью прогнозировать траекторные характеристики машины на этапе входа в поворот, что необходимо для оптимизации систем гидравлического управления складыванием рамы и оценки показателей маневренности.

3. Игнорирование специфики распределения скоростей в трансмиссии с блокируемыми дифференциалами при кинематическом моделировании приводит к завышенным оценкам радиуса поворота. Данный фактор должен учитываться при проектировании систем

автоматического управления движением и динамической стабилизации тяжелых шарнирно сочлененных транспортных средств.

Библиографический список

1. Клубничкин, В. Е. Краткий анализ тенденций развития лесозаготовительных машин / В. Е. Клубничкин, Е. Е. Клубничкин, А. Б. Карташов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2020. – № 3(130). – С. 93-102. – DOI 10.46960/1816-210X_2020_3_93. – EDN KFKXWX.
2. Klubnichkin, E. E. Theoretical research of soil packing by timber harvester running gear / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin, G. O. Kotiev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Nizhni Novgorod, 18–19 апреля 2018 года. Vol. 386. – Nizhni Novgorod: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012025. – DOI 10.1088/1757-899X/386/1/012025. – EDN VBGRMW.
3. Изменение длины опорно-активных участков движителя гусеничной лесозаготовительной машины с учетом режимов нагружения / Е. Е. Клубничкин, В. Е. Клубничкин, Ю. В. Башкирцев, В. М. Крылов // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2013. – № 2. – С. 119-120. – EDN PXQDRZ.
4. Study of uneven surfaces distribution on forestry roads / V. S. Makarov, A. I. Markovkina, A. V. Papunin [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Nizhny Novgorod, 28 августа 2018 года. Vol. 1177. – Nizhny Novgorod: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012041. – DOI 10.1088/1742-6596/1177/1/012041. – EDN TMYIQO.
5. Клубничкин, Е. Е. Общие положения исследования устойчивости гусеничной лесозаготовительной машины / Е. Е. Клубничкин, В. Е. Клубничкин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 9-2(20-2). – С. 167-170. – DOI 10.12737/16459. – EDN VDQDLF.
6. Разработка узла сочленения лесной погрузочно-транспортной машины / В. Е. Клубничкин, Е. Е. Клубничкин, А. Ю. Горбунов, Д. Ю. Дручинин // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10, № 4(40). – С. 217-226. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/18. – EDN EHRTNO.
7. Клубничкин, Е. Е. Исследование факторов, определяющих выбор типа и грузоподъемности лесозаготовительных погрузочно-транспортных машин / Е. Е. Клубничкин, В. Е. Клубничкин, В. Н. Наумов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2025. – № 1(148). – С. 87-103. – DOI 10.46960/1816-210X_2025_1_87. – EDN RNHUEG.
8. Клубничкин, Е. Е. Метод повышения энергоэффективности погрузочно-транспортных машин для сортиментной заготовки древесины / Е. Е. Клубничкин // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2025. – Т. 29, № 1. – С. 112-125. – DOI 10.18698/2542-1468-2025-1-112-125. – EDN ZFVQJA.
9. Клубничкин, Е. Е. Выбор критерия оценки влияния типажа и грузоподъемности погрузочно-транспортных машин на эффективность трелевочного процесса / Е. Е. Клубничкин, В. Е. Клубничкин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2024. – № 3(146). – С. 82-96. – EDN EGJNSD.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025686678 Российская Федерация. Прикладная компьютерная программа моделирования динамики качения колеса DEM : заявл. 26.09.2025 : опубл. 03.10.2025 / Е. Е. Клубничкин. – EDN QNDFOO.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025688400 Российская Федерация. Определение конструктивных параметров и эксплуатационных показателей погрузочно-транспортных машин для сортиментной

заготовки древесины : заявл. 05.10.2025 : опубл. 20.10.2025 / Е. Е. Клубничкин. – EDN IOSYHO.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025687712 Российская Федерация. Прикладная компьютерная программа определение типажа лесных погрузочно-транспортных машин применяемых для сортиментной технологии заготовки древесины : заявл. 30.09.2025 : опубл. 15.10.2025 / Е. Е. Клубничкин. – EDN WSNFVY.

13. Оценочный показатель проходимости лесозаготовительных машин / Е. Е. Клубничкин, В. Е. Клубничкин, В. С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2016. – № 4(115). – С. 176-183. – EDN XWRMDR.

14. Клубничкин, Е. Е. Применение численного метода при исследовании ходовых систем многоопорных колёсных лесотранспортных машин / Е. Е. Клубничкин, В. Е. Клубничкин // Инженерный вестник. – 2016. – № 12. – С. 3. – EDN XICZAB.

15. Многооперационные лесные машины / И. В. Воскобойников, В. А. Кондратюк, В. М. Крылов [и др.]. – Москва : Московский государственный университет леса, 2013. – 430 с. – EDN XOEUKT.

16. Многооперационные лесные машины / И. В. Воскобойников, В. А. Кондратюк, В. М. Крылов [и др.]. Том 2. – Москва : Московский государственный университет леса, 2013. – 496 с. – EDN XOPXBZ.

References

1. Klubnichkin, V. E. Kratkij analiz tendencij razvitija lesozagotovitel'nyh mashin / V. E. Klubnichkin, E. E. Klubnichkin, A. B. Kartashov // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. – 2020. – № 3(130). – S. 93-102. – DOI 10.46960/1816-210X_2020_3_93. – EDN KFKXWX.

2. Klubnichkin, E. E. Theoretical research of soil packing by timber harvester running gear / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin, G. O. Kotiev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Nizhni Novgorod, 18–19 aprilja 2018 goda. Vol. 386. – Nizhni Novgorod: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012025. – DOI 10.1088/1757-899X/386/1/012025. – EDN VBGRMW.

3. Izmenenie dliny oporno-aktivnyh uchastkov dvizhitelja gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny s uchetom rezhimov nagruzenija / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin, Ju. V. Bashkircev, V. M. Krylov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoj vestnik. – 2013. – № 2. – S. 119-120. – EDN PXQDRZ.

4. Study of uneven surfaces distribution on forestry roads / V. S. Makarov, A. I. Markovkina, A. V. Papunin [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Nizhny Novgorod, 28 avgusta 2018 goda. Vol. 1177. – Nizhny Novgorod: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012041. – DOI 10.1088/1742-6596/1177/1/012041. – EDN TMYIQO.

5. Klubnichkin, E. E. Obshhie polozhenija issledovanija ustojchivosti gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. – 2015. – T. 3, № 9-2(20-2). – S. 167-170. – DOI 10.12737/16459. – EDN VDQDLF.

6. Razrabotka uzla sochlenenija lesnoj pogruzochno-transportnoj mashiny / V. E. Klubnichkin, E. E. Klubnichkin, A. Ju. Gorbunov, D. Ju. Druchinin // Lesotekhnicheskij zhurnal. – 2020. – T. 10, № 4(40). – S. 217-226. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/18. – EDN EHRTNO.

7. Klubnichkin, E. E. Issledovanie faktorov, opredelajushhih vybor tipa i gruzopod'emnosti lesozagotovitel'nyh pogruzochno-transportnyh mashin / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin, V. N. Naumov // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. – 2025. – № 1(148). – S. 87-103. – DOI 10.46960/1816-210X_2025_1_87. – EDN RNHUEG.

8. Klubnichkin, E. E. Metod povyshenija jenergojeffektivnosti pogruzochno-transportnyh mashin dlja sortimentnoj zagotovki drevesiny / E. E. Klubnichkin // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin. – 2025. – T. 29, № 1. – S. 112-125. – DOI 10.18698/2542-1468-2025-1-112-125. – EDN ZFVQJA.

9. Klubnichkin, E. E. Vybor kriterija ocenki vlijanija tipazha i gruzopod#emnosti pogruzochno-transportnyh mashin na jeffektivnost' trelevochnogo processa / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. – 2024. – № 3(146). – S. 82-96. – EDN EGJNSD.

10. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2025686678 Rossijskaja Federacija. Prikladnaja komp'juternaja programma modelirovanija dinamiki kachenija kolesa DEM : zajavl. 26.09.2025 : opubl. 03.10.2025 / E. E. Klubnichkin. – EDN QNDFOO.

11. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2025688400 Rossijskaja Federacija. Opredelenie konstruktivnyh parametrov i jekspluacionnyh pokazatelej pogruzochno-transportnyh mashin dlja sortimentnoj zagotovki drevesiny : zajavl. 05.10.2025 : opubl. 20.10.2025 / E. E. Klubnichkin. – EDN IOSYHO.

12. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2025687712 Rossijskaja Federacija. Prikladnaja komp'juternaja programma opredelenie tipazha lesnyh pogruzochno-transportnyh mashin primenjaemyh dlja sortimentnoj tehnologii zagotovki drevesiny : zajavl. 30.09.2025 : opubl. 15.10.2025 / E. E. Klubnichkin. – EDN WSNFVY.

13. Ocenочnyj pokazatel' prohodimosti lesozagotovitel'nyh mashin / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin, V. S. Makarov [i dr.] // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. – 2016. – № 4(115). – S. 176-183. – EDN XWRMDR.

14. Klubnichkin, E. E. Primenenie chislennogo metoda pri issledovanii hodovyh sistem mnogoopornyh koljosnyh lesotransportnyh mashin / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin // Inzhenernyj vestnik. – 2016. – № 12. – S. 3. – EDN XICZAB.

15. Mnogooperacionnye lesnye mashiny / I. V. Voskobochnikov, V. A. Kondratjuk, V. M. Krylov [i dr.]. – Moskva : Moskovskij gosudarstvennyj universitet lesa, 2013. – 430 s. – EDN XOEUKT.

16. Mnogooperacionnye lesnye mashiny / I. V. Voskobochnikov, V. A. Kondratjuk, V. M. Krylov [i dr.]. Tom 2. – Moskva : Moskovskij gosudarstvennyj universitet lesa, 2013. – 496 s. – EDN XOPXBZ.