

Научная статья
Original article
УДК 62-515



**ОПЫТ РАЗРАБОТКИ РУЛЕВОЙ СИСТЕМЫ ГОНОЧНОГО БОЛИДА
КЛАССА FORMULA STUDENT**

**EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF THE STEERING SYSTEM OF
A FORMULA STUDENT RACING CAR**

Власов Владимир Сергеевич, студент, 1 курс, направление «Машиностроение», Тольяттинский государственный университет, Россия, г. Тольятти

Чижаткина Екатерина Дмитриевна, Преподаватель кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей», Тольяттинский государственный университет, Россия, г. Тольятти

Vladimir Vlasov, 1st year master student, Institute of Mechanical Engineering, Togliatti State University

Ekaterina Chizhatkina, faculty advisor, teacher, Institute of Mechanical Engineering, Togliatti State University,

Аннотация

В данной статье рассматриваются показатели управляемости и маневренности гоночных болидов класса Formula Student. Рассмотрены основные факторы, влияющие на поведение автомобиля во время движения. Определены основные требования к рулевой системе на этапе проектирования и конечной сборки гоночного автомобиля. Показан метод выбора основной

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

геометрии и кинематики рулевой системы гоночного болида. Представлена схема прохождения стандартной трассы соревнований Formula Student, где отображены идеальные углы поворота управляемых колес при 100% угле Аккермана. Показан отчет кинематического расчета подвески гоночного болида с необходимым углом Аккермана с учетом углов увода. Даны основные рекомендации по проектированию и проверке качества сборки рулевой системы гоночного болида. Кроме того, представлены формулы для расчета момента сопротивления вращения управляемых колес автомобиля, а также для расчета максимальной силы, возникающей на рулевой рейке.

Summary

This article discusses the indicators of handling and maneuverability of racing cars of the Formula Student class. The main factors influencing the behavior of the car while driving are considered. The basic requirements for the steering system at the stage of design and final assembly of a racing car are determined. A method for selecting the basic geometry and kinematics of the steering system of a racing car is shown. A diagram of the passage of a standard Formula Student competition course is presented, which displays the ideal angles of rotation of the steered wheels at 100% Ackermann angle. The report of the kinematic calculation of the suspension of a racing car with the required Ackermann angle, taking into account the slip angles, is shown. The main recommendations for the design and quality control of the assembly of the steering system of a racing car are given. In addition, formulas are presented for calculating the moment of resistance to rotation of the steered wheels of a car, as well as for calculating the maximum force that occurs on the steering rack.

Ключевые слова: гоночный болид, Formula Student, рулевая система, управляемость, угол Аккермана

Keywords: racing car, Formula Student, steering system, handling, Ackermann angle

Одной из лучших инженерных школ для студентов является проект Formula Student, цель которого – выпуск из высших учебных заведений

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

высококласных специалистов, которые уже имеют опыт в разработке и постройке настоящего гоночного болида. Проект является многогранным и позволяет получить огромную базу теоретических знаний и практических навыков. Кроме того, в рамках проекта у студентов есть возможность делиться и перенимать опыт команд из других городов, регионов и даже стран. Таким образом, в течение года команда студентов проходит полный производственный цикл в ходе выполнения задачи построить гоночный болид, который сможет получить высшие балы на динамических испытаниях инженерно-спортивных соревнований Formula Student.

Для того чтобы гоночный болид мог показывать хорошую динамику на трассах соревнований, необходима глубокая проработка каждого узла. Так, например, рулевая система гоночного автомобиля является одним из важнейших элементов. Именно рулевая система осуществляет связь пилота с дорожным покрытием. Поэтому к рулевой системе гоночного автомобиля предъявляются требования при разработке, такие как:

- отзывчивость управления,
- обратная связь от дорожного полотна (чувствительность руля),
- рулевое управление не должно быть чрезмерно тяжелым.

Рулевое управление является отзывчивым, когда пилот чувствует нейтральную управляемость во время движения. Все гоночные болиды класса Formula Student – заднемоторные с приводом на заднюю ось, а, следовательно, предрасположены к чрезмерной поворачиваемости. Именно поэтому кинематика подвески и рулевого управления изначально разрабатываются с определенной долей недостаточной поворачиваемости для подавления чрезмерной за счет угла Аккермана, а также подруливания (изменения схождения) при работе подвески [1]. На рисунке 1 имитация работы расчетного угла Аккермана при прохождении стандартной регламентированной трассы соревнований Formula Student.

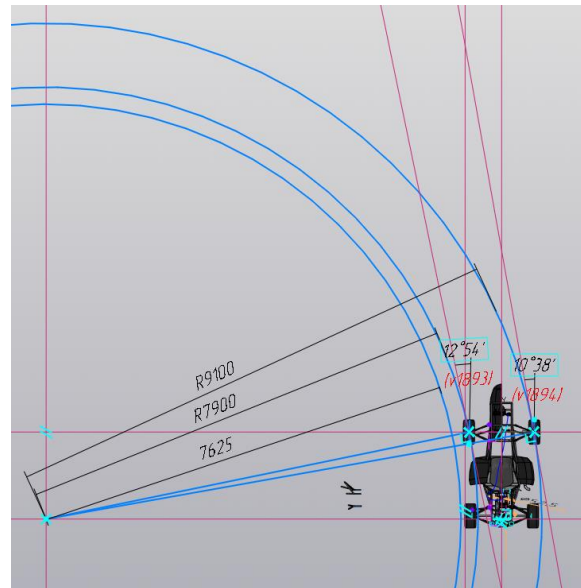


Рисунок 1 – Схема прохождения регламентированной трассы соревнований Formula Student

На рисунке 2 представлен отчет кинематики рулевой системы болида, спроектированной с учетом углов увода используемых шин [6]. Во время поворота с боковым ускорением в 1 g (среднее ускорение болидов на данной трассе) на внутреннем колесе будет возникать угол увода в 0,5 градусов, а на внешнем колесе угол увода в 1,2 градуса.

FRONT SUSPENSION - STEERING TRAVEL						
TYPE 14 Double Wishbone, Push Rod to damper						
INCREMENTAL GEOMETRY VALUES						
RACK TRAVEL (mm)	TOE ANGLE RHS (deg)	TOE ANGLE LHS (deg)	CAMBER ANGLE RHS (deg)	CAMBER ANGLE LHS (deg)	ACKERMANN (%)	TURNING CIRCLE RADIUS (mm)
-35.00	23.77	-32.47	-1.91	1.04	88.60	2958.53
-34.00	23.10	-31.06	-1.90	0.89	86.56	3083.23
-33.00	22.44	-29.73	-1.88	0.76	84.73	3212.90
-32.00	21.78	-28.45	-1.86	0.64	83.10	3348.31
-31.00	21.12	-27.22	-1.85	0.53	81.62	3490.28
-30.00	20.46	-26.05	-1.83	0.43	80.28	3639.68
-29.00	19.80	-24.91	-1.81	0.33	79.05	3797.45
-28.00	19.13	-23.81	-1.80	0.25	77.93	3964.64
-27.00	18.47	-22.74	-1.78	0.16	76.90	4142.43
-26.00	17.81	-21.70	-1.76	0.08	75.95	4332.15
-25.00	17.14	-20.68	-1.74	0.01	75.08	4535.34
-24.00	16.48	-19.69	-1.72	-0.06	74.27	4753.77
-23.00	15.82	-18.73	-1.71	-0.13	73.52	4989.52
-22.00	15.15	-17.78	-1.69	-0.19	72.83	5245.03
-21.00	14.48	-16.85	-1.67	-0.26	72.19	5523.18
-20.00	13.82	-15.94	-1.65	-0.31	71.59	5827.44
-19.00	13.15	-15.04	-1.63	-0.37	71.04	6162.00
-18.00	12.48	-14.16	-1.60	-0.42	70.54	6531.95
-17.00	11.80	-13.29	-1.58	-0.48	70.07	6943.60
-16.00	11.13	-12.44	-1.56	-0.53	69.63	7404.81
-15.00	10.46	-11.59	-1.54	-0.58	69.23	7925.56
-14.00	9.78	-10.76	-1.52	-0.62	68.87	8518.63
-13.00	9.10	-9.94	-1.49	-0.67	68.53	9200.77
-12.00	8.42	-9.13	-1.47	-0.71	68.23	9994.30
-11.00	7.73	-8.33	-1.45	-0.75	67.95	10929.62
-10.00	7.05	-7.54	-1.42	-0.79	67.70	12043.31
-9.00	6.36	-6.75	-1.40	-0.83	67.48	13414.89
-8.00	5.66	-5.98	-1.37	-0.87	67.28	15118.59
-7.00	4.97	-5.21	-1.35	-0.91	67.11	17305.36
-6.00	4.27	-4.44	-1.32	-0.95	66.96	20216.77
-5.00	3.57	-3.69	-1.29	-0.98	66.83	24287.67
-4.00	2.86	-2.94	-1.26	-1.02	66.73	30387.70
-3.00	2.15	-2.20	-1.24	-1.05	66.65	40546.04
-2.00	1.44	-1.46	-1.21	-1.08	66.60	60850.20
-1.00	0.72	-0.73	-1.18	-1.11	66.56	121737.74
0.00	0.00	0.00	-1.15	-1.15	88.60	0.00

Рисунок 2 – Отчет кинематики рулевой системы гоночного болида

Для того чтобы пилот мог чувствовать обратную связь от дорожного полотна, и чтобы обратная связь была достоверной и не вводила в заблуждение пилота, механика рулевого вала с карданной передачей должна соответствовать требованиям:

- угол работы кардана не должен превышать 35 градусов,
- фазовый угол установки карданов не должен превышать 5 градусов,
- общий люфт рулевой системы не должен превышать 5 градусов [3],
- колебательный момент не должен превышать 20 процентов [2].

Кроме того, для того чтобы пилот чувствовал влияние каждого своего движения на поведение автомобиля, необходимо, чтобы усилие на рулевом колесе было значительным [5]. Однако, если усилие слишком большое, то пилоту становится некомфортно управлять автомобилем, он начнет уставать и замедляться. Именно поэтому, изначально, на этапе проектирования необходимо правильно рассчитать нагрузку на переднюю ось и при помощи кинематических углов подвески, а также плеч приложения сил задать необходимые параметры [4]. Рассчитать основной момент сопротивления поворота управляемых колес можно по формуле 1.

$$Mr = \frac{f\sqrt{G^3/P}}{3} \quad (1)$$

- где Mr – момент сопротивления вращения управляемых колес, Нмм;
 f – коэффициент сцепления шин с дорожным покрытием, $f = 0,8$;
 G – нагрузка на переднюю(управляемую) ось, Н;
 P – давление в шинах, КПа.

Максимальную силу, которую необходимо приложить для приведения в движение рулевой рейки, можно рассчитать по формуле 2.

$$F = fr \times Mr \times \cos\gamma / (L \times \sin\beta) \quad (2)$$

где F – Максимальная сила на рулевой рейке, Н;

fr – коэффициент фактора безопасности для рулевой системы, $fr = 1,8$;

γ – угол между рулевой тягой и рулевой рейкой, град;

L – длина трапецеидального плеча, мм;

β – угол между трапецеидальным плечом и рулевой тягой, град.

Литература

1. Горелов В.А., Косицын Б.Б. Разработка комплексной системы управления движением спортивного автомобиля класса «Формула Студент» по заданной трассе // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. С. 45–55.
2. Емельянов С.Р. Колебания рулевого управления автомобиля // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2009. С. 1–4
3. Ладин Р.А., Данилов А.М. ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЮФТА В РУЛЕВОМ УПРАВЛЕНИИ АВТОМОБИЛЯ // Вестник магистратуры. 2013. С. 17–20
4. Маркина А.А., Чепкасов С.Н., Бережная М.А. Разработка комплексной системы управления движением спортивного автомобиля класса «Формула Студент» по заданной трассе // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2019. С. 1–12
5. Свинов В.В. Моделирование динамики рулевого управления автомобиля // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2008. С. 110–111
6. Milliken W.F., Milliken D.L. Race car vehicle dynamics. 1995. С. 356–387.

Literature

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

1. Gorelov V.A., Kositsyn B.B. Development of an integrated system for controlling the movement of a sports car of the Formula Student class along a given track // Izvestiya of higher educational institutions. Engineering. 2016, pp. 45–55.
2. Emelyanov S.R. Vibrations of the steering of the car // Proceedings of the Moscow State Technical University MAMI. 2009, pp. 1–4
3. Ladin R.A., Danilov A.M. PARAMETERS OF THE DISTRIBUTION OF THE PLAY IN THE STEERING OF THE VEHICLE // Bulletin of the Magistracy. 2013, pp. 17–20
4. Markina A.A., Chepkasov S.N., Berezhnaya M.A. Development of an integrated system for controlling the movement of a Formula Student sports car along a given track // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. 2019. S. 1–12
5. Svinov V.V. Modeling the dynamics of the steering of a car // New information technologies in automated systems. 2008, pp. 110–111
6. Milliken W.F., Milliken D.L. Race car vehicle dynamics. 1995. pp. 356–387.

© Власов В.С., Чижаткина Е.Д., 2023 Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №4/2023.

Для цитирования: Власов В.С., Чижаткина Е.Д. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ РУЛЕВОЙ СИСТЕМЫ ГОНОЧНОГО БОЛИДА КЛАССА FORMULA STUDENT// Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №4/2023.