

[https://doi.org/10.53364/24138614\\_2024\\_32\\_1\\_20](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_32_1_20)  
МРНТИ 73.37.41

<sup>1</sup>М. М. Абдуманапов, <sup>1</sup>П. А. Шолохов, <sup>1</sup>А. Демченко\*, <sup>1</sup>А. Умурзаков,  
<sup>1</sup>М. Хайрбекова, <sup>1</sup>Д. А. Бростилова

<sup>1</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

\*E-mail: [kipra@pnzgu.ru](mailto:kipra@pnzgu.ru)

## РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГИРОСКОПОВ

**Аннотация:** рассматривается история гироскопов, его применение в различных сферах и функции. Обозначена значимость его использования и перспективы развития в современных областях. Дается полное представление о таком устройстве, как гироскоп, рассматриваются различные его виды. Описан принцип работы гироскопа.

**Ключевые слова:** гироскоп, устройство, устойчивость, точность, навигация.

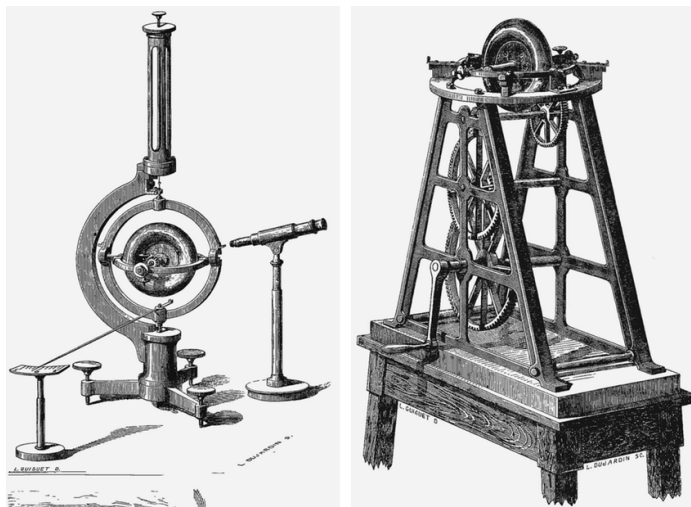
Слово "гироскоп" происходит от греческих слов "gyros" (что означает "крутящийся") и "skopein" (что значит "наблюдать"), истоки которого уходят в глубокую древность. Одним из первых усовершенствователей гироскопа был Демокрит, древнегреческий философ из Абдер. Он предложил теорию о вращении Земли вокруг своей оси при помощи гироскопа в IV веке до нашей эры. Пример вращения гироскопа представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Гироскопический механизм

Первое научное описание гироскопа принадлежит Жану Безу, который в 16 веке изучал и описывал свойства вращающихся колес. Однако, самое известное описание гироскопа, как устройства, связано с учёным Леонардо да Винчи. В

1852 году французский физик Жан-Бернар Леон Фуко продемонстрировал первый гироскоп, который был аналогичен современным (Рисунок 2).



**Рисунок 2. Первый гироскоп**

Он также разработал математическую теорию, описывающую его движение и поведение. Этот момент обозначил важную ступень в истории гироскопов, ведь с тех пор они начали активно применяться во многих областях инженерии и техники.

Сегодня, в XXI веке, гироскопы стали неотъемлемой частью нашего повседневного мира. Они используются в навигационных системах, в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), в устройствах виртуальной реальности, а также находят применение в различных индустриях, где требуется точное определение ориентации и управляемость.

Древнейшие упоминания о явлении, близком к принципу работы гироскопа, можно найти ещё в работах Архимеда, жившего в III веке до н.э. Он заметил, что груз, подвешенный на тонкой нити и установленный во вращение, изменяет своё положение относительно направления оси вращения. Хотя Архимед не использовал термин "гироскоп", его открытия в области механики и физики во многом легли в основу развития этого устройства. В XIV веке английский епископ, учёный, механик Николас Ореасмусс, изучал свойства вращения и описал устройство, похожее на гироскоп. Он заметил, что вращающееся колесо обладает устойчивостью при попытке изменить его ось вращения. Хотя его работы не получили широкого признания в те времена, его исследования стали важным этапом в развитии понимания вращательных движений.

Однако, важный поворот в истории гироскопов произошёл в XIX веке. В 1852 году французский физик Жан-Бернар Леон Фуко (*Jean-Bernard Léon Foucault*), известный своими работами в области оптики и механики, сконструировал и продемонстрировал первый гироскоп, близкий по принципу работы к современным устройствам. Его работа была не только в создании

гироскопа, но и в разработке математической теории, описывающей его движение и поведение. Это стало важным шагом на пути дальнейшего развития гироскопов и их приложений. Дальнейшее развитие гироскопов связано с работами многих учёных и инженеров, таких как Эрнест Вильгельм Ф. Глюк (*Ernst Wilhelm F. Glauert*), Эмиль Шиппер (*Emil Schüller*), Элмсдейл Якобс (*Elmsdale Jacob*), Максин Рид (*Maxin Reid*) и многих других.

В настоящее время гироскопы имеют широкое применение в системах навигации, авиации, космической технике, подводных лодках, ракетостроении, а также в бытовой технике, включая смартфоны и игровые устройства виртуальной реальности. Таким образом, история гироскопов является увлекательным путешествием, начиная с античных открытий и заканчивая современными технологиями, они продолжают удивлять нас своими свойствами и областями применения.

История гироскопа насчитывает тысячелетия, начиная с древних цивилизаций и до современности. Рассмотрим основные этапы и вехи этого захватывающего пути:

- IV век до н.э. - Древнегреческий философ Демокрит из Абдер предложил теорию о вращении Земли вокруг своей оси с использованием гироскопа.

- III век до н.э. - Архимед в своих трудах описывал законы вращения и устойчивости тел, что заложило основы для будущих исследований в области гироскопии.

- IV век н.э. - Древнекитайские знания о гироскопических принципах были описаны в "Классике внутреннего объекта".

- XV век - Леонардо да Винчи создал эскизы гироскопических устройств и изучал их свойства, однако его идеи не были воплощены в практические устройства своего времени.

- XVI век - Жан-Бернар Леон Фуко представил первый научный гироскоп, а также разработал математическую теорию, объясняющую его движение и поведение.

- XIX век:

- 1852 год - Жан-Бернар Леон Фуко создал первый гироскоп, аналогичный современным устройствам

- 1856 год - п Уильямом Томсоном, более известным как лорд Кельвин, была изложена теория гироскопии.

- 1883 год - Леонардо Торикелли установил основные законы движения гироскопа.

- XX век:

- 1913 год - Возникновение теории фрикционного гироскопа и его применение в навигации.

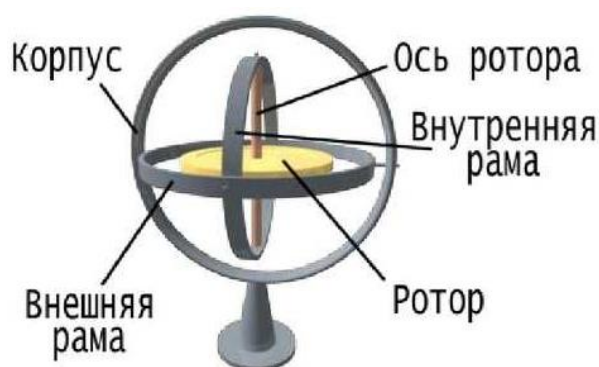
- 1930-е годы - Развитие гироскопической техники привело к созданию специализированных гироскопических систем для кораблей и самолетов.

- 1950-е годы - Внедрение гироскопов в авиацию, ракетостроение и космическую технику усилило интерес к исследованиям в этой области.

- Сегодня гироскопы активно применяются в навигационных системах, беспилотных летательных аппаратах, медицинском оборудовании, устройствах виртуальной реальности, игрушках, космической технике и многих других областях.

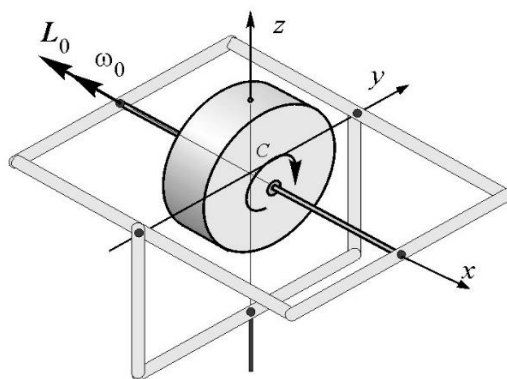
История гироскопов — это не только история научных открытий, но и рассказ о том, как эти удивительные устройства нашли свое место в современной технике, играя важную роль в различных технологических и инженерных областях.

Принцип работы гироскопа основан на законах сохранения углового момента и устойчивости вращающегося тела. Основными элементами гироскопа являются вращающийся ротор и рама для его закрепления. Когда ротор вращается, он обладает инерцией сохранять свою ориентацию в пространстве. Это приводит к таким свойствам, как предварительное вращение и устойчивость оси. Составную часть гироскопа можно рассмотреть на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Составная часть гироскопа

Понятие предварительного вращения было впервые обнаружено в 1749 году Леонардом Эйлером (изображено на рисунке 4).



**Рисунок 4.** Принцип вращения

Это свойство заключается в том, что ось вращающегося гироскопа сохраняет свою ориентацию в пространстве, сохраняя неподвижность относительно фиксированной точки или оси. Формула для углового момента определяется как:

$$L = I\omega$$

где:

- $L$  - угловой момент,
- $I$  - момент инерции,
- $\omega$  - угловая скорость вращения.

Принцип устойчивости гироскопа заключается в его способности сохранять ориентацию оси вращения, даже при действии внешних сил, примеры можно увидеть на рисунке 5.

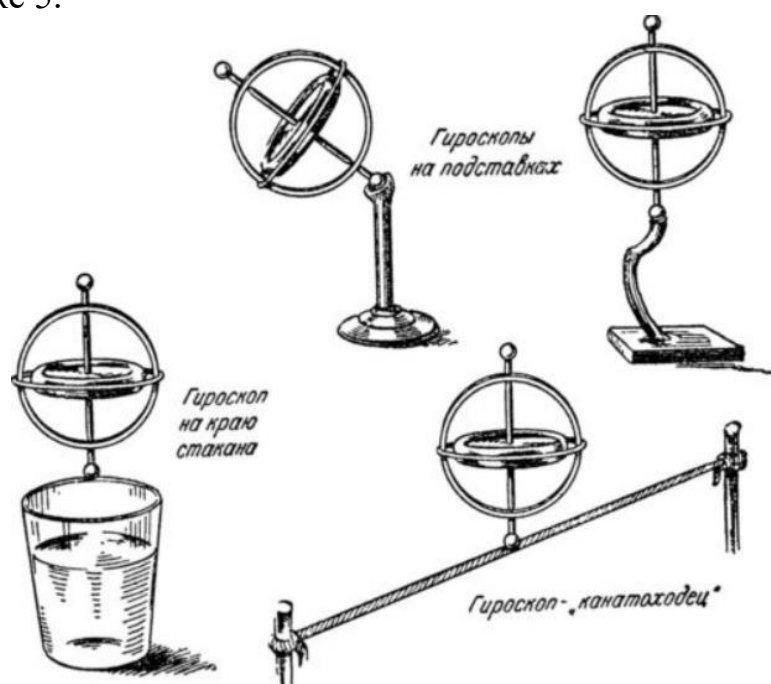


Рисунок 5. Примеры устойчивости гироскопа

Это проявляется в том, что ось вращения гироскопа сохраняет почти неизменное положение в пространстве даже при попытке изменить его. Для описания устойчивости гироскопа используется формула для момента силы:

$$\tau = I(d\omega)/(dt)$$

где:

- $\tau$  - момент силы,
- $I$  - момент инерции,
- $(d\omega)/(dt)$  - угловое ускорение.

Гироскоп также обладает свойствами, такими как гироскопический момент (объяснение которого можно увидеть на рисунке 6), прецессия, нутация и

кажущееся изменение веса. Они описываются рядом формул, связанных с угловым моментом, угловой скоростью и угловым ускорением.

## 7. Момент гироскопической реакции

$$\omega_2 \times I\omega_1 = M^e = (Q, Q')$$

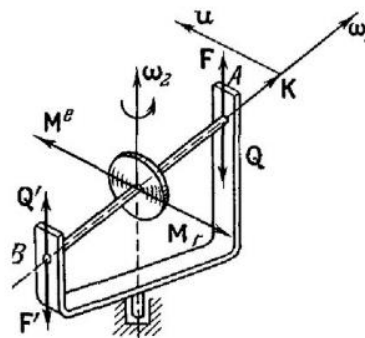
На подшипники со стороны гироскопа действуют силы

$$F = -Q \quad F' = -Q'$$

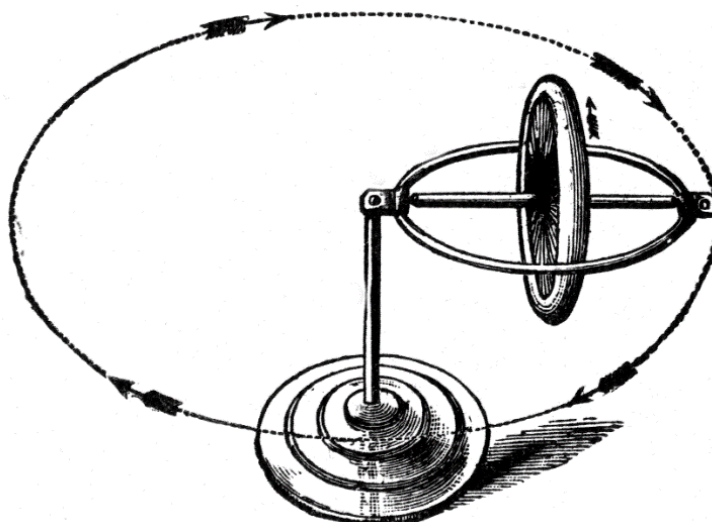
Главный момент этих сил относительно неподвижной точки называется гироскопическим моментом

$$M_{\Gamma} = -M^e = I(\omega_1 \times \omega_2)$$

Правило Жуковского: при сообщении оси гироскопа принудительной прецессии ось гироскопа стремится кратчайшим путем установиться параллельно оси принудительной прецессии таким образом, чтобы направления векторов  $\omega_1$  и  $\omega_2$  совпали.



**Рисунок 6.** Объяснение момента гироскопической реакции  
Применяется гироскоп в различных областях: 1. Навигация



**Рисунок 7.** Движение и ускорение гироскопа

Гироскопы являются ключевым компонентом инерциальных систем навигации. Они используются для определения угловой скорости и ускорения, что показано на рисунке 7. Это находит своё применение в морском и авиационном транспорте, космических аппаратах, а также в автономных

транспортных средствах. Например, гироскопы используются в навигационных системах космических аппаратов для точного определения положения в космосе.

#### 1. Авиация и космическая техника.

Гироскопы применяются для стабилизации и управления полетом самолетов, вертолетов, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), спутников и космических аппаратов. Они обеспечивают точную навигацию, контроль ориентации и устойчивость полёта. Например, в авиации гироскопы используются для обеспечения стабильности и управления полетом в различных условиях (смотри Рисунок 8).



**Рисунок 8.** Пример авиационного гироскопа

#### 2. Медицинское оборудование

В медицинской технике гироскопы находят своё применение в инструментах и устройствах, где требуется высокая точность и стабильность, например, в кардиостимуляторах. Они обеспечивают точное определение ориентации и изменений положения в пространстве, что критически важно в медицинских приборах.

#### 3. Бытовая техника

Гироскопы также применяются в бытовой технике, такой как устройства виртуальной реальности, игрушки, смартфоны и камеры. Например, в устройствах виртуальной реальности гироскопы используются для отслеживания движения головы и тела пользователя, обеспечивая более реалистичные эффекты.

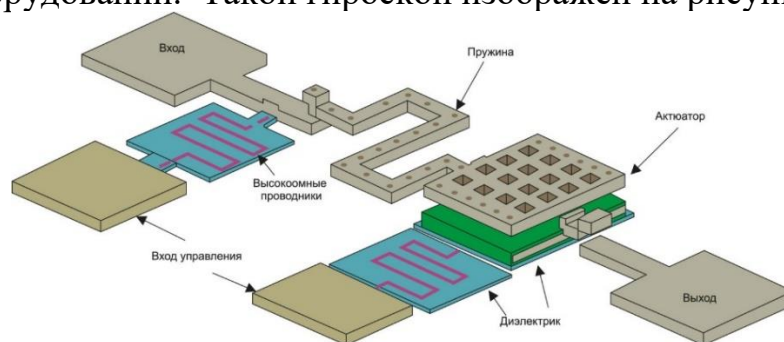
#### 4. Применение формул и чисел.

Применение гироскопов в различных областях часто связано с инженерными аспектами и вычислениями, которые не всегда подходят для краткого описания с формулами и числами. Однако, принципы момента инерции, угловой скорости и углового ускорения, описанные в предыдущем развёрнутом ответе, являются краеугольными принципами, которые используются в различных областях применения гироскопов.

Таким образом, гироскопы являются важным элементом в различных сферах техники и науки, обеспечивая высокую точность, стабильность и контроль в различных условиях.

Современные технологии в области гироскопов включают в себя разработку микроэлектромеханических систем (MEMS), волобооптических гироскопов (FOG) и квантовых гироскопов.

1. *MEMS* гироскопы: Применение нанотехнологий и микроэлектроники позволяет создавать маленькие, но высокоточные гироскопы, которые находят широкое применение в мобильных устройствах, навигационных системах и медицинском оборудовании. Такой гироскоп изображен на рисунке 9.



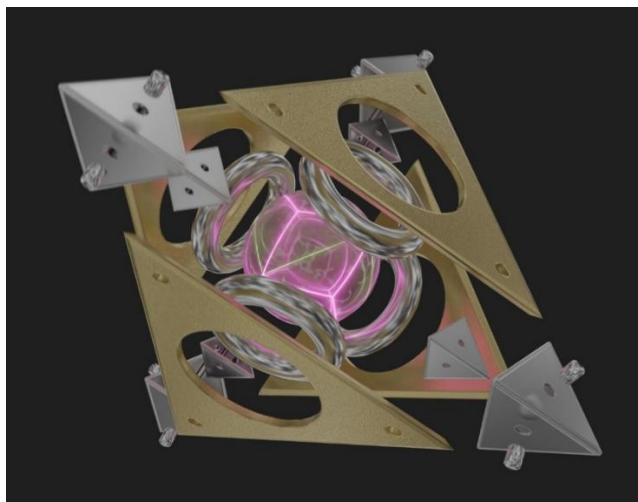
**Рисунок 9. Электронный гироскоп**

2. *FOG* гироскопы: Волобооптические гироскопы обеспечивают высокую устойчивость и точность измерений. Они используются в авиации, морской навигации, нефтяной промышленности и других областях, где требуется точное измерение угловой скорости. Пример представлен на Рисунке 10.



**Рисунок 10. Волобооптический гироскоп**

3. Квантовые гироскопы: Используя принципы квантовой механики, квантовые гироскопы обеспечивают высочайшую точность и стабильность измерений, что делает их привлекательными для применения в инженерии, космических аппаратах и других областях, где требуется высокоточное измерение угловой скорости и ориентации. Квантовый гироскоп можно рассмотреть на Рисунке 11.



**Рисунок 11.** 3D модель квантового гироскопа

Будущее гироскопов:

- Нанотехнологии и фотоника: Развитие нанотехнологий и фотоники будет способствовать созданию ещё более компактных и точных гироскопов.

- Квантовые технологии: Продолжительное развитие квантовых технологий приведет к созданию квантовых гироскопов с ещё более высокой точностью и стабильностью измерений.

- Интеграция с другими системами: Гироскопы будут дальше интегрироваться с другими системами, такими как *GPS* и акселерометры, для создания комплексных систем навигации и контроля ориентации.

Гироскопы играют важную роль в современном мире технологий. Начиная с древних времен и до сегодняшних дней, гироскопы продолжают удивлять своими свойствами устойчивости, управляемости и точности.

Применение гироскопов в различных областях, таких как навигация, авиация, медицина и бытовая техника, продемонстрировало их важность для современного общества. Развитие современных технологий, таких как *MEMS*, фиброоптические гироскопы и квантовые гироскопы, позволяет улучшить точность и стабильность измерений, что делает их ещё более востребованными.

Будущее гироскопов связано с развитием нанотехнологий, фотоники и квантовых технологий. Интеграция с другими системами, дальнейшее уменьшение размеров и повышение точности делают гироскопы ключевым элементом для новых технологических разработок.

Сегодняшние достижения и будущие перспективы гироскопов свидетельствуют о важности этой технологии для нашей современной цивилизации. Неустанное стремление к улучшению и развитию помогает гироскопам сохранять свою актуальность и значимость в нашем мире.

М.М. Абдуманапов, П.А. Шолохов, А. Демченко, А. Умурзаков,  
М. Хайрбекова, Д.А. Бростилова

## ГИРОСКОПТАРДЫҢ ЖОБАЛАРЫН ӘЗІРЛЕУ

**Аңдатпа:** Гироскоптардың тарихы, оның әртүрлі салалардағы қолданылуы мен қызметтері талқыланады. Оны пайдаланудың маңыздылығы мен қазіргі заманғы салалардағы даму перспективалары көрсетілген. Гироскоп сияқты құрылғы туралы толық түсінік беріліп, оның әртүрлі түрлері қарастырылады. Гироскоптың жұмыс істеу принципі сипатталған.

**Түйін сөздер:** гироскоп, құрылғы, тұрақтылық, дәлдік, навигация.

M.M. Abdumanapov, P.A. Sholokhov, A. Demchenko, A. Umurzakov,  
M. Khairbekova, D.A. Brostilova

## DEVELOPMENT OF GYROSCOPE DESIGNS

**Abstract:** The history of gyroscopes, its applications in various fields and functions are discussed. The significance of its use and development prospects in modern fields are indicated. A complete understanding of such a device as a gyroscope is given, and its various types are considered. The principle of operation of the gyroscope is described.

**Key words:** gyroscope, steering wheels, steering wheel, remote control, navigation.

### Список литературы

1. David J. Bates. "Advances in Gyroscope Technologies". Springer, 2017.
2. Thomas S. Huang. "MEMS and Nanotechnology for Gas Sensors". Springer, 2016.
3. Lawrence H. Soicher. "Handbook of Fiber Optics: Theory and Applications", CRC Press, 2011.
4. William T. Plummer. "An Introduction to Practical Navigational Astronomy". Cambridge University Press, 2017.
5. Henry T. Nagamatsu. "Quantum Gyroscope Principles and Applications". Wiley, 2020.

6. John A. Wilson. "Inertial Navigation Principles and Applications". Springer, 2011.
7. Andrew J. Graham. "Mobile Robotics: Mathematics, Models, and Methods". Cambridge University Press, 2013.
8. Brian E. Sawyer. "Advanced Gyroscopic Instrumentation: Measurement, Technology, and Applications". McGraw-Hill Education, 2001.
9. Булычев А. В. "Основы навигации и инерциальные системы". БХВ-Петербург, 2015.
10. Тарасов Е. В., Фарго В. В. "Теория и конструкция гироскопов". Машиностроение, 2014.
11. Касьянов Г. Л., Новиков В. А. "Гироскопы и нейтроны". Техносфера, 2019.
12. Копылов А. И. "Гироскопические системы управления". Высшая школа, 2012.

### References

1. David J. Bates. "Advances in Gyroscope Technologies". Springer, 2017.
2. Thomas S. Huang. "MEMS and Nanotechnology for Gas Sensors". Springer, 2016.
3. Lawrence H. Soicher. "Handbook of Fiber Optics: Theory and Applications", CRC Press, 2011.
4. William T. Plummer. "An Introduction to Practical Navigational Astronomy". Cambridge University Press, 2017.
5. Henry T. Nagamatsu. "Quantum Gyroscope Principles and Applications". Wiley, 2020.
6. John A. Wilson. "Inertial Navigation Principles and Applications". Springer, 2011.
7. Andrew J. Graham. "Mobile Robotics: Mathematics, Models, and Methods". Cambridge University Press, 2013.
8. Brian E. Sawyer. "Advanced Gyroscopic Instrumentation: Measurement, Technology, and Applications". McGraw-Hill Education, 2001.
9. Bulychev A. V. "Fundamentals of navigation and inertial systems." BHV-Petersburg, 2015.
10. Tarasov E. V., Fargo V. V. "Theory and design of gyroscopes." Mechanical Engineering, 2014.
11. Kasyanov G. L., Novikov V. A. "Gyroscopes and Neutrons". Technosphere, 2019.
12. Kopylov A. I. "Gyroscopic control systems". Higher school, 2012.

|                                             |                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Абдуманатов<br>Маматмырза<br>Маматазизович  | Студент кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия. E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                                             |
| Абдуманатов<br>Маматмырза<br>Маматазизович  | «Радиожабдықтарды жобалау және өндіру» кафедрасының студенті, «Пенза мемлекеттік университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары оқу орны, Пенза қ., Ресей. E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                  |
| Abdumanapov<br>Mamatmyrza<br>Mamatazizovich | Student of the department “Design and production of radio equipment”, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State University”, Penza, Russia. E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a> |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Шолохов Павел<br>Анатольевич    | Старший преподаватель кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия. E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a> |
| Шолохов Павел<br>Анатольевич    | Пенза мемлекеттік университетінің радиоаппаратураларды жобалау және өндіру кафедрасының аға оқытушысы, Пенза қ., Ресей. E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                              |
| Sholokhov Pavel<br>Anatolievich | Senior Lecturer at the Department of Design and Production of Radio Equipment, Penza State University, Penza, Russia. E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                                |

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Демченко<br>Александр  | Студент кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия. E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                                                            |
| Демченко<br>Александр  | «Радиожабдықтарды жобалау және өндіру» кафедрасының студенті, «Пенза мемлекеттік университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары оқу орны, Пенза қ., Ресей. E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                                 |
| Demchenko<br>Alexander | Student of the department “Design and production of radio equipment”, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State University”, Penza, Russia. E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a><br>nCoIH4xv&DA |

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Умурзаков Арман | Студент кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия.<br>E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                                             |
| Умурзаков Арман | «Радиожабдықтарды жобалау және өндіру» кафедрасының студенті, «Пенза мемлекеттік университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары оқу орны, Пенза қ., Ресей.<br>E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                  |
| Umurzakov Arman | Student of the department “Design and production of radio equipment”, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State University”, Penza, Russia.<br>E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a> |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Хайрбекова Марал  | Студент кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия.<br>E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                                             |
| Хайрбекова Марал  | «Радиожабдықтарды жобалау және өндіру» кафедрасының студенті, «Пенза мемлекеттік университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары оқу орны, Пенза қ., Ресей.<br>E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                  |
| Khairbekova Maral | Student of the department “Design and production of radio equipment”, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State University”, Penza, Russia.<br>E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a> |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Бростилова Дарья Александровна | Лаборант кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия.<br>E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                                                            |
| Бростилова Дарья Александровна | «Радиожабдықтарды жобалау және өндіру» кафедрасының лаборанты, «Пенза мемлекеттік университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары оқу орны, Пенза қ., Ресей.<br>E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a>                                 |
| Brostilova Daria Alexandrovna  | Laboratory assistant at the Department of “Design and Production of Radio Equipment”, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State University”, Penza, Russia.<br>E-mail: <a href="mailto:kipra@pnzgu.ru">kipra@pnzgu.ru</a> |