

# ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ОБЪЕКТЛАРИДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН АЙЛАНУВЧИ МЕХАНИЗМЛАР ҚУВВАТИНИ ЎЛЧАШ УСУЛЛАРИ

Рустам БАРАТОВ, кафедра мудири, т.ф.н., доцент,  
Яъқубжон ЧЎЛЛИЕВ, PhD,  
Мурад БЕГМАТОВ, таянч докторант,  
Фаррух КЎЧАРОВ, таянч докторант,  
“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти”  
Миллий тадқиқот университети

## Аннотация

В данной статье описаны методы и приборы для измерения мощности вращающихся механизмов, применяемых в гидроэнергетических сооружениях, и представлены ее основные параметры. Анализируются прямые и косвенные методы измерения мощности вращающихся механизмов. Также приведены решения об использовании углового ускорения и крутящего момента при измерении мощности вращающегося механизма.

**Ключевые слова:** тензодатчик, импульсный метод отсчета, гидротрансформатор, угловое перемещение, угловая скорость, угловое ускорение.

Бугунги кунда энергетика соҳасида жуда кўп ҳал этилиши лозим бўлган муаммолар мавжуд. Сув хўжалигининг кенг тармоқларида электр моторлар ишлатилиб, унинг валига турли кўринишда турлича қувватга эга бўлган юкламалар уланади. Мотор юклама билан ишлаш жараёнида унинг валига тушадиган оғирлик турлича бўлади ва бу баъзида моторнинг номинал қувватидан ортиб кетиши ҳам мумкин. Насос станцияларида моторнинг бурчак катталиклари ва қувватини назорат қилиб бориш жуда муҳим ҳисобланади. Бу моторлар айниқса ишга тушиш пайтида ишга тушириш токининг юқорилиги уни бурчак катталикларини бошқариш муҳимлигини кўрсатади.

Айланувчи қисмларга таъсир этаётган қувватни ўлчаш ва назорат қилиб туриш учун, турли хил датчиклар ишлаб чиқилган [1,2,3,4,5,6,7]. Бу датчиклар айланувчи механизмларнинг бурчак силжиши, бурчак тезлиги, бурчак тезланиши каби параметрларини ўлчаш ва назорат қилиш имконини беради.

Айланувчи механизмлар қувватини ўлчашда бевосита ва билвосита усуллар мавжуд бўлиб, бу усуллар ўзига хос афзаллик ва камчиликларга эга [8,9,10,11,12,13,14]. 1-расмда ўзига хос конструкция берилиб, бу конструкция валнинг мутлақ momenti, қуввати ва бурчак тезлигини аниқлаб бера олади. Бироқ, бу усулда ўлчашда маълум камчиликлар мавжуд [15].

Булар:

- таклиф қилинган датчик моментни эксенел кучга айлантириб, яқинлашиш датчиги учун ўлчанадиган эксенел ҳаракатни ҳосил қилади. Ушбу эксенел юк, агар махсус қурилмалар ишлатилмаса, айланадиган қисмларга ишқаланишни оширади;

- ҳаракатлантирувчи ва бошқариладиган томонлар орасидаги муфта узилиш ҳосил қилади. Натижада, ҳар бир томон алоҳида ўрнатилиши ва тўғри текисланиши керак, бу эса ишлаб чиқариш харажатларини оширади;

- назарий жиҳатдан, мутлақ айланиш ҳолатини ва моментни баҳолаш учун камида иккита маълумот нуқтаси керак. Амалда, филтрлаш орқали юқори аниқликка эришиш учун кўпроқ маълумотлар талаб қилинади.

Куйидаги 2-расмда кўрсатилган датчик эса ишлаш принципи унга момент қўлланилганда валининг бурилиш миқдорини ўлчашга асосланган [16]. Валининг буриш миқдорини ўқиш усулига кўра, улар икки турга бўлинади:

1. Кучланиш ўлчагич.

## Annotation

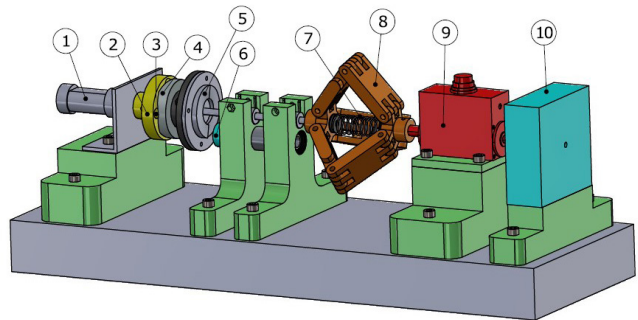
This article describes the methods and devices for measuring the power of rotating mechanisms used in hydropower facilities, and its main parameters are presented.

Direct and indirect methods of measuring the power of rotating mechanisms are analyzed. Also, solutions are given about the use of angular acceleration and torque in measuring the power of the rotating mechanism.

**Key words:** load cell, pulse counting method, torque converter, angular displacement, angular velocity, angular acceleration.

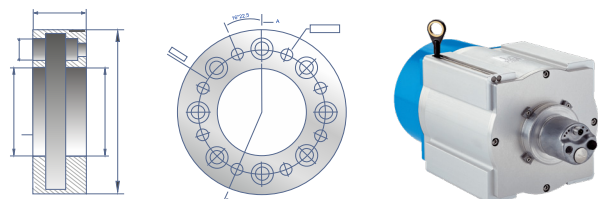
## 2. Пульс ўлчагич.

Тензометрик усулда бурилиш валига тензометрлар ўрнатилади. Тензометрлардан олинadиган сигнал кучайтирилади ҳамда кетма-кет рақамли кодга айлантирилади ва контактсиз айланадиган трансформатор ёрдамида ташқи ўлчаш мосламасига узатилади. Трансформатор вазифаси кучайтиргични ва импульс узатувчисини қувватлантириш учун зарур бўлган кучланишни ҳосил қилади. Статордаги қабул қилувчи қурилма ва айланадиган трансформатор орасидаги масофа 5 - 8 мм.



1-расм. Абсолют айланиш momenti ва қувватни ўлчовчи қурилма: 1) ротор, 2) текис диск, 3) челик шар, 4) тўлқинли диск, 5) ўзгарувчан сирт, 6) индуктив сенсор, 7) пружина, 8) босимсиз уланиш, 9) йўналтирувчи момент/айланиш сенсори, 10) тормоз.

Импульсни ўқиш усули билан қабул қилувчи қурилма томонидан айланиш тезлиги ва моментга айлантириладиган кириш ва чиқиш дискларидаги (ёки кўшимча тишли дисклар) тирқишлардан ўқиладиган импульсларда вақтинчалик силжиш мавжуд. Бу эса, ўлчашда хатоликларни юзага келтиради. 2-расмда импульсни ўқиш усули орқали ишлайдиган датчик бўлиб, у бир пайтнинг ўзида айланиш тезлиги, тебраниши ва қувватни ўлчаш имконини беради.



2-расм. Импульсни ўқишга асосланган датчик.

Айланувчи механизмлар қувватини ўлчашда бевосита усулларга қараганда билвосита ўлчаш усуллари кўпроқ.

Бу усуллар ўлчаш ўзгарткичлар турига, конструкция-сига қараб турли хил бўлади.

Айланувчи механизмлар қуввати қуйидаги формула орқали ифодаланади:

$$P = M \cdot \omega. \quad (1)$$

Бу ерда,  $M$ -валнинг моменти,  $\omega$  - бурчак тезлик.

Агар биз ушбу тенгламани бурчак силжиши орқали ифодаламоқчи бўлсак, унда у қуйидагича кўринишга эга бўлади:

$$P = M \cdot \frac{d\theta}{dt}. \quad (2)$$

Бу ерда  $\theta$ -валнинг бурчак силжиши.

Шу билан бир қаторда биз (1) формулани бурчак тезланиши орқали ҳам ифодаласак бўлади:

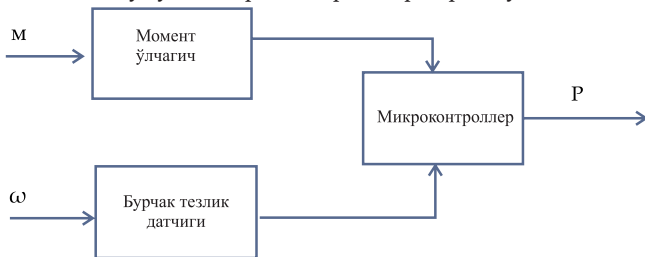
$$P = M \cdot j \cdot \epsilon. \quad (3)$$

Ушбу формулалардан келиб чиққан ҳолда айланувчи механизмлар қувватини ўлчашда моментни ўлчовчи ўлчаш ўзгарткичлари бўлган тақдирда, бурчак силжиши, бурчак тезлиги ва бурчак тезланишини ўлчовчи датчиклардан фойдаланишимиз мумкин.



3-расм. Айланувчи механизмлар қувватини ўлчаш усуллари.

1-усул. Бу усулда айланувчи механизм қувватини ўлчашда бурчак тезлиги ва моментни аниқлаш зарур бўлади. Бунда бизга момент ўлчовчи датчик, бурчак тезлиги датчиги ва натижаларга ишлов бериш ва қувватни ҳисоблаш учун микроконтроллер керак бўлади.

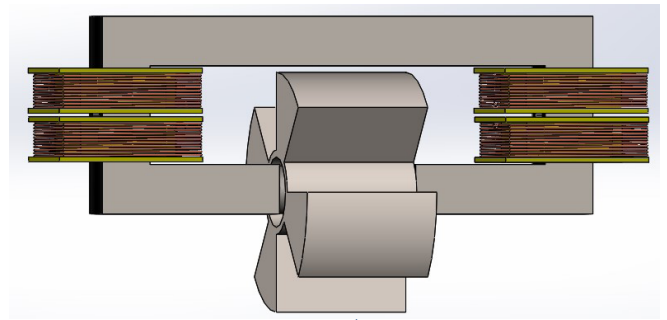


4-расм. Бурчак тезлиги датчиги билан қувватни ҳисоблаш.

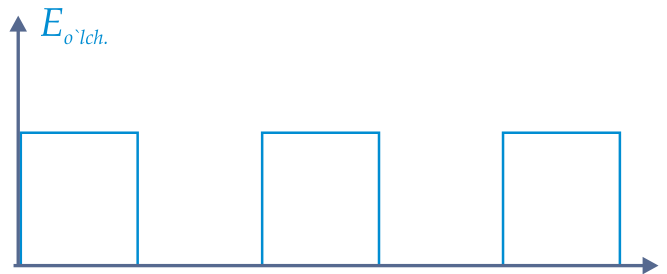
2-усул. Бурчак тезланиш ва момент орқали қувватни ҳисоблаш. Бу усулнинг афзаллиги бир вақтнинг ўзида тўртта катталиқни аниқлаш имконияти борлигида [1,5]. Бунда бурчак тезланиш ва момент алоҳида ўлчанади. Ҳисоблаш орқали бурчак тезлик ҳамда қувват аниқланади.

Қуйида 6-расмда бурчак тезланиш датчиги берилган бўлиб, унинг чиқишидаги сигнал импульсли кўринишга эга ва бу жараёни осонлаштиради [17].

3-усул. Бу усул бизга бурчак силжиш датчигидан фойдаланиш имконини беради. Бунда бир вақтнинг ўзида 5 та катталиқни ҳам аниқласа бўлади.



а)



б)

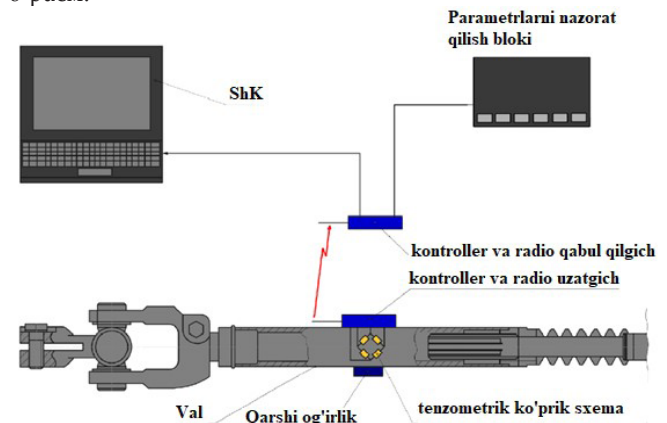
5-расм. Бурчак тезланиш датчиги (а) ва унинг чиқиш сигнали(б).

Моментни ўлчаш усулларининг ўзи ҳам контактли ва контактсиз турларга бўлиниб, ҳар бир усулда турли хил конструкцияларни кўришингиз мумкин.

Шундай усуллардан бири юза акустик тўлқин жавобини аниқлаш бўлиб, унда Жавоб энергияси энтропияси ўртасидаги боғлиқлик бўйича таҳлил ўтказилган [8]. САВ сенсорларидан фойдаланиш мумкин деган хулосага келиш мумкин. Айланувчи муҳитда ҳарорат ёки моментни ўлчаш учун; аммо, баъзи мослаштириш СОТС сенсорли ечимлари томонидан қўйилган чекловларни бартариф этиш учун компонентлар талаб қилинади.

Яна бошқа усулда аморф фойдаланган янги момент магнетостриктив датчиклари келтирилган бўлиб бунда аморф ленталар чизиқли нақш ҳосил қилиш учун кесилади ва валга ёпиштирилади [13]. Бунда бир жуфт лента ўрнатилиб чиқишда мультивибраторли кўприк схемаси моментни ўлчаш вазифасини бажаради.

Тензометрик усулда момент аниқлайдиган бошқа усулда тензометрик кўприк схема ва контактсиз узатиш қурилмалардан фойдаланилган [17, 18]. Бу усулда сигналларни компьютер орқали назорат қилиб бориш мумкин 6-расм.



6-расм. Тензометрик усулда моментни ўлчаш.

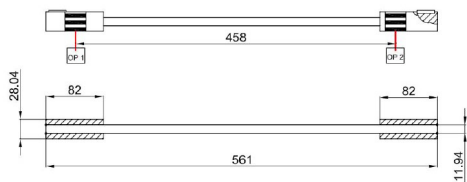
Бундан ташқари, гардишли турдаги, магнитоэластик ҳалқали турдаги момент датчиклари мавжуд бўлиб, ҳар бирининг афзаллик ва камчиликлари мавжуд [19]. Масалан магнитоэластик ҳалқали датчик вақтни қўллаш йўналишини аниқлашнинг мумкин эмаслиги, лойиҳалашда валнинг материални ҳисобга олиш керак бўлса, гардишли датчик эса бошқариладиган милнинг максимал тезлиги юқори эмаслиги, паст тезликда моментни аниқлаш учун валнинг диаметри кичик бўлиши кераклиги, алоқа ҳалқаларининг юқори тезликда фойдаланилганда датчикнинг қисқа хизмат муддати, вақт ўтиши билан қаршилиқ ўзгаришининг аниқлиги пасайиши каби камчиликлари мавжуд.

Бундан ташқари, оптик усуллар ҳам мавжуд [20]. Ушбу усулда моментни ўлчаш хатолиги кам бўлиб қувватни аниқлашда фойдаланса бўлади. Бироқ бу усулда ташқи муҳит таъсирини ҳисобга олиш зарур. Масалан, чангли муҳитларда нур ўтказувчанлигининг пасайиши ёки вибрациялар оқибатида нур силжиши каби камчиликлари бор.

Моментни сиғимли қўринишда ўлчаш ҳам контакtsiz ўлчаш усуллари мисол бўлади. Тавсия этилган сиғимли момент датчигида иккита бурчакли силжиш датчиги яхши белгиланган масофада жойлашган [19,20]. Булар кучланишлар статордан роторга сиғимли равишда боғланган. Статор шунингдек, ўқиш электроди билан жиҳозланган. Ушбу ўқиш электродидаги синус тўлқини ротор-статорга пропорционалдир.



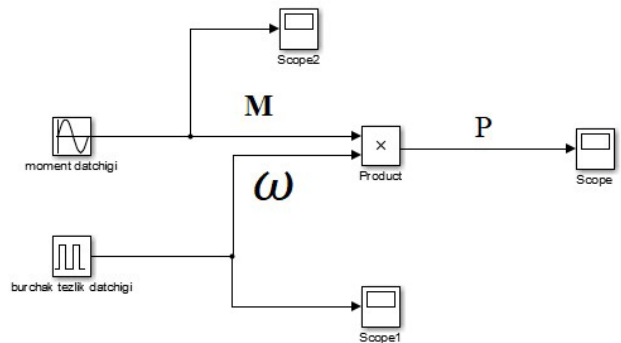
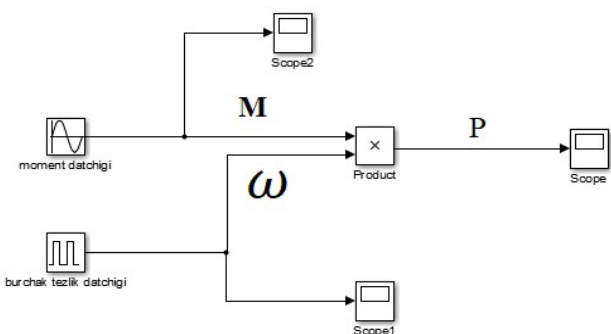
Shakl 3. Tork sinov qurilmasining asosiy komponentlari va asboblari.



7-расмда. Оптик усулда бурчак тезланиши ва моментини аниқлаш.

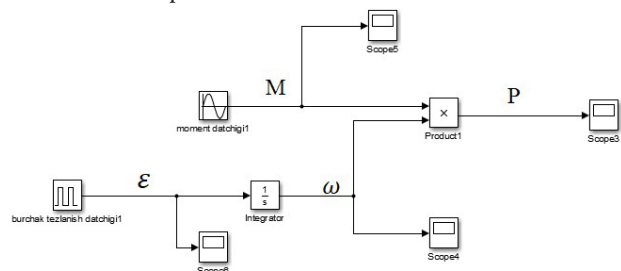
Натижалар ва муҳокама.

Юқоридаги қувватни ўлчаш усуллари таҳлил қилишда Матлаб дастуридан фойдаландик. Қуйида 8-расмда айланувчи механизмлар қувватини ўлчашнинг Матлаб дастуридаги математик модели келтирилган бўлиб, унда момент датчиги сигнали сифатида синусоидал манбадан, бурчак тезлиги учун импульсли сигналдан фойдаланилган.



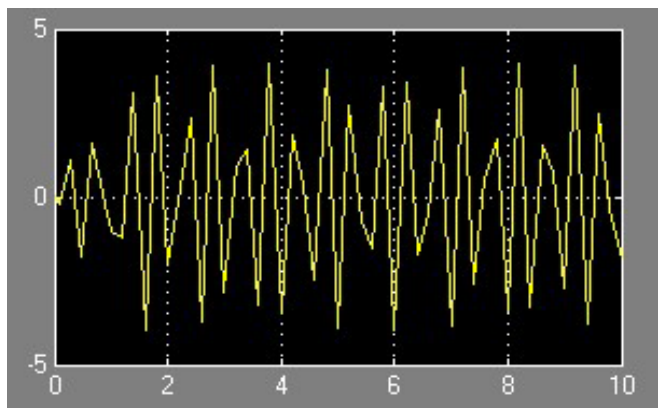
8-расм. Матлаб дастурида қувватни бурчак тезлиги ва момент орқали ҳисоблаш.

Иккинчи усулга мувофиқ қувватни бурчак тезланиш датчиги сигнали ва момент датчиги сигналларидан фойдаланамиз. 10-расм.



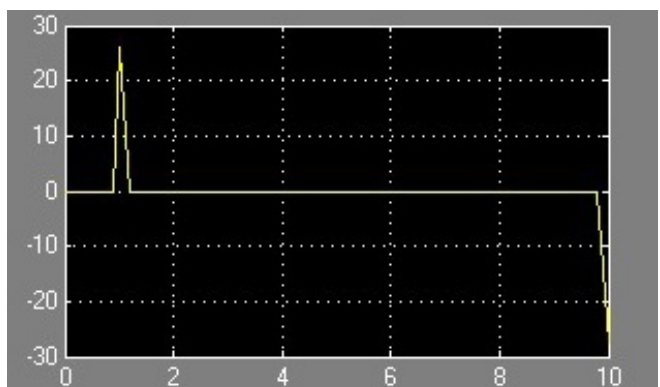
9-расм. Айланувчи механизмлар қувватини бурчак тезланиши ва момент орқали ҳисоблаш.

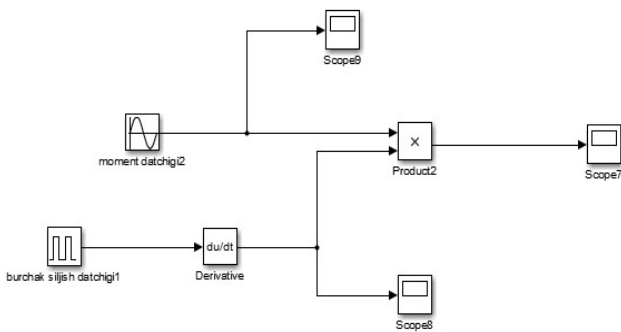
Унинг чиқиш сигнали қуйидагича:



10-расм. Датчикнинг чиқиш сигнали.

Учинчи усул бўйича, яъни бурчак силжиши ва момент орқали қувватни ҳисоблаш 12-расмда тасвирланган.





11-расм. Бурчак силжиши ва момент орқали қувватни ҳисоблаш усули.

Хулоса.

Ушбу мақолада айланувчи механизмлар қувватини ўлчашнинг турли усуллари кўриб чиқилди ва қуйидаги хулосаларга эришилди:

- айланувчи механизмлар қувватини аниқлаш усуллари кўпчилиги момент аниқлаш орқали боради;
- айланувчи механизмлар қувватини ўлчашда ташқи таъсирлар ҳисобга олиниши зарур;
- қувватни аниқлашнинг контактсиз усуллари контактли усулларга нисбатан соддарок, аммо хатолиги нисбатан юқориқроқ бўлади;
- айланувчи механизмлар қувватини аниқлашнинг момент ва бурчак тезлик орқали аниқлаш усули соддарок ва аниқлиги юқориқроқ.

#### Фойдаланилган адабиётлар рўйхати:

1. Баратов Р.Ж., Чўллийев Я.Э., Бегматов М.Т., Ҳафизов Ш. Гидроэнергетика объектида ишлатиладиган айланувчи механизмлар бурчак тезлигини ўлчаш датчигининг асосий параметрлари // "Ўзбекгидроэнергетика" илмий-техник журнали. — Тошкент, 2022. — Б. 21-24.
2. Zaitsev D., Antonov A., Krishtop V., Dmitry Z., Alexander A. and K. Vladimir, "Angular MET sensor for precise azimuth determination," <https://doi.org/10.1117/12.2267073>, vol. 10224, pp. 367–374, Des. 2016, doi: 10.1117/12.2267073.
3. Szevszyk R. "Computational Problems Sonnested with Jiles-Atherton Model of Magnetis Hysteresis," *Adv. Intell. Syst. Somput.*, vol. 267, pp. 275–283, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-05353-0\_27
4. "AGRO ILM" 2021 yil 6-son (76) yuklab olish - Jurnal 2021 - Jurnal va jurnaldagi maqolalar - O'zbekiston Qishloq Xo'jaligi Jurnalni." [http://qxjurnal.uz/load/jurnal\\_2021/agro\\_ilm\\_2021\\_jil\\_6\\_son\\_76\\_juklab\\_olish/10-1-0-488](http://qxjurnal.uz/load/jurnal_2021/agro_ilm_2021_jil_6_son_76_juklab_olish/10-1-0-488) (assessed May 13, 2022).
5. Malarić R. "instrumentation and measurement in electrical engineering," 2011, Assessed: May 07, 2022. [Online]. Available: [www.brownwalker.com](http://www.brownwalker.com).
6. Baratov R., Pirmatov N., Panoyev A., Chulliyev Y., Ruziyev S. and A. Mustafqulov, "Achievement of elestris energy savings through sontrolling frequency sonvertor in the operation prosess of asynchronous motors in textile enterprises," *IOP Sonf. Ser. Mater. Ssi. Eng.*, vol. 1030, no. 1, Jan. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1030/1/012161.
7. Safarov A., Sattarov K. and Jumaboyev S. "Devoise for sonversion of equalizing surrent at the site of the trastian as

network," *E3S Veb Sonf.*, vol. 139, p. 01034, Des. 2019, doi: 10.1051/E3SCONF/201913901034.

8. Jiang S., Chen Y., and Cho S., "A three-dimensional finite element analysis model for Sh-SAV torque sensors," *Sensors (Svitzerland)*, vol. 19, no. 19, 2019, doi: 10.3390/s19194290.

9. Fan Y., Kong P., Qi H., Liu H., and Ji X., "A surfase asoustis vave response detestion method for passive vireless torque sensor," *AIP Adv.*, vol. 8, no. 1, 2018, doi: 10.1063/1.5003178.

10. "Datchik uglovix uskoreniy — SU 1793384." <https://patents.su/5-1793384-datchik-uglovykh-uskoreniij.html> (assessed May 07, 2022).

11. Чернышева А.С. "Датчик угловых ускорений". пп. 176–183, 2013.

12. Amirov S., Rustamov D., Yuldashev N., Mamadaliyev U., and Kurbanova M. "Study on the Elestromagnetis surrent sensor for trastian elestro supply devises sontrol systems," *IOP Sonf. Ser. Earth Environ. Ssi.*, vol. 939, no. 1, Des. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/939/1/012009.

13. Mohri K., Mukai Y., Yasuda K., and Takayama K., "Nev torque sensors using amorphous star-shaped sores," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 23, no. 5, pp. 2191–2193, 1987, doi: 10.1109/TMAG.1987.1065300.

14. Sattarov K., "European Journal of Molesular & Slinisal Medisine inductive angular acceleration sensor for automatic speed control system of train traffic".

15. Arionfard H., and Ramezani H. "Measuring Absolute Rotation and Torque in Seriyes Elastis Astuators vith a Single Sensor," *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 24, pp. 14685–14693, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.3011049.

16. "Измерители крутящего момента (ИКМ)," вол. 7, no. 342, пп. 7–8.

17. Гапонов Л., Гуринов А.С., "Измерения Крутящего Моментa На Врацающихся Валов", — *Вестник Донский Государственный Технический Университет*, вол. 1, no. 62. пп. 25–32, 2012.

18. Raianov T.A., "Overoiyev of nev types of torque forse sensors," *Transp. Syst. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 5–14, 2020, doi: 10.17816/transsyst2020615-14.

19. Zappalá D., Bezzischeri M., Srabtree S. J., and Paone N., "Non-intrusive torque measurement for rotating shafts using optisal sensing of zebra-tapes," *Meas. Ssi. Technol.*, vol. 29, no. 6, 2018, doi: 10.1088/1361-6501/aab74a.

20. Volffenbuttel R. F. and Foerster J. A., "Nonsontast Sapasitive Torque Sensor For Use on a Rotating Axle," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 39, no. 6, pp. 1008–1013, 1990, doi: 10.1109/19.65816.