

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2849725

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ДИНАМИЧЕСКОГО УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО  
ОТКОСА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА И ТОЛЩИНЫ  
АКТИВНОГО СЛОЯ В РЕЖИМЕ КАЧЕНИЯ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Федорова Эльмира Рафаэльевна (RU), Моргунов Владимир Викторович (RU)*

Заявка № 2025116627

Приоритет изобретения **17 июня 2025 г.**

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации **28 октября 2025 г.**

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает **17 июня 2045 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G01B 5/24* (2025.08); *G01N 33/24* (2025.08)

(21)(22) Заявка: 2025116627, 17.06.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 17.06.2025

Дата регистрации:  
 28.10.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.06.2025

(45) Опубликовано: 28.10.2025 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
 Санкт-Петербургский Горный Университет,  
 Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Федорова Эльмира Рафаэльевна (RU),  
 Моргунов Владимир Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 образования "Санкт-Петербургский горный  
 университет императрицы Екатерины II"  
 (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: Santos D. A. et al. *Investigation of  
 particle dynamics in a rotary drum by means of  
 experiments and numerical simulations using  
 DEM* // *Advanced Powder Technology*. - 2016. -  
 Т. 27. - N 2. - С. 692-703. RU 2745203 C1,  
 22.03.2021. GE 3913 B, 25.08.2006. SU 1472800  
 A1, 15.04.1989. CN 202903075 U, 24.04.2013. RU  
 2748565 C1, 26.05.2021. Бачериков И.В. (см.  
 прод.)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА  
 СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА И ТОЛЩИНЫ АКТИВНОГО СЛОЯ В РЕЖИМЕ КАЧЕНИЯ

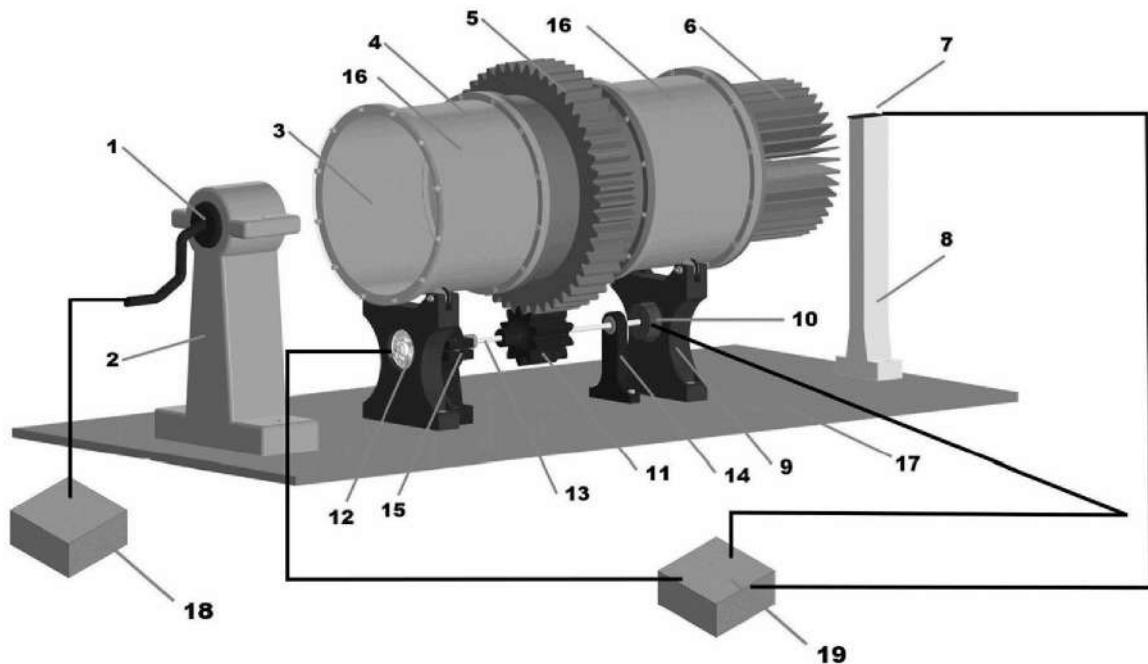
(57) Реферат:

Изобретение относится к устройствам  
 измерения динамического угла естественного  
 откоса сыпучего материала и толщины активного  
 слоя в режиме качения может быть использована  
 в металлургической, химической, цементной,  
 пищевой и других отраслях промышленности.  
 Устройство за счет поддержания постоянной  
 заданной скорости вращения барабана, записи и

обработки видео движения материала в барабане  
 достигается определение динамического угла  
 естественного откоса сыпучего материала и  
 толщины активного слоя в режиме качения.  
 Технический результат - создание устройства для  
 определения динамического угла естественного  
 откоса сыпучего материала и толщины активного  
 слоя в режиме качения. 4 ил.

R U 2 8 4 9 7 2 5 C 1

R U 2 8 4 9 7 2 5 C 1



Фиг. 3

(56) (продолжение):

Определение угла естественного откоса сыпучих материалов / И.В. Бачериков, Б.М. Локштанов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. - 2016. - N 214. - С. 167-177. - EDN WAXVSZ.

Р У 2 8 4 9 7 2 5 С 1



(51) Int. Cl.  
*G01B 5/24* (2006.01)  
*G01N 33/24* (2006.01)

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC  
*G01B 5/24* (2025.08); *G01N 33/24* (2025.08)

(21)(22) Application: 2025116627, 17.06.2025

(24) Effective date for property rights:  
17.06.2025

Registration date:  
28.10.2025

Priority:

(22) Date of filing: 17.06.2025

(45) Date of publication: 28.10.2025 Bull. № 31

Mail address:  
199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, Sankt-Peterburgskij Gornij Universitet, Patentno-litsenzionnyj otdel

(72) Inventor(s):

Fedorova Elmira Rafaelevna (RU),  
Morgunov Vladimir Viktorovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe biudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi universitet imperatritys Ekateriny II» (RU)

R U 2 8 4 9 7 2 5 C 1

(54) DEVICE FOR DETERMINING DYNAMIC ANGLE OF NATURAL SLOPE OF BULK MATERIAL AND THICKNESS OF ACTIVE LAYER IN LOADING MODE

(57) Abstract:

FIELD: measuring instruments.

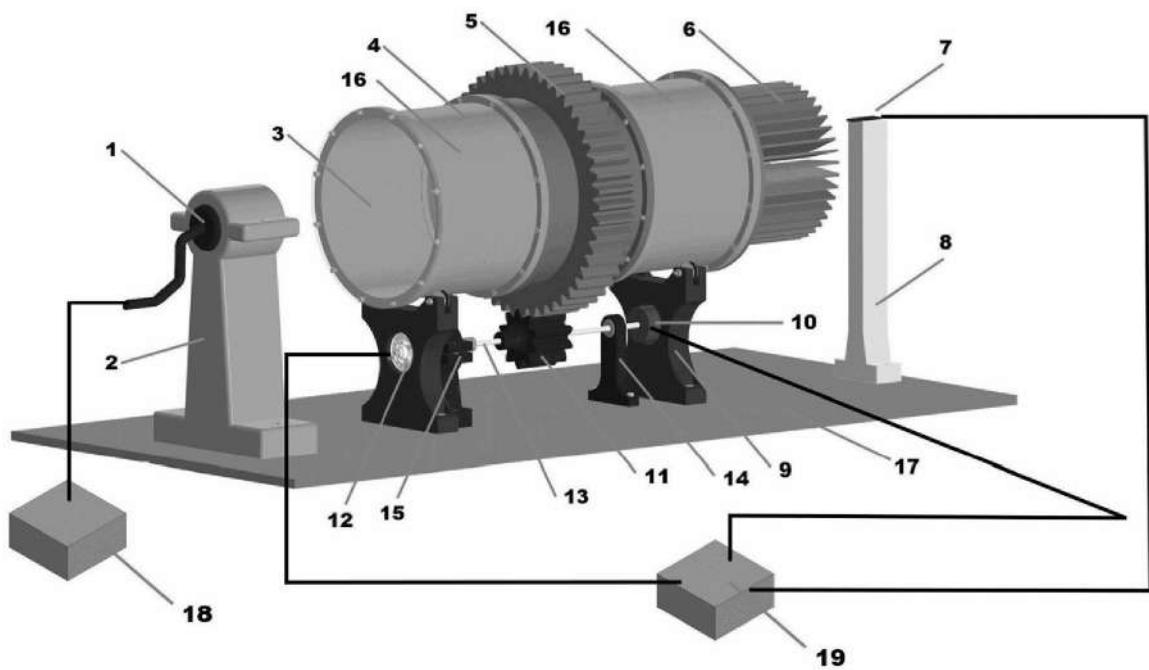
SUBSTANCE: invention relates to devices for measuring the dynamic angle of natural slope of bulk material and the thickness of the active layer in rolling mode, which can be used in metallurgical, chemical, cement, food and other industries. By maintaining a constant predetermined drum rotation speed and recording and processing video of the material

movement in the drum, the device determines the dynamic angle of repose of bulk material and the thickness of the active layer in rolling mode.

EFFECT: creation of a device for determining the dynamic angle of natural slope of bulk material and the thickness of the active layer in rolling mode.

1 cl, 4 dwg

R U 2 8 4 9 7 2 5 C 1



Фиг. 3

R U 2 8 4 9 7 2 5 C 1  
R U 2 8 4 9 7 2 5

R U 2 8 4 9 7 2 5 C 1

Изобретение относится к устройствам измерения динамического угла естественного откоса сыпучего материала и толщины активного слоя в режиме качения может быть использована в металлургической, химической, цементной, пищевой и других отраслях промышленности.

- 5 Известно устройство для определения динамического угла откоса (прибор Меринга - Баранова) [Баранов П. А., Строганова З. И. - В кн. трудов ВИУА, 1955, вып. 17, с. 38-42], которое представляет собой пространственный угол, образованный тремя плоскостями из деревянных досок. В передней части прибора расположены вертикальные стенки, между которыми размещен цилиндрический канал диаметром 10 10 мм, из которого сыпучий материал высыпается на горизонтальную плоскость, формируя конус насыпи.

Недостатком данного устройства является небольшой диаметр канала для подачи сыпучего материала, что ограничивает применимость устройства сыпучими материалами сравнительно небольшого размера.

- 15 Известно устройство для измерения динамического угла естественного откоса и коэффициента когезии порошковых материалов - анализатор GranuDrum, разработанный компанией GranuTools (<https://www.granutools.com/en/granudrum>). Устройство включает в себя вращающийся цилиндр с прозрачными торцевыми стенками, систему привода цилиндра, цифровую КМОП-камеру, систему подсветки.

- 20 Недостатком данного устройства является малый размер барабана, небольшое соотношение «длина/диаметр» барабана, что ограничивает применимость устройства по крупности материала, а также может привести к искажению результатов из-за влияния пристеночного эффекта.

- Известно устройство для определения динамического угла откоса (Kanakabandi, C.K.; 25 Goswami, T.K. Determination of Properties of Black Pepper to Use in Discrete Element Modeling. Journal of Food Engineering 2019, 246, 111-118, doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.11.005.), включающее вращающийся барабан, редуктор, мотор и камеру.

- Недостатком данного устройства является малый размер барабана, небольшое соотношение «длина/диаметр» барабана, что может привести к искажению результатов 30 из-за влияния пристеночного эффекта.

- Известно устройство для определения динамического угла откоса, толщины активного слоя сыпучего материала и скорости частиц (Mellmann, J.; Specht, E.; Liu, X. Prediction of Rolling Bed Motion in Rotating Cylinders. AIChE Journal 2004, 50, 2783-2793, doi:10.1002/aic.10266.), включающее цилиндр, отверстие для загрузки, прозрачную 35 стеклянную панель, приводной двигатель, раму, отвес, камеру.

- Недостатком данного устройства является конструктивное исполнение приводной части с жёстким механическим соединением двигателя с барабаном, при котором 40 переменные нагрузки, возникающие при движении сыпучего материала, напрямую передаются на привод, что приводит к нестабильности угловой скорости вращения барабана и снижению точности определения параметров.

- Известно устройство для определения динамического угла откоса и поперечной скорости движения частиц (Santos, D.A.; Barrozo, M.A.S.; Duarte, C.R.; Weigler, F.; Mellmann, J. Investigation of Particle Dynamics in a Rotary Drum by Means of Experiments and Numerical Simulations Using DEM. Advanced Powder Technology 2016, 27, 692-703, doi:10.1016/japt.2016.02.027.) принятное за прототип, включающее вращающийся барабан, 45 электродвигатель, цифровой тахометр, опорные ролики, камеру технического зрения и систему освещения.

Недостатком данного устройства является монолитное исполнение барабана, такая

конструкция не дает возможность изменения геометрии отдельных участков барабана или их замену, что создает эксплуатационные сложности.

Техническим результатом является создание устройства для определения динамического угла естественного откоса сыпучего материала и толщины активного

5 слоя в режиме качения.

Технический результат достигается тем, что корпус выполнен из сегментов, которые выполнены в форме полого цилиндра, между ними с возможностью съема закреплено колесо зубчатой передачи, в передней части корпуса установлена с возможностью

съема прозрачная стенка, которая выполнена из органического стекла, напротив

10 которой на платформе закреплен с возможностью съема штатив, в котором закреплена web-камера, которая соединена с одноплатным компьютером, к торцевой части корпуса закреплена с возможностью съема стенка с лопастями, корпус установлен на стойки с роликовой опорой, в стойке с креплением закреплен двигатель, который через вал

15 соединен с шестерней зубчатой передачи, при этом один конец вала закреплен в стойке, а другой - в стойке с креплением, обе стойки закреплены с возможностью съема на платформе, на конце вала закреплен энкодер, напротив стенки с лопастями, на платформе закреплен с возможностью съема штатив, на котором закреплен с

15 инфракрасный датчик препятствий, при этом выходы энкодера и инфракрасного датчика препятствий соединены с входом микроконтроллера, выход которого соединен с входом

20 драйвера, выход которого соединен с входом двигателя, при этом микроконтроллер и драйвер установлены внутри управляющего блока.

Устройство для определения динамического угла откоса сыпучего материала и толщины активного слоя в режиме качения поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - общий вид устройства;

25 фиг. 2 - вид устройства спереди;

фиг. 3 - подключение блока;

фиг. 4 - структура управляющего блока;

1 - web-камера;

2 - штатив;

30 3 - прозрачная стенка;

4 - корпус;

5 - колесо зубчатой передачи;

6 - стенка с лопастями;

7 - инфракрасный датчик препятствий;

35 8 - штатив;

9 - стойка с роликовой опорой;

10 - энкодер;

11 - шестерня зубчатой передачи;

12 - приводной двигатель;

40 13 - вал;

14 - стойка;

15 - стойка с креплением;

16 - сегмент;

17 - платформа;

45 18 - одноплатный компьютер;

19 - управляющий блок;

20 - микроконтроллер;

21 - драйвер.

Устройство для определения динамического угла естественного откоса сыпучего материала и толщины активного слоя в режиме качения состоит из корпуса 4 (фиг. 1, 3), который состоит из сегментов 16, которые выполнены в форме полого цилиндра. Между сегментами 16 с возможностью съема закреплено колесо зубчатой передачи 5 (фиг. 1-3). В передней части корпуса 4 установлена с возможностью съема прозрачная стенка 3, выполненная из органического стекла. К торцевой части корпуса 4 закреплена с возможностью съема стенка с лопастями 6. Корпус 4 установлен на стойки с роликовой опорой 9. В стойке с креплением 15 закреплен двигатель 12 (фиг. 1-4), который через вал 13 соединен с шестерней зубчатой передачи 11. Вал 13, один конец которого закреплен в стойке 14, а другой - в стойке с креплением 15. Стойка 14 и стойка с креплением 15 закреплены с возможностью съема на платформе 17. На конце вала 13 закреплен энкодер 10. Напротив стенки с лопастями 6, на платформе 17 закреплен с возможностью съема штатив 8, на котором закреплен с инфракрасный датчик препятствий 7. Выходы энкодера 10 и инфракрасного датчика препятствий 7 соединены с входом микроконтроллера 20 (фиг. 4), выход которого соединен с входом драйвера 21. Выход драйвера 21 соединен с входом двигателя 12 (фиг. 1-3). Микроконтроллер 20 (фиг. 4) и драйвер 21 установлены внутри управляющего блока 19 (фиг. 3, 4). Напротив, прозрачной стенки 3 (фиг. 1-3) на платформе 17 закреплен с возможностью съема штатив 2, в котором закреплена web-камера 1. Web-камера 1 соединена с одноплатным компьютером 18.

Устройство для определения динамического угла естественного откоса сыпучего материала и толщины активного слоя в режиме качения работает следующим образом. Внутрь корпуса 4 (фиг. 1, 3) загружается сыпучий материал, путем съема стенки 6, затем стенку снова устанавливают. После чего корпус 4 закрепляют на стойки с роликовой опорой 9 (фиг. 1-3). Питание двигателя 12 (фиг. 1-4) осуществляется от внешнего источника на 24 В, который подключён к силовым входам драйвера 21 (фиг. 4). Двигатель 12 (фиг. 1-4) подключён к выходным клеммам драйвера 19. Управление драйвером осуществляется посредством цифровых выводов микроконтроллера 20 (фиг. 4), к которым подключены управляющие линии драйвера 21 (фиг. 4), которые передают ШИМ-сигналы и сигналы направления вращения. Управляющий блок 19 передает команды двигателю 12, который начинает вращать корпус 4 с определенной скоростью. При вращательном движении сыпучий материал может находиться в семи различных режимах движения. Для определения динамического угла естественного откоса сыпучего материала и толщины активного слоя необходимо, чтобы материал перешёл в режим качения, характеризующийся наличием: активного слоя на поверхности материала, граничной линии и пассивной области. Обработка изображения с web-камеры 1 производится на одноплатном компьютере 18 (фиг. 3). Для отслеживания скорости вращения используются энкодер 10 (фиг. 1, 3, 4) и инфракрасный датчик препятствий 7. Они передают сигналы на микроконтроллер 20 (фиг. 4), которые позволяют определить текущую скорость вращения корпуса 4 (фиг. 1, 3). Программное обеспечение микроконтроллера 20 (фиг. 4) принимает данные от датчиков и, с учётом заданного значения скорости, управляет драйвером 21. Задание скорости осуществляют путем загрузки программного обеспечения с персонального компьютера на микроконтроллер 20. Таким образом, обеспечивается поддержание постоянной скорости вращения барабана, необходимой для устойчивого режима качения материала.

Устройство за счет поддержания постоянной заданной скорости вращения барабана, записи и обработки видео движения материала в барабане достигается определение динамического угла естественного откоса сыпучего материала и толщины активного

слоя в режиме качения.

(57) Формула изобретения

Устройство для определения динамического угла естественного откоса сыпучего материала и толщины активного слоя в режиме качения, включающее вращающийся барабан, электродвигатель и камеру технического зрения, отличающийся тем, что корпус выполнен из сегментов, которые выполнены в форме полого цилиндра, между ними с возможностью съема закреплено колесо зубчатой передачи, в передней части корпуса установлена с возможностью съема прозрачная стенка, которая выполнена из органического стекла, напротив которой на платформе закреплен с возможностью съема штатив, в котором закреплена web-камера, которая соединена с одноплатным компьютером, к торцевой части корпуса закреплена с возможностью съема стенка с лопастями, корпус установлен на стойки с роликовой опорой, в стойке с креплением закреплен двигатель, который через вал соединен с шестерней зубчатой передачи, при этом один конец вала закреплен в стойке, а другой – в стойке с креплением, обе стойки закреплены с возможностью съема на платформе, на конце вала закреплен энкодер, напротив стенки с лопастями на платформе закреплен с возможностью съема штатив, на котором закреплен инфракрасный датчик препятствий, при этом выходы энкодера и инфракрасного датчика препятствий соединены с входом микроконтроллера, выход которого соединен с входом драйвера, выход которого соединен с выходом двигателя, при этом микроконтроллер и драйвер установлены внутри управляющего блока.

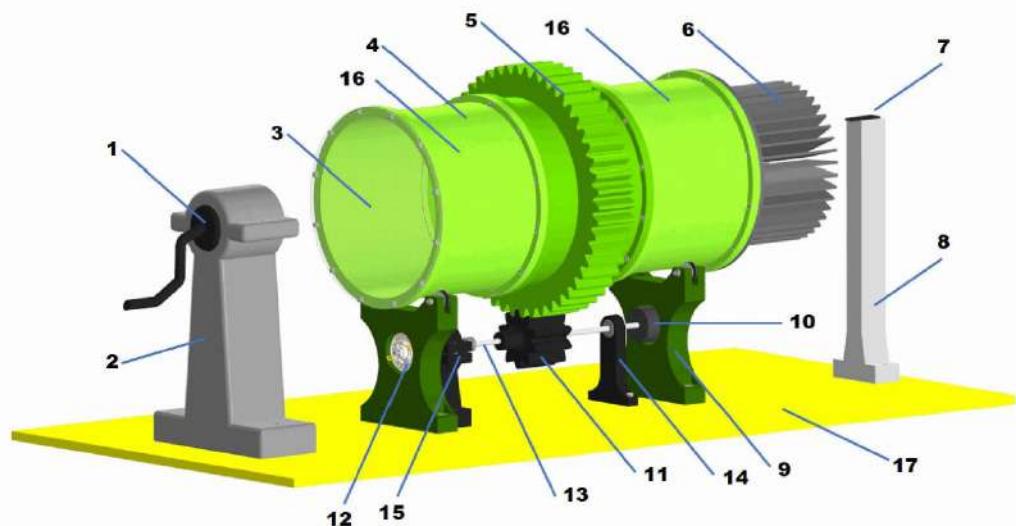
25

30

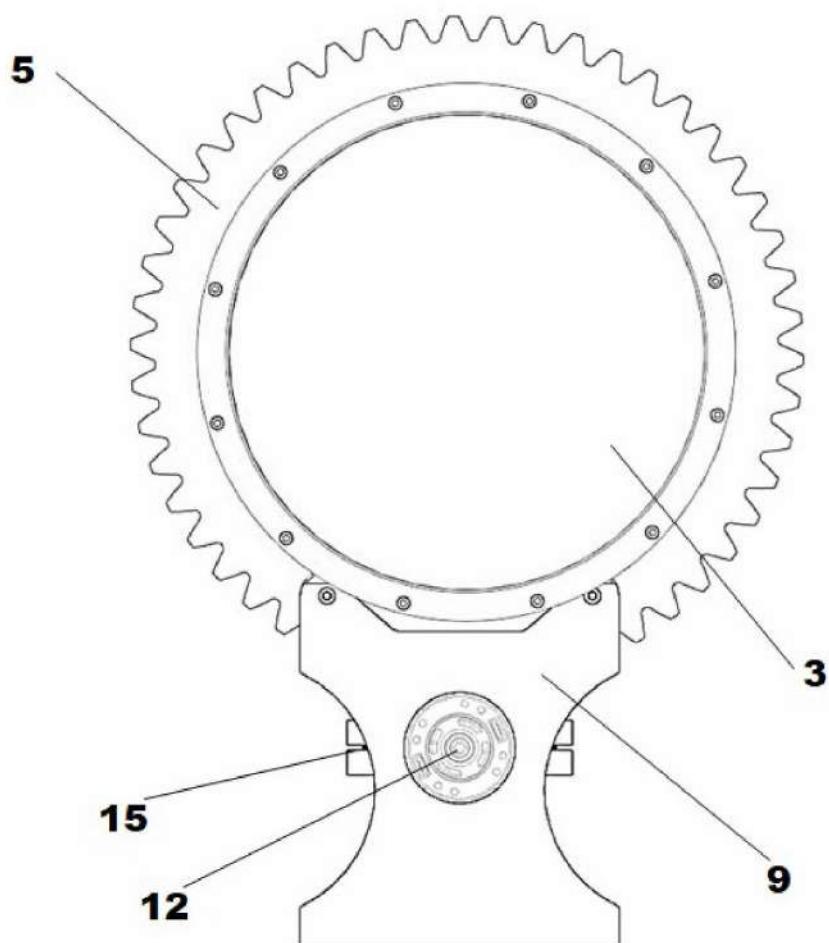
35

40

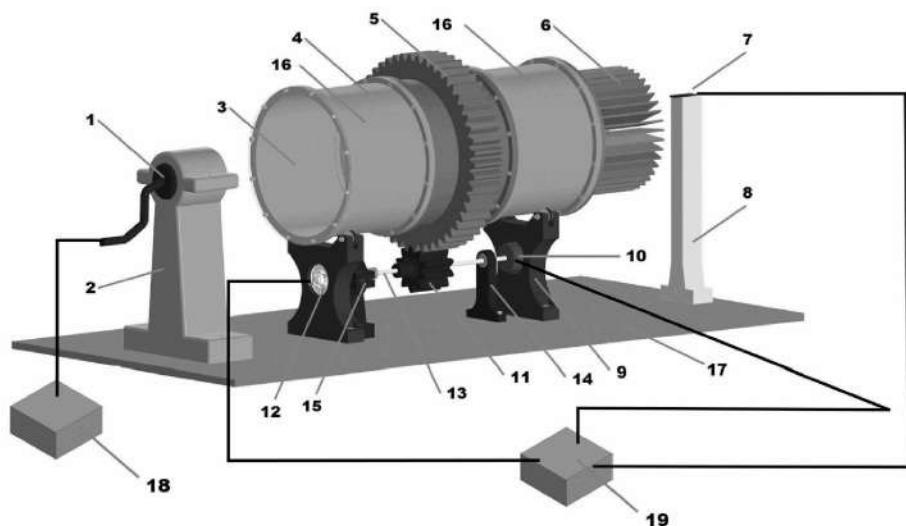
45



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



ФИГ. 4