

## ЛИТЕРАТУРА

1. Самородов В.Б. Проблемы и направление теоретических исследований в области гидрообъемно-механических трансмиссий в Украине // Механика и машиностроение. –1998.–№1.– С.105-109.
2. Самородов В.Б. Оптимизация передаточных отношений механической ступенчатой трансмиссии по критерию наилучшей тяговой динамики транспортной машины // Информационные технологии: наука, техника, технология, оборудование, здоровье. –Харьков, 1997. –С.371-377.
3. Самородов В.Б. Алгоритм оптимизации передаточных отношений механической ступенчатой трансмиссии по критерию наилучшей тяговой динамики гусеничной машины // Вісник ХДПУ. Збірник наукових праць.– Харків: ХДПУ.– 1999.–Вип 36. – С.135-140.
4. Самородов В.Б., Новикова Л.В., Полунин В.Г. О рациональном выборе передаточных отношений планетарных рядов гидрообъемно-механической трансмиссии транспортной машины // Конструирование и исследование тракторов.– Харьков: Вища школа.– 1985.– Вып.6.–С.45-48.
5. Таран И.А. Конструктивные параметры двухпоточных гидрообъемно-механических и электрических бесступенчатых трансмиссий шахтных дизелевозов / И.А. Таран // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 1. – С. 105 – 108.
6. Таран И.А. Система интегральных стохастических критериев для трансмиссий транспортных средств / И.А. Таран // Наукові нотатки. – 2010. – Вип. 28. – С. 519 – 523.
7. Таран И.А. Среднеинтегральный КПД бесступенчатых двухпоточных трансмиссий шахтного дизелевоза / И.А. Таран // Матеріали Всеукр. міжвуз. наук.-техн. конф. «Сучасні технології в промисловому виробництві». – Суми: Сумський державний університет, 2010. – Ч. II. – С. 155 – 156.

УДК 622.271.64, 62-791.2

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ГЛУБОКОВОДНОГО ГРУНТОРАЗРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Т.В. Шепель**, аспирант

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [sarat.dp@mail.ru](mailto:sarat.dp@mail.ru)

**А.В. Сычев**, инженер-проектировщик

ООО «Smart System», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [antonysychoy@gmail.com](mailto:antonysychoy@gmail.com)

**Аннотация.** В работе приведено обоснование инженерных решений по созданию устройства для исследования кинематики и динамики глубоководного грунторазрабатывающего оборудования применительно к канатно-ковшовым средствам пробоотбора научно-исследовательских судов типа «Профессор Водяницкий» и «Владимир Паршин».



*Ключевые слова:* кинематика, динамика, средства измерений, глубоководная добыча.

## MEASURING DEVICE FOR KINEMATIC AND DYNAMIC PARAMETERS INVESTIGATION APPLIED TO THE DEEP-SEA EARTHMOVING EQUIPMENT

**T. V. Shepel**, Postgraduate Student

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: [sarat.dp@mail.ru](mailto:sarat.dp@mail.ru)

**A.V. Sychev**, Engineer

Limited Liability Company «Smart System», Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail:  
[antonysychev@gmail.com](mailto:antonysychev@gmail.com)

**Abstract.** It is given the construction solutions of measuring device for kinematic and dynamic parameters investigation applied to the deep-sea dredging equipment used at the research vessels "Professor Vodyanitsky" and "Vladimir Parshyn".

*Keywords:* kinematics, dynamics, measuring device, deep-sea mining.

**Введение.** Основная часть мировых запасов стратегически важных видов минеральных ресурсов сосредоточена на дне морей и океанов. Борьба за первенство по их освоению была начата еще во второй половине прошлого века и продолжается до сих пор. Столь продолжительный период, в течение которого человечество пытается покорить морские глубины, связано с высоким уровнем сложности и новизной решаемых задач.

Особые условия работы глубоководных грунторазрабатывающих машин требуют новых подходов к прогнозированию рабочих нагрузок на их исполнительные органы. Поскольку проведение испытаний в реальных условиях эксплуатации машины связано с большими трудностями организации и проведения экспериментов, огромными капитальными затратами, а также риском нанесения урона окружающей среде, большинство существующих на сегодня методов расчета нагрузок на исполнительные органы базируются на основе модельных испытаний в лабораторных условиях. При этом используемый теоретический аппарат основан на ряде допущений, которые могут вносить различного рода погрешности при проведении расчетов. Для верификации положений теории резания глубоководных грунтов, а также с целью накопления экспериментальных данных, возникла необходимость в проведении исследований рабочих процессов глубоководного грунторазрабатывающего оборудования в реальных условиях эксплуатации, что требует разработки специальных измерительных средств.

**Целью работы** является обоснование инженерных решений по созданию измерительных средств для исследования кинематики и динамики глубоководного грунторазрабатывающего оборудования в реальных условиях эксплуатации.

**Материал и результаты исследований.** Измерительное оборудование разрабатывалось применительно к условиям проведения геологоразведочных работ в Черном море, глубина которого достигает 2245 м [1].

На сегодняшний день научно-исследовательский флот Украины включает всего два судна: НИС «Профессор Водяницкий», рис. 1, (Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, г. Севастополь) и НИС «Владимир Паршин» (Украинский научный центр экологии моря, г. Одесса).



Рисунок 1 – НИС «Профессор Водяницкий»

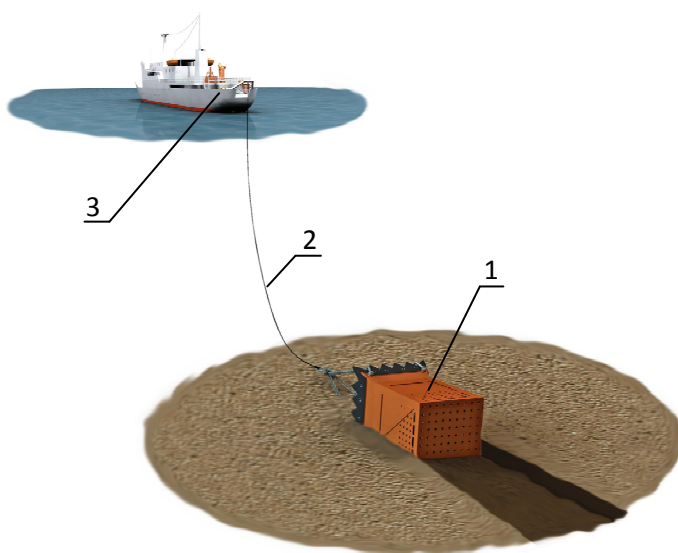


Рисунок 2 – Схема драгирования

Для отбора проб со дна моря на данных судах могут применяться скреперные драги, геологические трубки, пробоотборники грейферного типа и др. оборудование.

Наиболее близким к работе глубоководных грунторазрабатывающих машин является драгировочное оборудование (рис. 2), включающее скреперную драгу 1, подвешиваемую на канате 2 глубоководной лебедки с многослойной навивкой каната на барабан, установленной в кормовой части судна 3. Для проведения драгировочных работ на НИС «Профессор Водяницкий» используется стальной канат диаметром 6 и 13 мм, на НИС «Владимир Паршин» диаметр стыкованного стального каната составляет 9 и 13 мм [2, 3]. Используемые скреперные драги

емкостью 0,3 и 0,65 м<sup>3</sup> представляют собой рабочие органы ковшово-

го типа с одной открытой поверхностью, зубчатой режущей кромкой и перфорированной задней стенкой. К тяговому канату драга крепится двумя стропами посредством вертлюга. Продолжительность цикла драгирования при отборе проб с глубины около 2 000 м составляет в среднем 2 ч.

Таким образом, устройство для исследования кинематики и динамики скреперной драги должно выдерживать давление окружающей среды более 220 атм. и работать от автономного источника питания минимум 2 ч. При этом оно должно иметь средства записи измеряемых параметров.

Такое устройство было спроектировано и изготовлено в Национальном горном университете. В его состав входят гермобокс, электронная аппаратура и датчик измерения усилия натяжения каната.

Гермобокс (рис. 3) предназначен для размещения в нем электронной аппаратуры, ее изоляции от водной среды, защиты от высокого гидростатического давления и механических воздействий. Гермобокс состоит из цилиндрического корпуса, прижимной крышки, фланцевого диска и двух угольников для возможности его закрепления на драге. Прижимная крышка с корпусом стягиваются при помощи четырех шпилек. Гермобокс изготовлен из стали обыкновенного качества (Ст3) и рассчитан на давление до 250 атм. Наименьшая толщина стенки корпуса составляет 10 мм.

Для уплотнения зазора между корпусом гермобокса и прижимной крышкой использованы манжета и паронитовая прокладка. Схема уплотнения показана на рис. 4. Применение двойного уплотнения обусловлено следующими причинами. При действии высокого гидростатического давления существует риск выдавливания уплотнения через зазор. В высоконапорных гидроцилиндрах в качестве уплотнений для неподвижных соединений, как правило, используют резиновые уплотнения с предохранительными кольцами, кольца из фторопласта, металлические трубки, а также пластины из цветных металлов, которые при действии высокого давления деформируются, заполняя зазоры [4]. Однако такое конструктивное решение неприменимо для гермобокса со съемной крышкой, поскольку необходимо обеспечить доступ к электронным компонентам устройства после каждого цикла измерений.

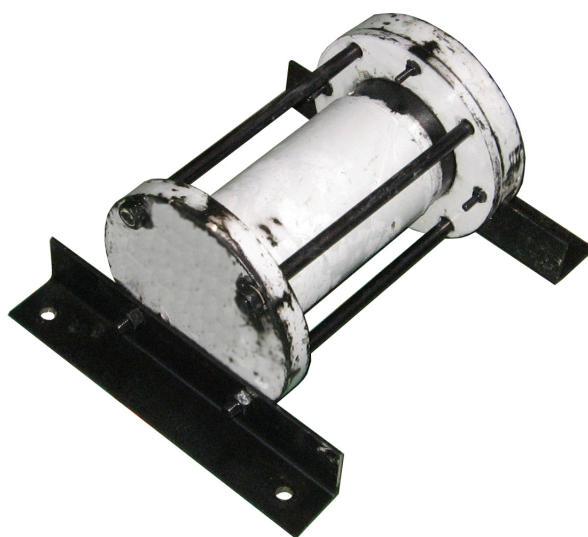


Рисунок 3 – Общий вид гермобокса конструкции НГУ

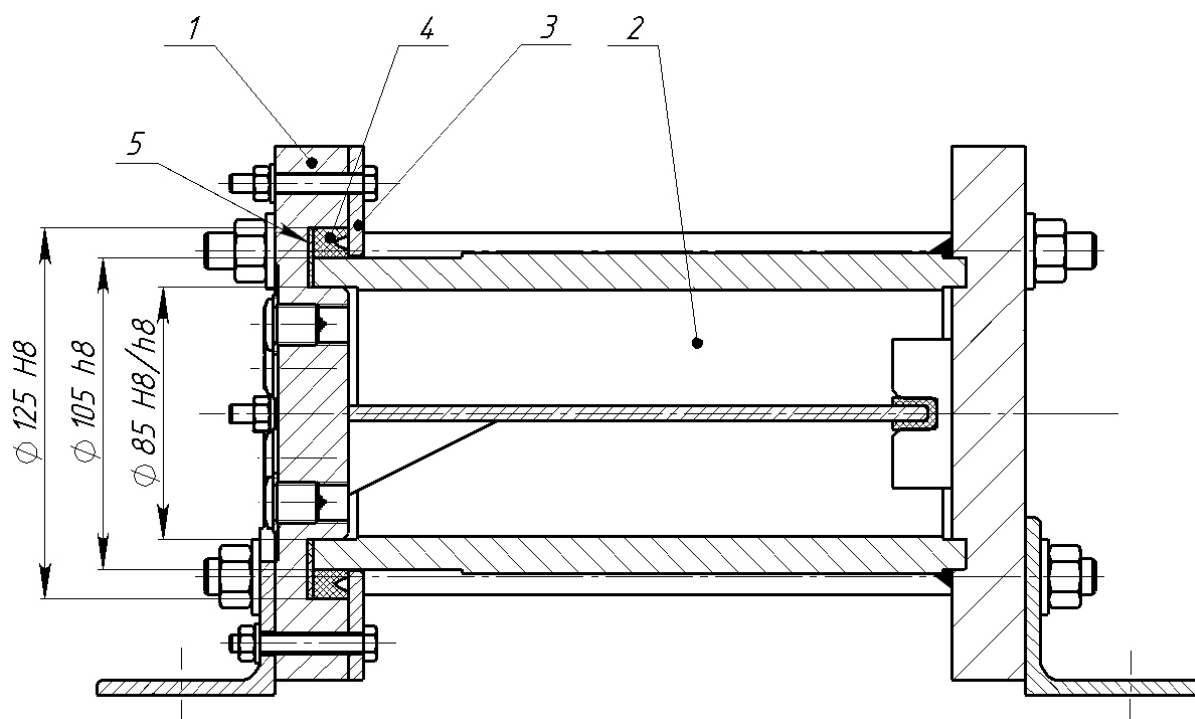


Рисунок 4 – Схема герметизации внутреннего объема гермобокса:  
 1 – крышка прижимная; 2 – корпус; 3 – диск фланцевый; 4 – манжета;  
 5 – паронитовая прокладка

Для разъемных (подвижных) соединений в гидроцилиндрах применяется манжетное уплотнение. Это требует высокого качества подготовки уплотняемых поверхностей, что является трудноосуществимым в условиях имеющегося у разработчика металлообрабатывающего оборудования. При проведении экспериментов на герметичность было установлено, что при использовании одного манжетного уплотнения происходит течь жидкости при давлении от нуля до нескольких первых десятков атмосфер, что обусловлено недостаточным качеством подготовки поверхностей под манжету. Дальнейшее увеличение давления обуславливает распор манжеты и течь прекращается.

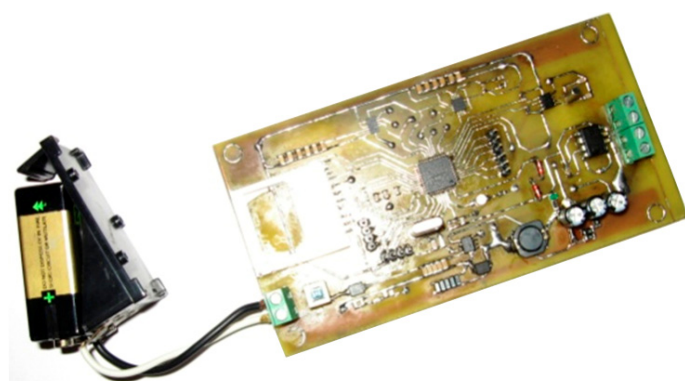


Рисунок 5 – Общий вид электронной платы

Использование паронитовой прокладки на торце при достаточном уровне затягивания шпилек исключает течь в диапазоне низких давлений. Такая схема уплотнения в составе разъемного соединения обеспечивает надежную изоляцию электроники от влаги при давлении вод-



ной среды от 0 до 250 атм.

Электронная аппаратура (рис. 5) включает гироскоп, трехосевой датчик ускорения, милливольтметр, операционный усилитель, микроконтроллер и карту памяти, размещенные на плате. Структурная схема электроаппаратуры приведена на рис. 6. Частота опроса датчиков задается программно (изначально была установлена частота 10 Гц). Питание осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 9В. Тип используемой карты памяти – SD. Данные на карте памяти записываются в виде таблицы в текстовом документе формата txt. Обработку данных из таблиц можно осуществлять в программных пакетах Excel и Mathcad.

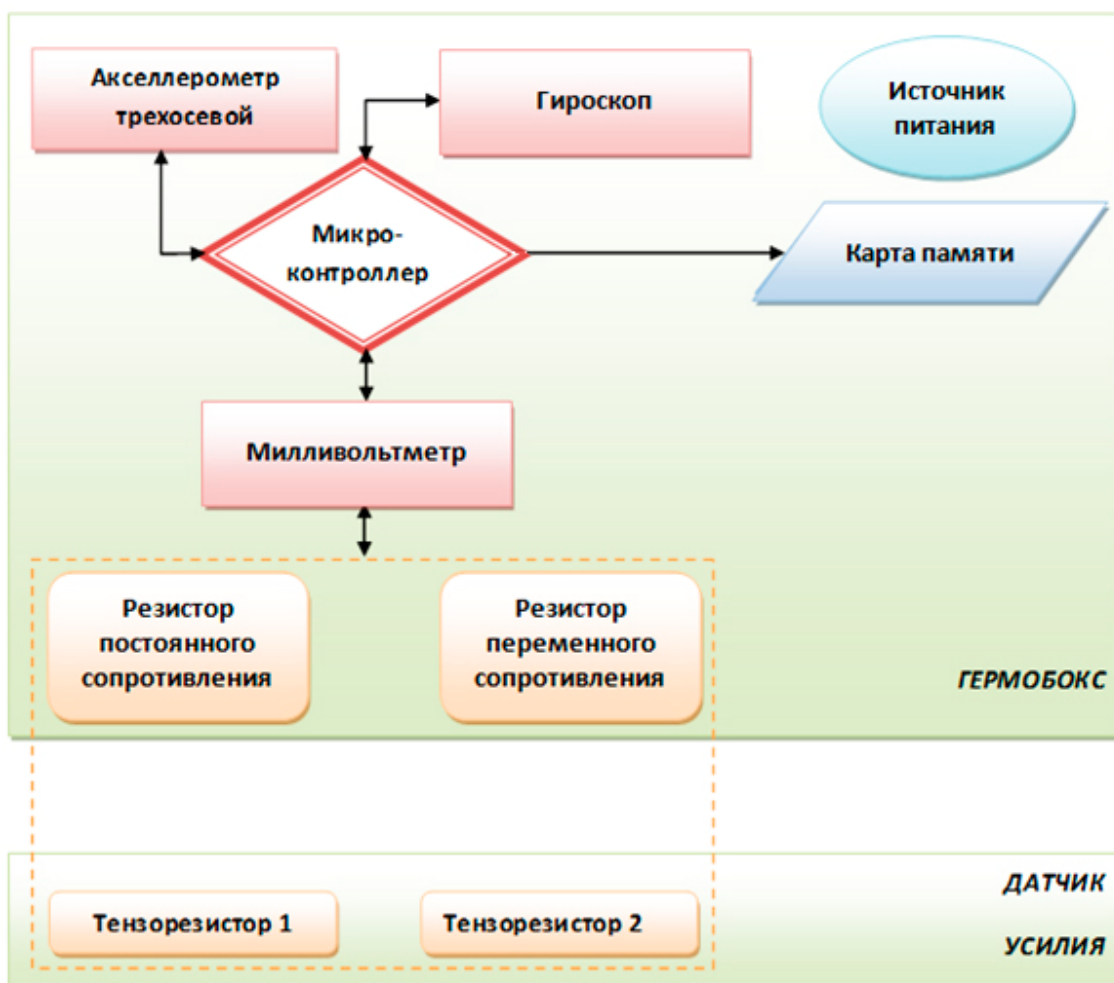


Рисунок 6 – Структурная схема электронного оборудования

Датчик усилия представляет собой два тензорезистора, наклеенных с противоположных сторон на упругий элемент (в качестве упругого элемента использована рессора от автомобиля «Москвич»). Канат закреплялся на рессоре в трех точках (в двух – с возможностью проскальзывания) по криволинейной траектории, так что при натяжении каната происходит деформирование рессоры, что приводит к

изменению сопротивления тензорезисторов. Последние вместе с резисторами постоянного и переменного сопротивления соединены в мостовую схему, причем тензорезисторы включены в смежные плечи для компенсации изменения сопротивлений при колебании температуры [5] и давления окружающей среды. С помощью резистора переменного сопротивления осуществляется регулирование величины начального разбаланса мостовой цепи. Резисторы постоянного и переменного сопротивлений размещены в гермобоксе. Сигнал от тензорезисторов к электронной аппаратуре передается через кабель-трос. Вывод проводов из гермобокса выполнен в виде штуцера, залитого внутри эпоксидной смолой.

Для защиты металлических поверхностей от агрессивного воздействия морской среды гермобокс был покрыт тремя слоями эмалевой краски с алюминиевым наполнителем. Датчик натяжения каната был покрыт защитным слоем силикона и помещен в резиновый кожух, изготовленный из мотоциклетной камеры. В болтовых соединениях были использованы детали из нержавеющей стали. Для деталей из черных металлов, которые не удалось заменить соответствующими деталями из коррозионностойких материалов, предусматривались такие же запасные. К таким деталям относятся шпильки из стали 40Х и угольники из Ст3. Также предусмотрены запасные манжета и паронитовая прокладка.

Тарировка разработанного электронного оборудования проводилась в два этапа. Задачей первого этапа являлось установление влияния гидростатического давления на показания тензоизмерительного оборудования. Для этого гермобокс с электроникой, кабель-трос и датчик усилия натяжения каната помещались в гидростат, заполненный водой (рис. 7, а). Повышение давления в гидростате осуществлялось при помощи ручного высоконапорного поршневого насоса ступенями по 10 атм. от 1 до 250 атм. с выдержкой по 5 мин. на каждой ступени. После проведения испытаний было установлено, что изменение давления окружающей среды на показания тензоизмерительного оборудования в пределах указанного диапазона варьирования не влияет.

Целью второго этапа тарировки являлось градуирование показаний тензоизмерительного оборудования в соответствии с усилием натяжения каната, создаваемого путем его растяжения на механическом прессе (рис. 7, б). Растягивающая нагрузка на канат передавалась ступенями по 1000 Н от 0 до 7000 Н. По результатам серии испытаний была построена кривая зависимости напряжения разбаланса

мостовой цепи от усилия натяжения каната. Для полученной функции было выведено уравнение регрессии с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,997$ . Максимальная погрешность измерений с использованием разработанного тензоизмерительного оборудования составляет 150 Н.

*а**б*

Рисунок 7 – Испытание и тарирование электроизмерительного оборудование в гидростате (*а*) и на механическом прессе (*б*)

Таким образом, технические характеристики разработанного оборудования следующие:

- 1) масса устройства в сборе – 20 кг;
- 2) габаритные размеры, мм:
  - гермобокса – 200x375x185;
  - датчика усилия натяжения каната – 350x50x50;
- 3) максимальная глубина погружения – 2500 м;
- 4) диапазон измеряемых усилий натяжения каната – до 7000 Н;
- 5) максимальная погрешность измерений усилия – 150 Н;
- 6) продолжительность автономной работы – до 3 ч (может быть увеличена при установке дополнительной батареи);
- 7) напряжение аккумуляторной батареи – 9В;
- 8) частота записи сигналов – 10 Гц (может быть изменена).



Разработанное устройство было успешно испытано на глубинах более 1800 м при проведении драгировочных работ в ходе морских экспедиционных исследований в Черном море на НИС «Профессор Водяницкий» (73-й рейс, 7-17 июня 2013 г.). Гермобокс при помощи болтовых соединений был надежно закреплен на задней стенке внутри скреперной драги объемом 0,3 м<sup>3</sup>. Датчик натяжения каната был установлен на стропе с использованием канатных зажимов. В результате проведенных исследований были получены новые сведения о кинематике скреперной драги во время драгирования, определено усилие натяжения каната при выполнении спуско-подъемных операций и при копании донных осадков. Эти данные позволили получить ценную информацию о рабочих процессах глубоководных грунтообрабатывающих машин в реальных условиях эксплуатации, а также выявить неблагоприятные режимы работы драгировочного оборудования НИС «Профессор Водяницкий», при которых возрастает риск преждевременного выхода из строя гибкого тягового органа и утери погружного оборудования.

**Вывод.** Предложенные в работе инженерные решения позволили создать автономное устройство для исследования кинематики и динамики глубоководных грунтообрабатывающих машин, которое было изготовлено и успешно испытано в ходе экспедиционных исследований в Черном море на НИС «Профессор Водяницкий».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шнюков Е.Ф. Минеральные богатства Черного моря / Е.Ф. Шнюков, А.П. Зиборов. – Киев: «Карбон-ЛТД», 2004. – 290 с.
2. Проблема сапропелей Черного моря. – Киев: ОМГОР, 2010. – 148 с.
3. Газово-грязевой вулканизм Керченско-Таманского сектора Черного моря. – Киев: ОМГОР, 2011. – 136 с.
4. Марутов В.А. Гидроцилиндры: конструкции и расчет / В.А. Марутов, С.А. Павловский. – М.: Машиностроение, 1966. – 170 с.
5. Козлов И.А. Исследование прочности деталей машин при помощи тензодатчиков сопротивления / И.А. Козлов, В.Г. Баженов, В.В. Матвеев, В.М. Лещенко. – Киев: «Техника», 1967. – 205 с.