

УДК 620

UDC 620

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**КОНСТРУКЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПЛОТНОСТИ И ДАВЛЕНИЯ  
НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ (ДНП)  
НЕФТЕПРОДУКТОВ****CONSTRUCTION OF EXPERIMENTAL  
INSTALLATION FOR RESEARCHING OF  
DENSITY AND SATURATED VAPOR  
PRESSURE (SVP) OF PETROLEUM PRODUCTS**

Харченко Павел Михайлович  
к.т.н., доцент, доцент кафедры  
SPIN-код 4075-3151, 1960324@mail.ru

Harchenko Pavel Mihailovich  
Candidate of Engineering sciences, associate professor  
SPIN-code 4075-3151, [1960324@mail.ru](mailto:1960324@mail.ru)

Тимофеев Виталий Павлович  
студент

Timofeev Vitaliy Pavlovich  
student

Чижов Даниил Сергеевич  
студент

Chizhov Daniil Sergeevich  
student

Лазарева Алина Андреевна  
студент  
*ФГБОУ ВПО Кубанский государственный  
аграрный университет, Краснодар, Россия*

Lazareva Alina Andreevna  
student  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Наиболее важными физическими свойствами, характеризующими вещество, являются плотность и давление насыщенных паров (ДНП). Это параметры необходимые при разработке новых технологических процессов в нефтеперерабатывающей и химической промышленности, проектировании трубопроводов, насосного оборудования, топливной аппаратуры и т.д. Существующие методы расчёта плотности вблизи и на линиях насыщения несовершенны, а нахождение аналитической зависимости ДНП нефтепродуктов от всех определяющих параметров связано с большими трудностями. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование и разработка методов расчёта плотности (удельного объёма) вблизи и на линиях насыщения, а также давления насыщенных паров бензиновых прямогонных фракций, полученных из нефтей трёх месторождений: Мангышлакского, Троицко-Анастасьевского и Западно-Сибирского. Выбор объектов исследования обусловлен необходимостью создания методов расчёта плотности и ДНП нефтепродуктов, полученных из нефтей различного группового углеводородного состава. Область параметров состояния в настоящей работе по температуре (20÷320°C) и давлению (0,03÷30 МПа) обеспечивает возможность исследования бензиновых фракций до сверхкритических областей. Измерение плотности и ДНП нефтяных фракций осуществлено с помощью специально созданной для этой цели экспериментальной установки

The most important physical properties that characterize the substance are density and saturated vapor pressure (SVP). These parameters are required for the development of new technical processes in the petroleum and chemical industries, design of pipelines, pumping and fuel equipment, etc. Existing methods for calculating of density near and on the saturation lines are imperfect, and finding of the analytic dependence of SVP of petroleum products from all defining parameters associated with great difficulties. The purpose of present work is an experimental research and development of methods for calculating the density (specific volume) near and on saturation lines, and saturated vapor pressure of gasoline straight-run fraction derived from petroleums from three fields: Mangyshlaksy, Trinity-Anastasevsky and West Siberian. The choice of objects for research is due to the necessity of creating methods for calculating of density and SVP of oils obtained from various hydrocarbon group composition petroleums. Area of state parameters in the present work by temperature (20 ÷ 320°C) and pressure (0,03 ÷ 30 MPa) provides the ability to research gasoline fractions to supercritical regions. Measurement of density and SVP of petroleum fractions performed with help of a specially created for this purpose experimental installation

Ключевые слова: КОНСТРУКЦИЯ, УСТАНОВКА, ПЛОТНОСТЬ, ИЗМЕРЕНИЯ, ПОГРЕШНОСТЬ, РЕЗУЛЬТАТЫ, НЕФТЕПРОДУКТЫ, ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ, ПЬЕЗОМЕТР

Keywords: CONSTRUCTION, INSTALLATION, DENSITY, MEASUREMENTS, ERROR, RESULTS, PETROLEUM PRODUCTS, SATURATED VAPOR PRESSURE, PIEZOMETER

## 1. Принципиальная схема установки

Принципиальная схема установки показана на рис. 1.

Пьезометр 1 [3] расположен в жидкостном термостате 2. Внутри пьезометра находится мешалка с приводом от соленоида и образцовый платиновый термометр сопротивления. В качестве теплоносителя использовалась кремнийорганическая жидкость МПС-100, позволяющая работать при температурах от 20 до 320°C. Перемешивание теплоносителя в термостате осуществляется мешалкой 3, охлаждение – с помощью холодильника 4. Трубчатый нагреватель 5 используется в качестве регулирующего. Вокруг обечайки термостата намотаны два основных нагревателя 6.

В днище термостата расположен нагреватель 7. Для предотвращения оттоков тепла от пьезометра служит охранный нагреватель 8, намотанный на стойке пьезометра. Наружная поверхность термостата теплоизолирована слоем базальтовой ваты.

Постоянная температура в термостате поддерживается с помощью системы автоматического регулирования, датчиком которой является регулирующий платиновый термометр сопротивления 9. Измерение температуры в термостате осуществляется образцовым платиновым термометром сопротивления 10, типа ПТС-1 1 разряда по компенсационной схеме с использованием потенциометра Р 363-2 класса 0,002.

Пьезометр через капилляры сообщается с мембранным разделителем 11, являющимся нуль-индикатором системы измерения давления, вентилем-распределителем 12 и объёмомером 13.

Давление в пьезометре измеряется по компенсационному методу грузопоршневыми манометрами 14, типа МП-600, МП-60, МП-6 класса 0,05, а вблизи и ниже атмосферного – пружинными манометром и вакуумметром типа МО и ВО соответственно, класса 0,16. При давлениях ниже атмосферного к измерительной системе подключается сильфонный насос 15.

Для отделения масла грузопоршневого манометра от воды, используемой в качестве рабочей жидкости в нуль-индикаторе, установлен разделитель 16. Температура объёмомера, вентиля-распределителя, нуль-индикатора и всех коммуникаций поддерживается постоянной за счёт циркуляции воды термостата 17.

Для вакуумирования и заполнения пьезометра исследуемым веществом служат: вакуумный насос 18, расширительный сосуд 19 и вентиль 20.

Созданная экспериментальная установка позволяет проводить измерения плотности жидкости в диапазоне давлений от 0,03 до 30 МПа при температурах 20 – 320°C и давления насыщенных паров по статическому методу и методу изучения изотерм.

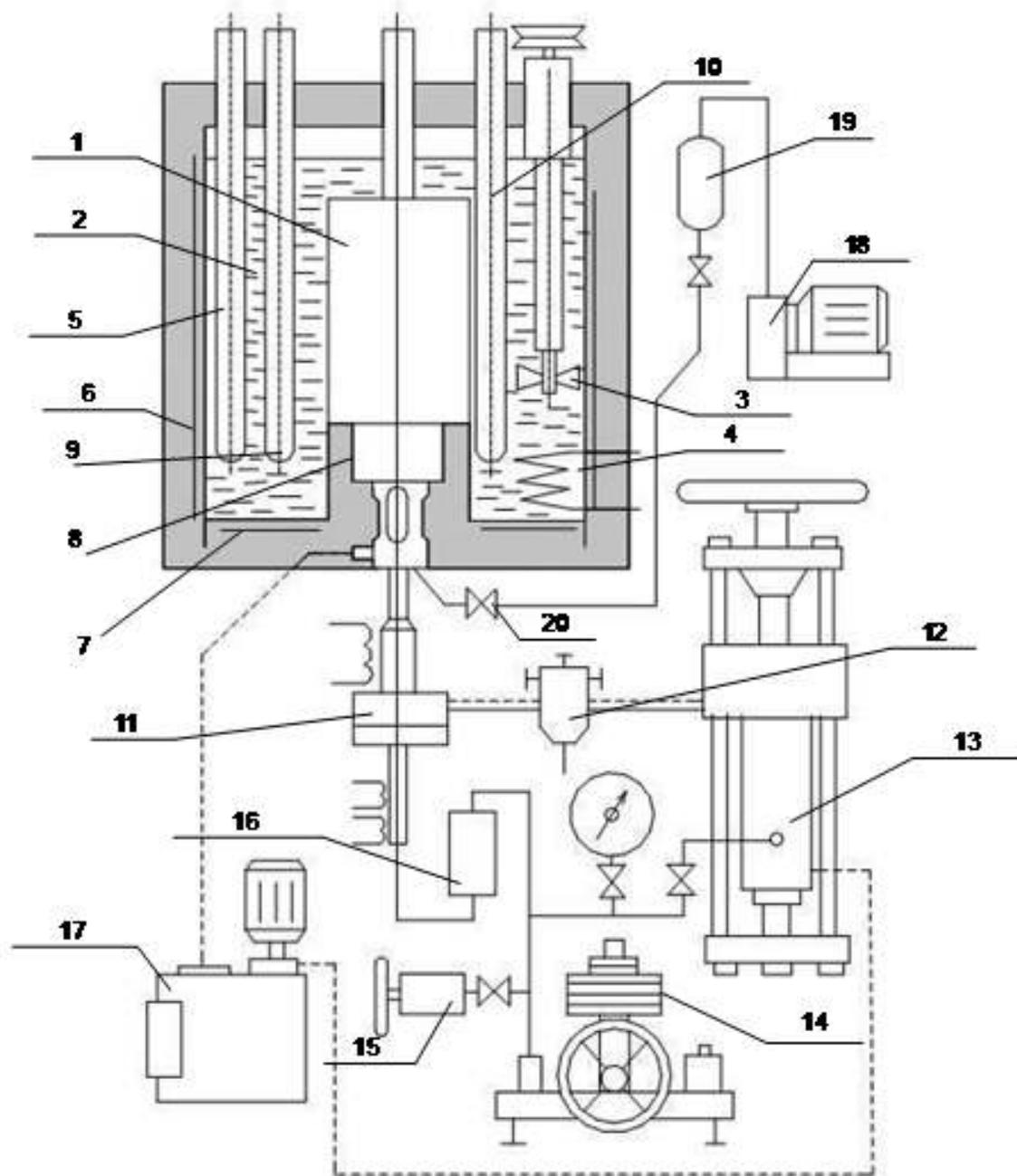


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

## 2. Элементы конструкции установки

2.1. Общая схема пьезометра и термометра представлена на рис. 2. Цилиндрический пьезометр 1 объёмом 110 см<sup>3</sup> изготовлен из жаропрочной нержавеющей стали. Внутри пьезометра в специальном кармане 2 расположен образцовый платиновый термометр сопротивления ПТС-10 класса 0,02 с номинальным сопротивлением 10 Ом. Для перемешивания исследуемого вещества служит секционная падающая мешалка 3 с электромагнитным приводом, изготовленная из нержавеющей фольги. Капилляры 4 и 5 используются при промывке полости пьезометра и заполнения его исследуемым продуктом. Пьезометр помещается в жидкостный термостат 6. В качестве теплоносителя применена кремнийорганическая жидкость ПМС-100, позволяющая работать при температурах от 293 К до 600 К. Для обеспечения контроля за температурой термостата служит второй образцовый платиновый термометр сопротивления 7, а для регулирования температуры – регулирующий платиновый термометр 8, типа ТСП-10, сопротивлением 46 Ом. Перемешивание теплоносителя в термостате осуществляется мешалкой 9, а охлаждение – с помощью холодильника 10. Трубчатый нагреватель 11, мощностью 0,2 кВт, используется в качестве регулирующего. Вокруг обечайки намотаны основные нагреватели 12 и 13, мощностью 1 кВт каждый.

В нижней части термостата расположен нагреватель 14 мощностью 0,5 кВт. Для предотвращения оттоков тепла с нижней части пьезометра служит нагреватель 15 мощностью 0,2 кВт. Наружная поверхность термостата теплоизолирована слоем базальтовой ваты.

Постоянная температура в термостате поддерживалась с помощью системы автоматического регулирования, датчиком которой являлся термометр 8. При изменении температуры в термостате сигнал разбаланса

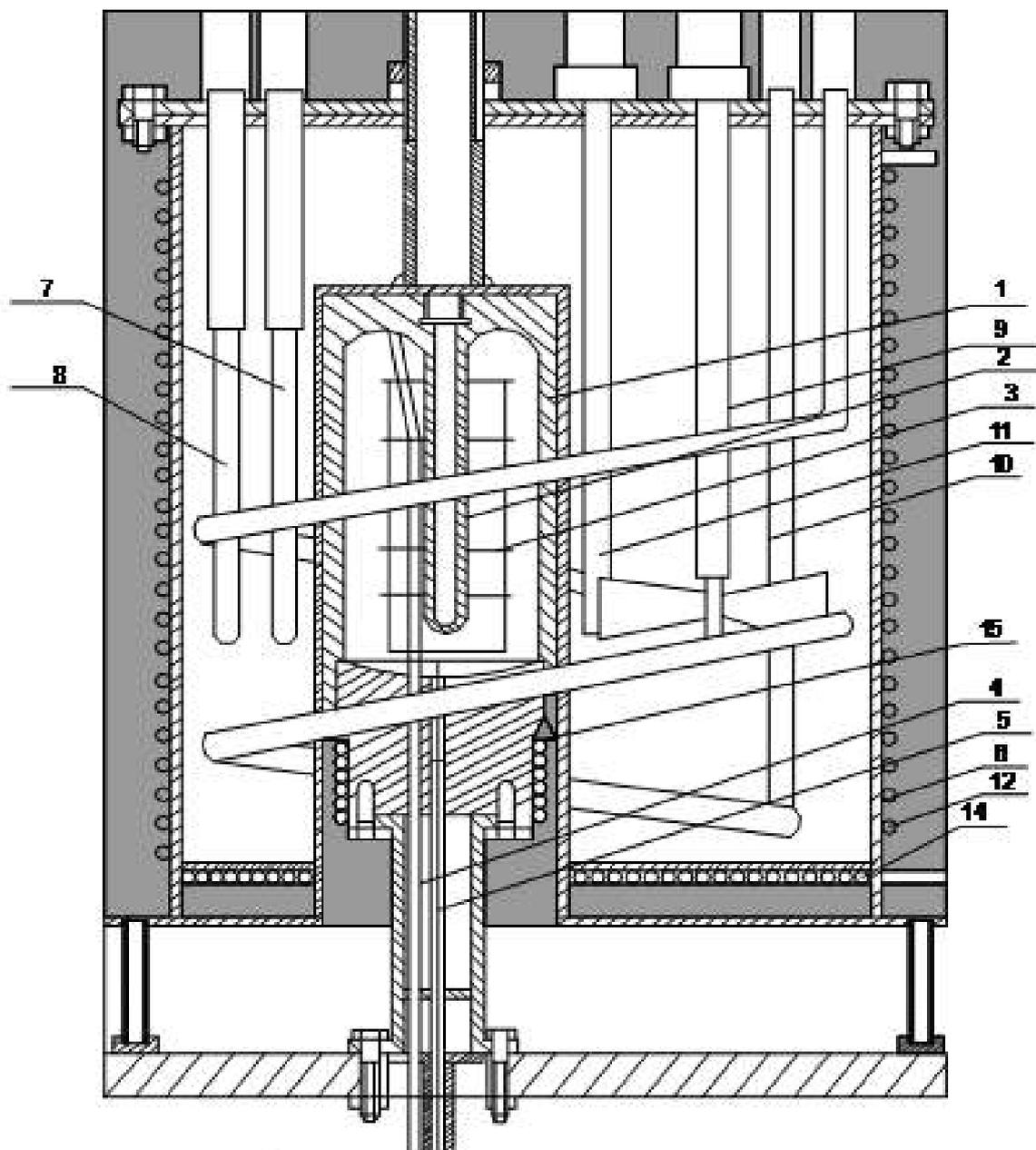


Рисунок 2 – Схема пьезометра и термостата

моста поступал на фотоусилитель Ф-116, где усиливался и подавался в цепь управления тиристорного регулятора температуры. Измерение температуры осуществлялось по компенсационной схеме с использованием потенциометра Р 363-2 класса 0,002 и образцовой катушки Р 331 1 класса. Колебание температуры в термостате не превышало 0,02 К.

2.2. В качестве нуль-индикатора в установке использован мембранный разделитель (рис. 3) [2]. Основным элементом конструкции разделителя являются фланцы 1 и 2, между которыми зажата мембрана 3, изготовленная из нержавеющей фольги толщиной 0,15 мм, диаметром 3,5 см. Сверху на корпус разделителя припаяна термостатирующая рубашка 4. В корпусе предусмотрено отверстие 5 для подачи воды из термостата. В винте 6 предусмотрено отверстие для впайки рабочего капилляра, идущего от пьезометра. В верхней части разделителя находится сердечник 7 привода секционной падающей мешалки, который приводится в движение от соленоида 8. Во фланце 1 имеется отверстие 9, соединяющее систему заполнения подмембранного пространства с атмосферой при поверке нулевого положения мембраны. Снизу во фланец 2 впаяна трубка 11, внутри которой находится шток 12 с ферритовым сердечником 13 на конце. Винт 14 и пружинка 15 служат для регулировки положения штока 12. Перемещение сердечника таким образом идентично перемещению мембраны. Это перемещение фиксируется цифровым вольтметром через дифференциально трансформаторную связь посредством соленоида 16. Направляющая втулка 17 служит для центровки штока 12. Чтобы исключить воздействие высоких температур на соленоид 16, использован водяной холодильник проточного типа 18. Во фланцах 1 и 2 предусмотрены отверстия 19 диаметром  $d = 0,5$  мм, выполненные в виде гексогональной решётки. Они служат для подведения жидкости в под- и

надмембранной пространство, и увеличения одностороннего перепада давления на мембрану. Допустимый односторонний перепад давления составляет 10 МПа. Чувствительность мембранного разделителя составляет 100 Па.

2.3. Заполнение пьезометра и изменение в нём количества исследуемой жидкости осуществляется с помощью плунжерного объёмомера (рис. 4). Основными элементами объёмомера являются корпус 1, изготовленный из стали X18H10T и перемещающийся в нём шток 2, представляющий собой цилиндр из стали 3X13, отполированный и покрытый слоем хрома  $\delta = 3$  мк. Чтобы обеспечить постоянстве температуры объёмомера, в его корпусе выполнены каналы 3, по которым прокачивается жидкость из термостата. Ниппель 4 используется при подводе этой жидкости. Для предотвращения утечек исследуемого вещества из объёмомера между штоком и корпусом предусмотрено сальниковое уплотнение 5 с гидрозатвором. Затворной жидкостью является масло из грузопоршневого манометра, которое подаётся к гидрозатвору через ниппель 5 под давлением опыта. Отверстие 7 служит для впайки капилляра, по которому подаётся исследуемое вещество.

Положение плунжера 8 контролируется по шкале с нониусом. Погрешность отсчёта перемещения штока составляет 0,05 мм, что соответствует погрешности измерения объёма  $\pm 0,02$  см<sup>3</sup>. Конструкция объёмомера позволяет работать с ним до давления 30 МПа.

2.4. Для создания вакуума в системе противодействия использован сильфонный насос (рис. 5) [8]. Внутри насоса находится сильфон 1, крепящийся с одной стороны к корпусу 2 насоса, с другой – к корпусу 3 подшипника 4. Вращением штока 5 осуществляется сжатие сильфона и создание вакуума внутри насоса.

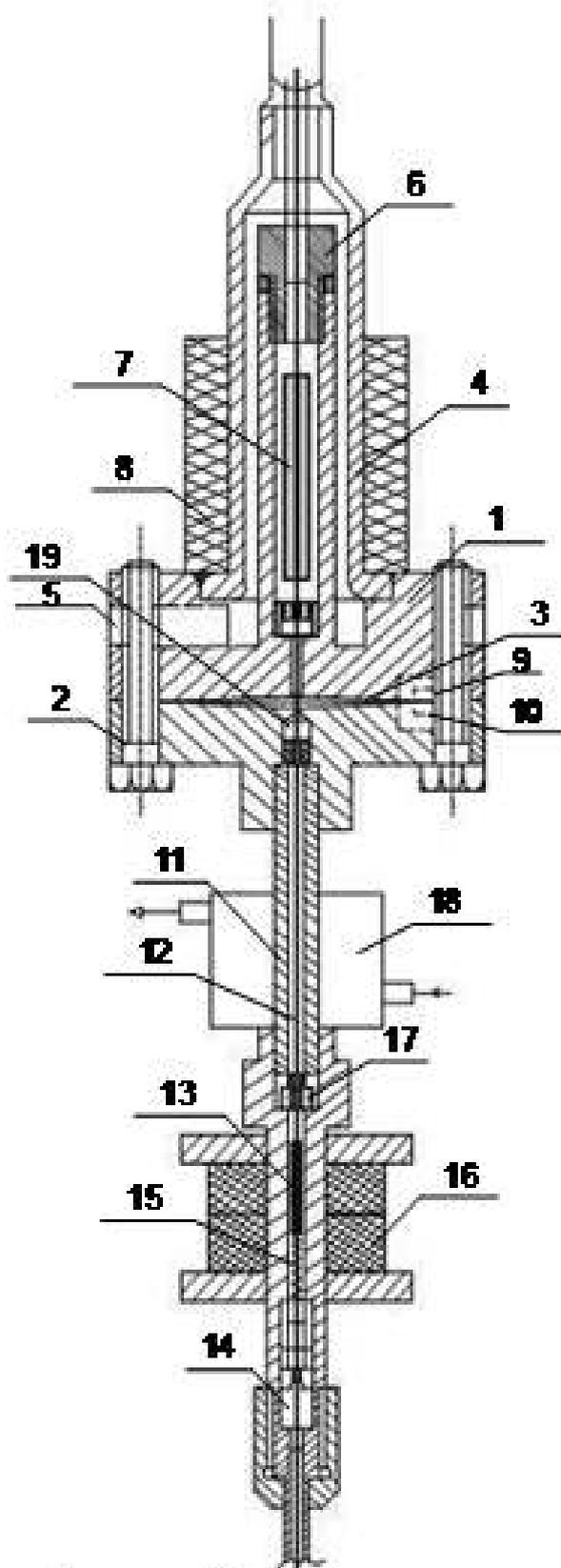


Рисунок 3 – Схема мембранного разделителя

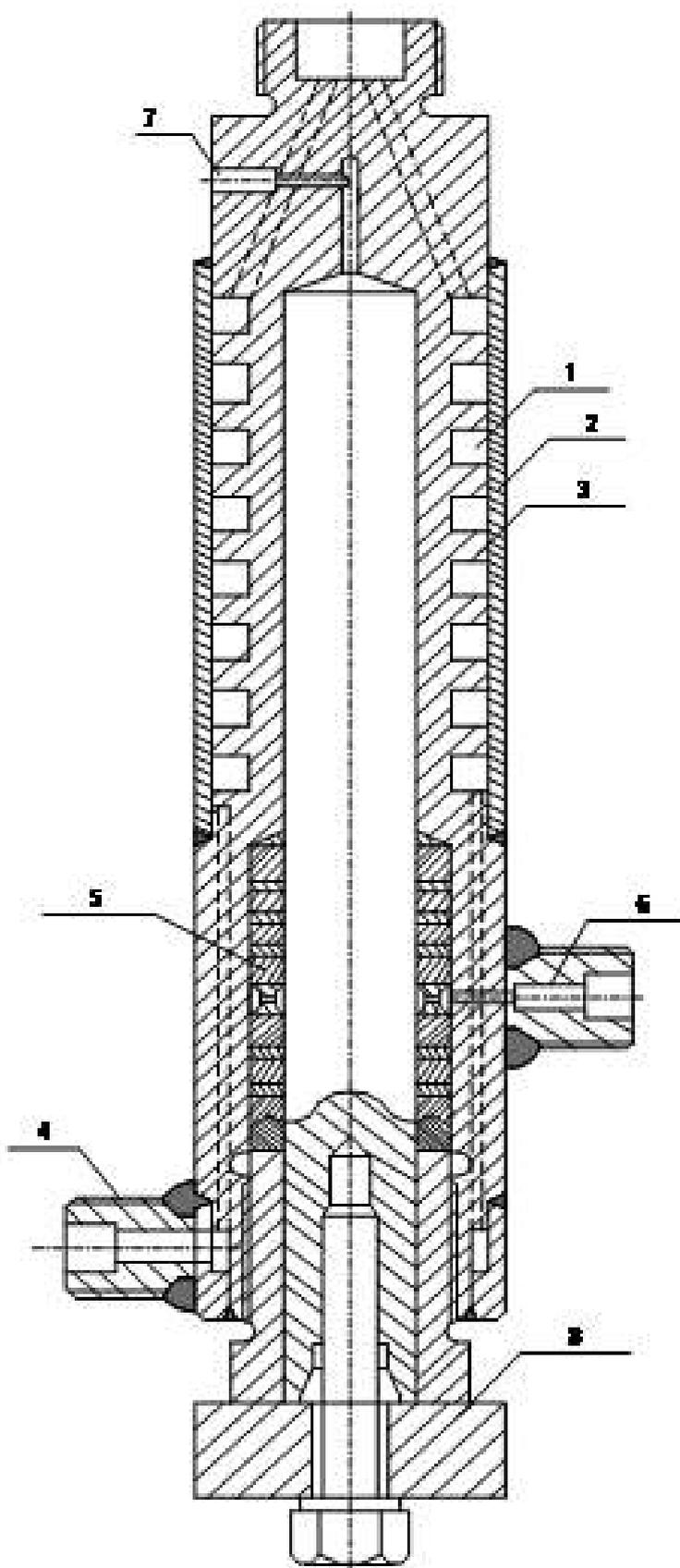


Рисунок 4 – Схема объёмомера

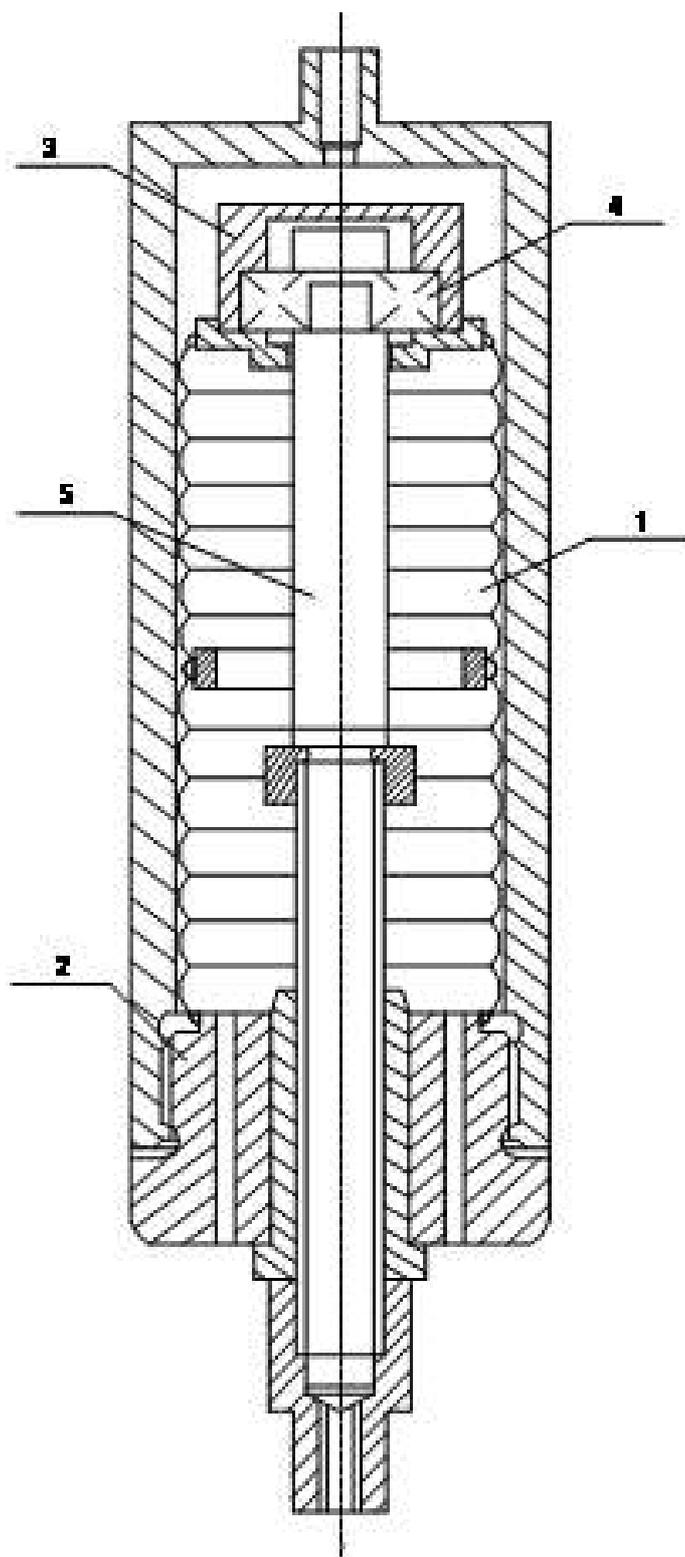


Рисунок 5 – Схема сифонного насоса

2.5. Вентиль-распределитель представлен на рис. 6. В корпусе 1 находятся три запорные иглы 2, 3 и 4. В отверстие 5 впаивается капилляр, сообщающий вентиль с полостью пьезометра, в отверстие 6 – капилляр, идущий к объёмомеру. Комбинируя между собой иглы 2, 3 и 4, можно сообщать между собой: объёмомер с пьезометром, пьезометр с выпускной иглой.

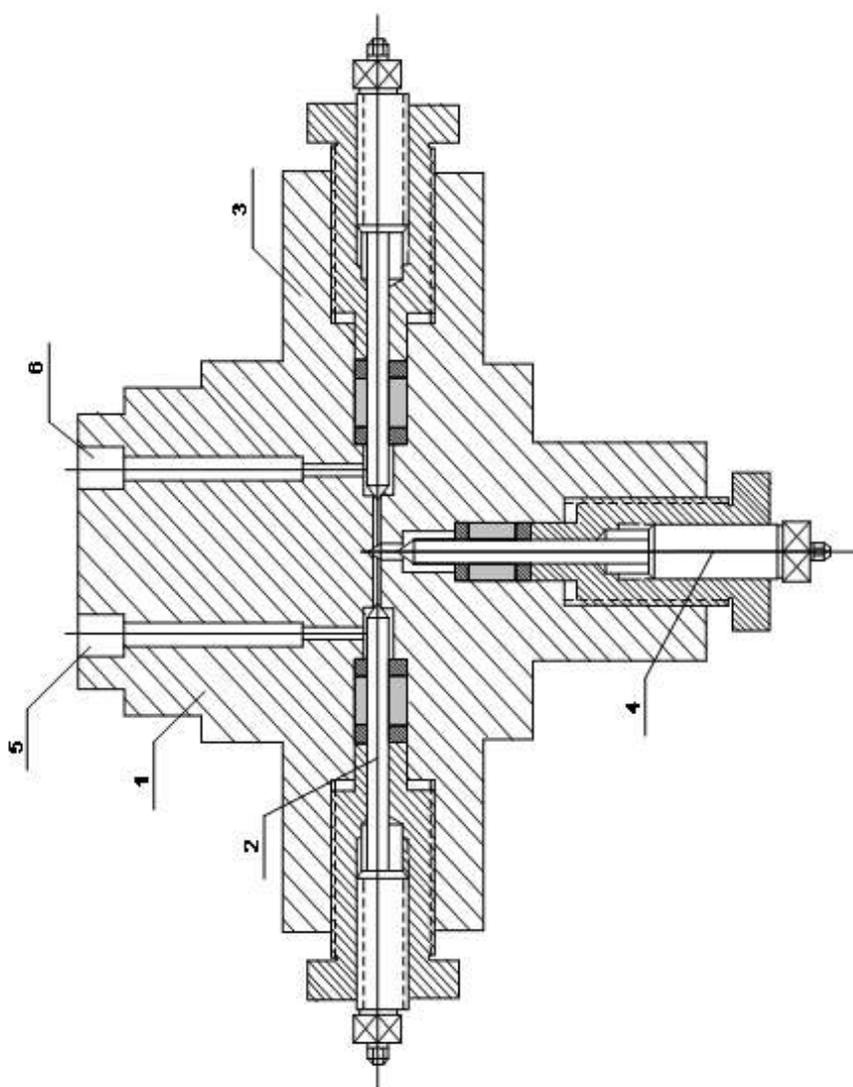


Рисунок 6 – Схема вентиля-распределителя

### Список литературы

1. Харченко П. М. Методы исследования давления насыщенных паров и экспериментальные установки/ П. М. Харченко, В. П. Тимофеев, Д. С. Чижов//Научный журнал КубГАУ. – Краснодар. – 2014. – №106(02).
2. А.с. СССР. Устройство для измерения давления/ П. М. Харченко (СССР). – №1413455; заявл. 26.02.86; опубл. 1.04.88.
3. А.с. СССР. Пьезометр к плотномеру для жидкости/ П. М. Харченко (СССР). – №1103115; заявл. 13.05.82; опубл. 15.03.84.
4. Харченко П. М. Определение критических параметров нефтяных фракций/ П. М. Харченко, В. П. Тимофеев//Научный журнал КубГАУ. – Краснодар. – 2014. – №103(09).
5. Харченко П. М. Обобщение экспериментальных исследований бензиновых нефтяных фракций/ П. М. Харченко, В. П. Тимофеев//Научный журнал КубГАУ. – Краснодар. – 2014. – №99(05).
6. Харченко П. М. Результаты экспериментальных исследований бензиновых нефтяных фракций/ П. М. Харченко, В. П. Тимофеев//Научный журнал КубГАУ. – Краснодар. – 2014. – №98(04).
7. Харченко П. М. Исследование плотности и давления насыщенных пород нефтяных фракций / П. М. Харченко, В. П. Тимофеев// Труды КубГАУ. – Краснодар. – 2012. – Т1. – №39. – С. 140 – 142.
8. Харченко П. М. Экспериментальное исследование плотности и давления насыщенных паров нефтепродуктов: дис. ... к.т.н. / П.М. Харченко; НИ им.Азизбекова А.Н. – Баку, 1988. – 118 с.
9. Харченко П. М. Экспериментальная установка и методики исследования плотности и ДНП агропромышленных сточных вод/ П. М. Харченко, В. В. Христинченко, Н. А. Блощинский// Труды КубГАУ. – Краснодар. – 2012. – Т1. – №37. – С. 238 – 242.
10. Пат. 2297459 Российская Федерация, МПК С21D6/04. Способ термической обработки деталей машин / И. А. Потапенко, П. М. Харченко. - №2005131682/02; заявл. 12.10.2005; опубл. 20.04.2007, бюл. №11.
11. Пат. 2181103 Российская Федерация, МПК С01В13/11. Термоадаптивный блок озонатор / В. К. Андрейчук, П. М. Харченко. - №99121820/12; заявл. 19.10.1999; опубл. 10.04.2002, бюл. №10.
12. Пат. 2299356 Российская Федерация, МПК F03D7/04. Ветроэнергетическая установка/ С. В. Оськин, Д. П. Харченко, П. М. Харченко. - №2006105560/06; заявл. 22.02.2006; опубл. 20.05.2007, бюл. №14.
13. Харченко П. М. Вентиляция производственных и коммунально-бытовых зданий/ П. М. Харченко, В. В. Христинченко, А. А. Тимофеюк// Труды КубГАУ. – Краснодар. – 2012. – Т1. – №37. – С. 271 – 275.
14. Харченко П. М. Расчёт вентиляции и отопления производственного здания/ П. М. Харченко, В. П. Тимофеев// Труды КубГАУ. – Краснодар. – 2013. – Т1. – №42. – С. 152 – 155.

### References

1. Harchenko P. M. Metodi issledovaniya davleniya nasischennih parov I eksperimentalnie ustanovki/ P. M. Harchenko, V. P. Timofeev, D. S. Chizhov//Nauchniy zhurnal KubGAU. – Krasnodar. – 2014. – №106(02).

2. A.s. SSSR. Ustroistvo dlya izmereniya davleniya/ P. M. Harchenko (SSSR). – №1413455; zayavl. 26.02.86; opubl. 1.04.88.

3. A.s. SSSR. Piezometr k plotnomeru dlya zhidkosti/ P. M. Harchenko (SSSR). – №1103115; zayavl. 13.05.82; opubl. 15.03.84.

4. Harchenko P. M. Opredelenie kriticheskikh parametrov neftyanikh frakciy/ P. M. Harchenko, V. P. Timofeev//Nauchniy zhurnal KubGAU. – Krasnodar. – 2014. – №103(09).

5. Harchenko P. M. Obobschenie eksperimentalnih issledovaniy benzinovih i neftyanikh frakciy/ P. M. Harchenko, V. P. Timofeev//Nauchniy zhurnal KubGAU. – Krasnodar. – 2014. – №99(05).

6. Harchenko P. M. Rezultati eksperimentalnih issledovaniy benzinovih i neftyanikh frakciy/ P. M. Harchenko, V. P. Timofeev//Nauchniy zhurnal KubGAU. – Krasnodar. – 2014. – №98(04).

7. Harchenko P. M. Issledovanie plotnosti i davleniya nasischennih porod neftyanikh frakciy/ P. M. Harchenko, V. P. Timofeev// Trudi KubGAU. – Krasnodar. – 2012. – T1. – №39. – S. 140 – 142.

8. Harchenko P. M. Eksperimentalnoe issledovanie plotnosti i davleniya nasischennih parov nefteproduktov: dis. ... k.t.n. / P.M.Harchenko; NI im.Azizbekova A.N. – Baku, 1988. – 188 s.

9. Harchenko P. M. Eksperimentalnaya ustanovka i metodiki issledovaniya plotnosti i DNP agropromishlennih stochnih vod/ P. M. Harchenko, N. A. Bloschinskiy// Trudi KubGAU. – Krasnodar. – 2012. – T1. – №37. – S. 238 – 242.

10. Pat. 2297459 Rossiiskaya Federaciya, MPK C21D6/04. Sposob termicheskoy obrabotki detaley mashin/ I. A. Potapenko, P. M. Harchenko. - №2005131682/02; zayavl. 12.10.2005; opubl. 20.04.2007, bul. №11.

11. Pat. 2181103 Rossiiskaya Federaciya, MPK C01B13/11. Termoadaptivniy blok ozonatora/ V. K. Andreychuk, P. M. Harchenko. - №99121820/12; zayavl. 19.10.1999; opubl. 10.04.2002, bul. №10.

12. Pat. 2299356 Rossiiskaya Federaciya, MPK F03D7/04. Vetroenergeticheskaya ustanovka/ S. V. Oskin, D. P. Harchenko, P. M. Harchenko. - №2006105560/06; zayavl. 22.02.2006; opubl. 20.05.2007, bul. №14.

13. Harchenko P. M. Ventilyaciya proizvodstvennih i kommunalno-bitovih zdaniy/ P. M. Harchenko, V. V. Hristichenko, A. A. Timofeyuk// Trudi KubGAU. – Krasnodar. – 2012. – T1. – №37. – S. 271 – 275.

14. Harchenko P. M. Raschet ventilyacii i otopleniya proizvodstvennogo zdaniya/ P. M. Harchenko, V. P. Timofeev// Trudi KubGAU. – Krasnodar. – 2013. – T1. – №42. – S. 152 – 155.