

3. Кланчук О.В. Гидравлические характеристики ГЖП в скважинах // Газовая промышленность. 1981. № 2. С. 35-38.
4. Копше Н.М., Корнилов Г.Г. Оценка предельного содержания газа в двухфазном потоке с пузырьковой структурой. // Изв. вузов. Нефть и газ. 1981. №7. С. 50-58.
5. Архангельский В.А.. Движение газированных нефтей в системе «скважина-пласт». М.: Изд-во АН СССР. 1958. 92 с.
6. Пудовкин М.А., Саламатин А.Н., Чугунов В.А. Температурные процессы в действующих скважинах. Казань: Изд-во Казанского университета, 1977. 168 с.
7. Чисхолм Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках: Пер. с англ. М.: Недра, 1986. 204 с.
8. Shagapov, V.Sh., Musakaev, N.G., Khabeev, N.S., Bailey, S.S. Mathematical modelling of two-phase flow in a vertical well considering paraffin deposits and external heat exchange // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2004. Vol. 47, No.4. Pp. 843-851.

*Александр Анатольевич ВАКУЛИН —  
декан физического факультета,  
доктор технических наук, профессор  
avakulin@utmn.ru*

*Евгений Александрович ХАМОВ —  
аспирант кафедры механики многофазных систем  
Тюменский государственный университет*

УДК 532.575.2

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

## **EXPERIMENTAL STAND FOR STUDYING OF THE MULTIPHASE STREAMS CURRENT AT VARIOUS TEMPERATURES**

*АННОТАЦИЯ. В работе описан созданный на кафедре механики многофазных систем ТюмГУ экспериментальный стенд для исследования многофазных потоков. На базе созданного проливного стенда можно разрабатывать, испытывать и поверять и одно и многофазные расходомеры.*

*SUMMARY. The present paper describes the experimental device for investigation of multiphase flows, created by the department of Multiphase Systems Mechanics at Tyumen State University. Development, testing and verification of single and multiphase flow can be conducted on the basis of established stands.*

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Измерительный стенд, многофазные потоки, расходомеры.*

*KEY WORDS. The measuring stand, multiphase streams, flowmeters.*

В связи с энергосбережением в последние десятилетия обострилась проблема учета теплоэнергоресурсов, в частности, горячей воды, нефти и газа, которые широко используются практически во всех промышленных и коммунально-бытовых отраслях России. Поэтому необходимо широкое внедрение соответствующих средств измерений, а также устройства для их испытаний и проведения допускового контроля, в частности, поверки средств измерений [1].



Проблема создания и совершенствования методов и средств измерения расхода и количества, несмотря на определенный прогресс, остается весьма актуальной, особенно создание надежного расходомера многофазного, в частности, нефтегазового, потока [2]. Для разнообразных испытаний любого расходомера, как правило, необходимо иметь соответствующий проливной стенд.

Цель данной работы состояла в создании проливного стенда для лабораторных испытаний и поверки многофазных и однофазных расходомеров. Фотография стенда, созданного на кафедре механики многофазных систем Тюменского государственного университета, приведена на рис. 1.

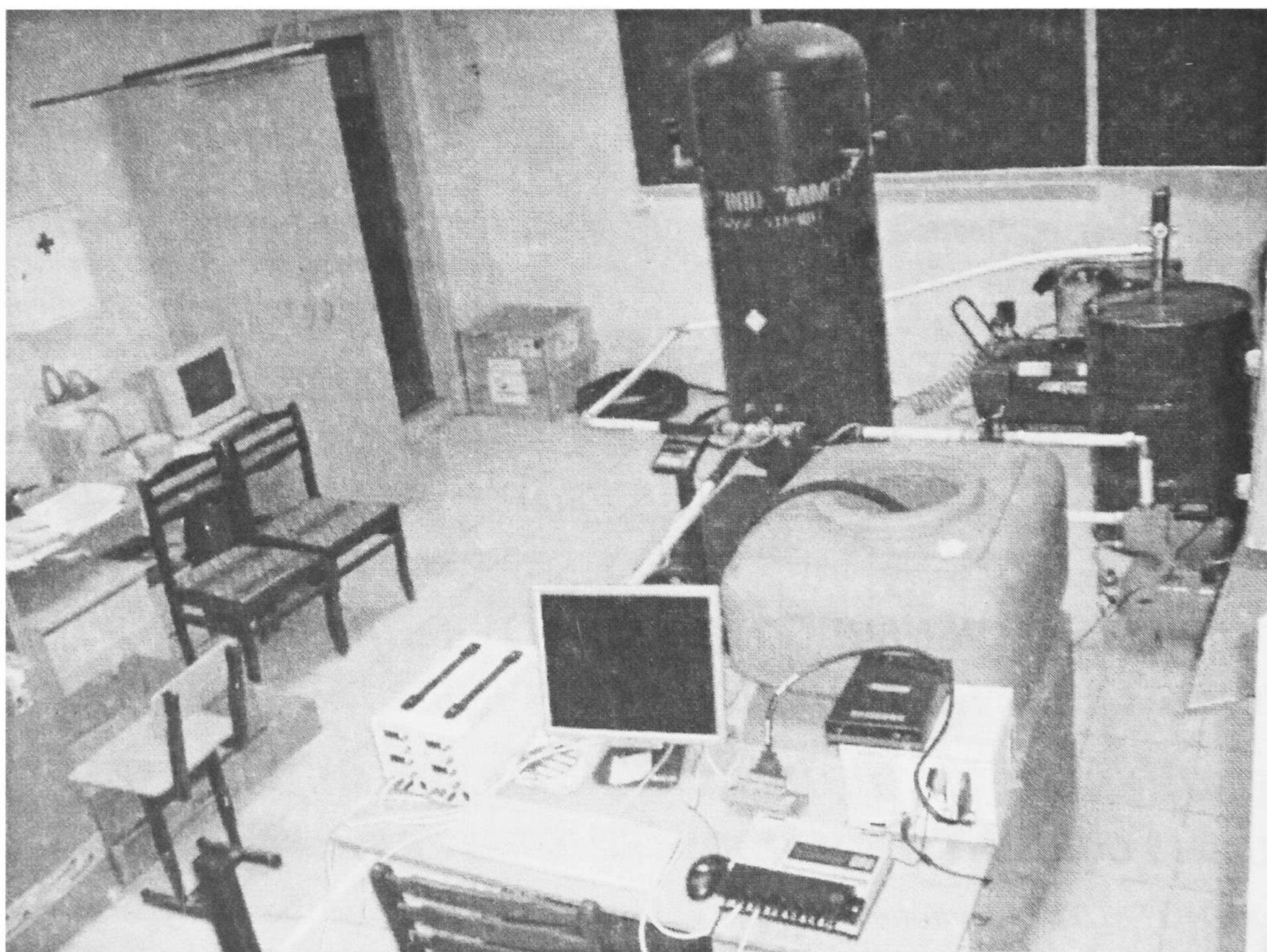


Рис. 1. Стенд многофазных потоков

Стенд состоит из двух частей. Первая часть представляет собой установку для приготовления многофазной смеси. Вторая — линию для испытаний и поверки многофазных расходомеров.

На рис. 2 представлена установка, предназначенная для приготовления многофазной смеси. В качестве компонентов смеси применялось масло трансформаторное по ГОСТ 982-80, как наиболее близкое по химическому составу к нефти Западной Сибири [3]. Это масло использовалось для имитации нефти. Для имитации пластовой воды использовалась водопроводная вода. Газовой фазой являлся сжатый воздух.

Установка состоит из сосуда высокого давления, в котором готовится многофазная смесь, установленного на электронных платформенных весах МЕРА-ВТП, оснащенных интерфейсом связи RS232/485, для передачи измеренных данных в компьютер. В сосуд подается вода из резервуара емкостью



500 л. с помощью насосной станции MARINA CAM40/22. Станция представляет собой центробежный насос для бесперебойного снабжения водой. После включения насоса вода заполняет сосуд. Для измерения расхода и количества воды, наряду с весами, используется преобразователь расхода вихревой электромагнитный ВЭПС-ПБ1-01, который преобразует значение расхода и объема в импульсный выходной электрический сигнал с частотой, прямо пропорциональной расходу. Значения минимального и максимального измеряемых расходов соответственно равны  $0,3 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $8,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Пределы допускаемой основной относительной погрешности при преобразовании расхода и объема в выходные электрические сигналы  $\pm 1,5\%$ .

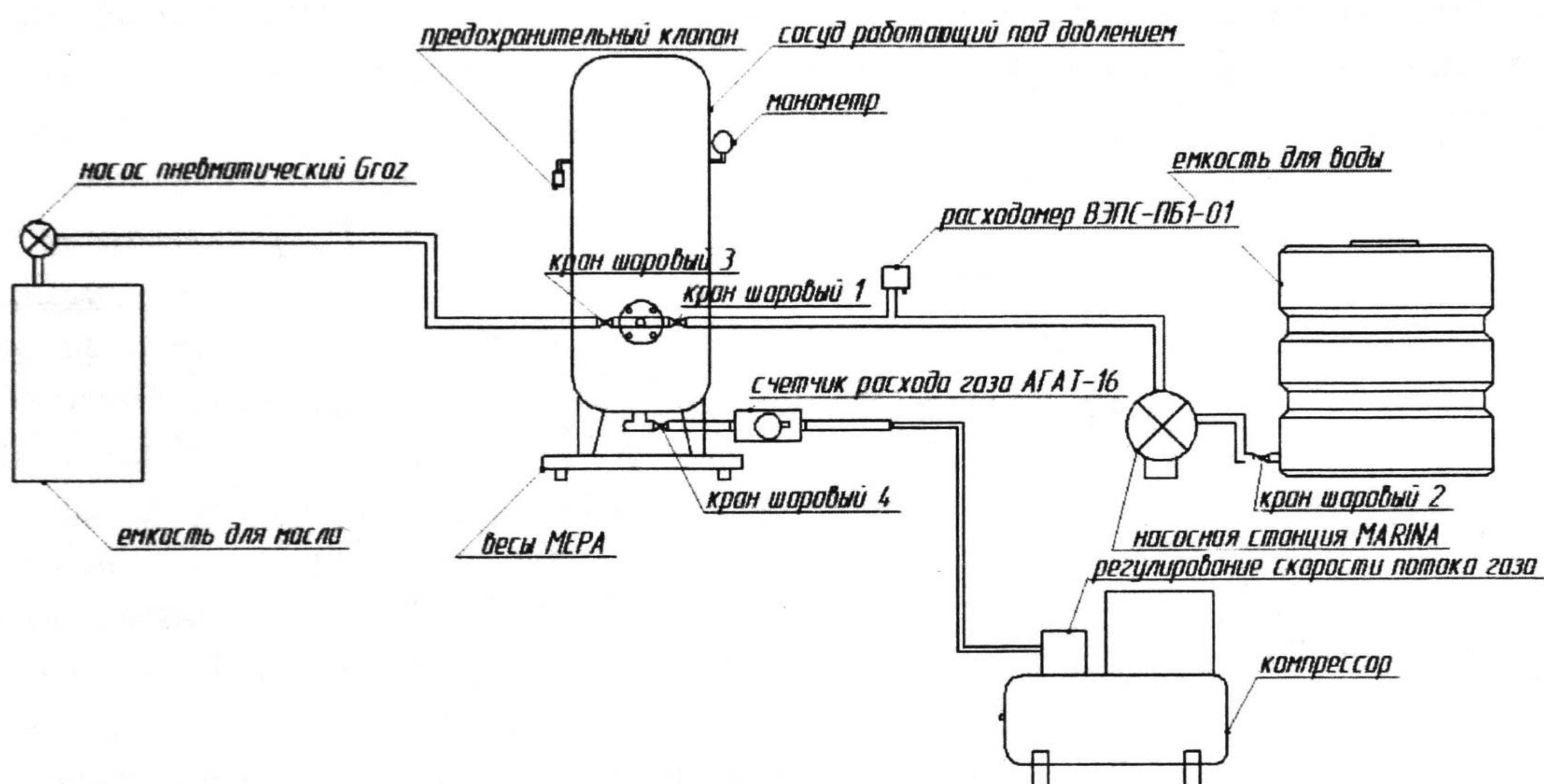


Рис. 2. Установка для приготовления многофазной смеси

Трансформаторное масло подается в сосуд из стандартной бочки объемом двести литров с помощью пневматического бочкового насоса, рабочее давление которого от 6 до 8 бар, фирмы Groz. Паспортная производительность насоса составляет 14л/мин. Количество поступившего в сосуд масла определяется по весам.

Воздух из компрессорной установки поступает в сосуд снизу, с тем, чтобы он «пробулькивался» сквозь жидкость, представляющую из себя водомасляную смесь. Для измерения количества воздуха используется ультразвуковой счетчик газа АГАТ-16. Этот счетчик является прибором учета потребления газа с функцией коррекции по температуре, для приведения измеренного объема газа к нормальным условиям по ГОСТ 2939-63. Информация о суммарном измеренном объеме потребленного газа отображается на табло счетчика. Предусмотрена возможность передачи этой информации в систему автоматизации по интерфейсу RS-232. Максимальный измеряемый расход газа  $25,00 \text{ м}^3/\text{ч}$ , минимальный —  $0,16 \text{ м}^3/\text{ч}$ , наибольшее избыточное рабочее давление 100кПа, пределы допускаемой относительной погрешности счетчика  $\pm 3\%$ .

Предусмотрен нагрев смеси. Для этого в нижней части сосуда установлен поясной силиконовый нагреватель мощностью 1500 Вт. Время нагрева до



40<sup>0</sup>С (примерная температура добываемой нефти из скважины) составляет 3-5 часов в зависимости от объема смеси при расчетной потере тепла через поверхность сосуда в 346,5 Вт.

Максимально возможный объем приготовленной жидкой смеси составил 0,43 м<sup>3</sup>. Избыточное давление многофазной смеси составляет 1 бар при использовании счетчика газа АГАТ и 10 бар при подключении компрессора непосредственно к сосуду высокого давления, в котором готовится смесь. Максимальное количество компонентов и фаз — 3. Процентное соотношение между компонентами в жидкой фазе может быть любым, процентное соотношение между жидкой и газовой фазами определяется растворимостью газа в жидкости.

Вторая часть стенда — линия для испытаний и поверки многофазных расходомеров представлена на рис. 3.

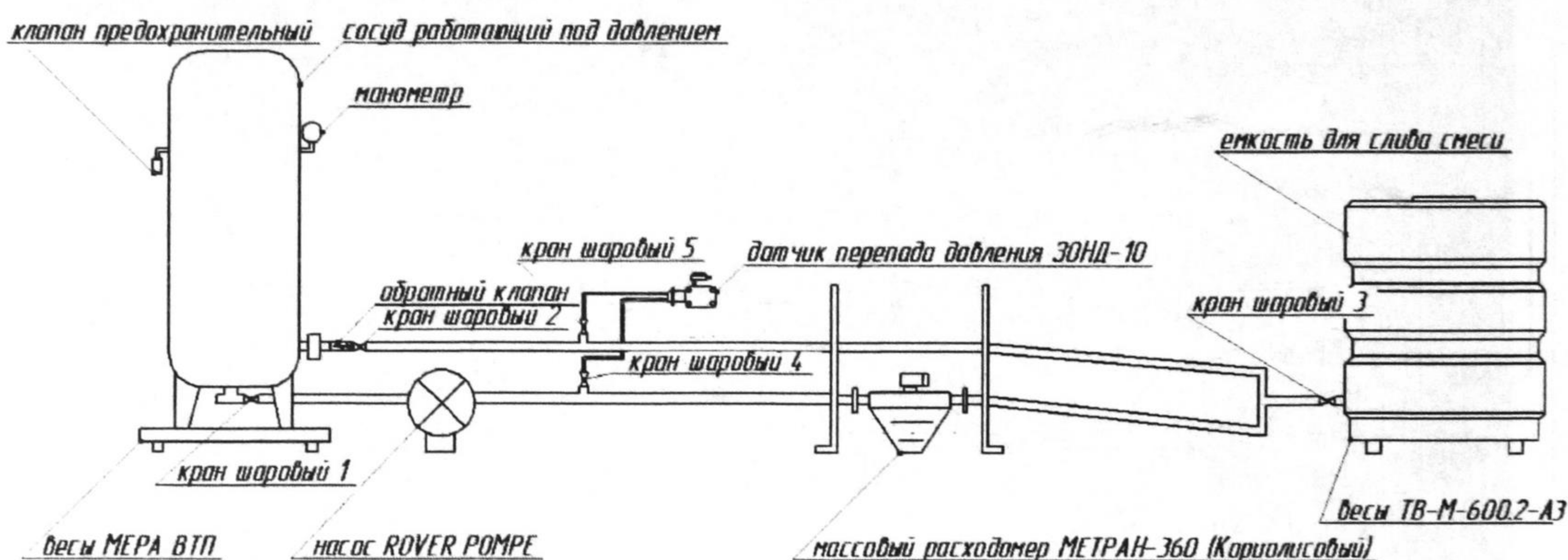


Рис. 3. Линия для поверки расходомеров

Подготовленная многофазная смесь известного состава из сосуда высокого давления поступает через переходник из резинового шланга в линию испытаний и поверки расходомеров. Она представляет собой два участка из металлопластиковой трубы, соединенных между собой п-образным участком, оснащенным краном. Общая длина трубопровода 4,5 метра. Многофазный поток может запускаться по кругу с помощью насоса ROVER POMPE BE-M30 с мощностью двигателя 800 Вт, создающего необходимый напор. Специальная гидравлика самозаполняющегося жидкостного кольцевого насоса с рабочим колесом позволяет ему работать даже при отсутствии непрерывного потока жидкости.

При отсутствии избыточного давления многофазной смеси предусмотрена возможность слива многофазного потока в емкость, установленную на весах ТВ-М-6002-А3. На входе и выходе в трубопровод вмонтированы термопреобразователи сопротивления ТСМУ 9304 (на рис. 3 не показаны), а также измерительный преобразователь разности давления ЗОНД-10ДД (класс точности 1), предназначенные соответственно для измерения температур потока на входе и выходе трубопровода и потерь давления.

В трубопроводе имеется участок для монтажа в него испытуемого многофазного или однофазного расходомера.



Испытания многофазного расходомера проводятся методом сравнения его показаний с известными значениями состава и расхода при перекачке многофазной смеси через него по замкнутому контуру.

Поверка однофазных расходомеров производится на чистой водопроводной воде. Испытания и поверка однофазного расходомера может проводиться путем сравнения его показаний с показаниями весов при перекачке жидкости из сосуда высокого давления в сливную емкость. Кроме этого, предусмотрена калибровка и поверка испытуемого однофазного расходомера путем сравнения его показаний с показаниями массового кориолисового расходомера МЕТРАН-360, который является в данном случае рабочим эталоном. Расходомер МЕТРАН-360 предназначен для измерения массового и объемного расхода, количества жидкости (газа) и передачи полученной информации на внешние устройства. Выходные сигналы измерительной информации: активный/пассивный токовый 4-20мА, активный/пассивный частотно-импульсный 0-10000 Гц, цифровые сигналы по стандартам коммуникации Bell-202 и RS-485. Имеются встроенные интеграторы массового и объемного расходов. Максимальные измеряемые расходы жидкости и газа соответственно 16325 кг/ч и 1366 кг/ч. Потеря давления на расходомере при максимальном расходе жидкости не более 100кПа. Давление измеряемой среды не более 10 МПа.

Для автоматизации процесса получения измерительной информации использовалась среда графического программирования LABVIEW и оборудование фирмы NATIONAL INSTRUMENTS, в частности NI PXI-1031 с блоком NI PXI-6239, а также шасси NI cDAQ-9172 со счетчиком NI 9435. Для весов применялось поставляемое с ними программное обеспечение IService.

Запись измеренных данных производилась в виде текстовых документов.

При испытании стенда на воде максимальный расход составил 4000 кг/час, что связано с производительностью используемого насоса.

Использование созданного стенда позволяет проводить разнообразные фундаментальные и прикладные исследования, связанные с изучением особенностей течения многофазных потоков при различных температурах, а также испытание, настройку и поверку одно- и многофазных расходомеров.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Вакулин А.А. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учебное пособие. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2010.
2. Вакулин А.А., Шабаров А.Б. Диагностика теплофизических параметров в нефтегазовых технологиях. Новосибирск: Наука. Сиб. издательская фирма РАН, 1998.
3. Вакулин А.А., Тарасов Д.Е. Многофазная расходомерная установка. Известия вузов. Нефть и газ. 2006. № 6.