

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.7>**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕКОТОРЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

Научная статья

**Хворов Ю.А.<sup>1</sup>, Юрченко С.А.<sup>2</sup>, Астафьева Т.Т.<sup>3</sup>, Атаманова Г.И.<sup>4</sup>\***<sup>1, 2, 3</sup>Тувинский государственный университет, Кызыл, Российская Федерация<sup>4</sup>Новосибирский государственный университет экономики и управления, Новосибирск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (zha6753[at]yandex.ru)

**Аннотация**

При развитии научных исследований в области физики и физико-химических величин твердых и жидких веществ специалистам постоянно требуются знания, с высокой точностью, характеристик материалов и параметров любых веществ. Для изучения физико-химических характеристик жидкостей при проведении экспериментальной работы по определению плотности ( $\rho$ ) некоторых спиртов в работе использована установка (УИФХХВА), которая подробно описана в статье. В качестве примера представлена методика определения плотности жидкостей. Проведены обработка экспериментальных данных и расчет погрешностей определения плотности ( $\rho$ ) на примере спиртов и их смесей. Сформулировано обобщение, которое получено в результате совместной со студентами деятельности. Все это является доказательством приобщения студентов к научной деятельности в процессе экспериментального изучения физико-химических характеристик некоторых жидкостей и дальнейшего изучения теории вопроса для проведения новых экспериментов.

**Ключевые слова:** аппаратура, физика, теория, плотность, жидкость.**AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOME LIQUIDS**

Research article

**Khvorov Y.A.<sup>1</sup>, Yurchenko S.A.<sup>2</sup>, Astafeva T.T.<sup>3</sup>, Atamanova G.I.<sup>4</sup>\***<sup>1, 2, 3</sup>Tuvin State University, Kyzyl, Russian Federation<sup>4</sup>Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russian Federation

\* Corresponding author (zha6753[at]yandex.ru)

**Abstract**

With the development of scientific research in the field of physics and physicochemical quantities of solid and liquid substances, specialists constantly need to know, with high accuracy, the characteristics of materials and parameters of any substances. To study the physicochemical characteristics of liquids during the experimental work to determine the density ( $\rho$ ) of some alcohols in the work, the equipment (EDPCS) was used, which is described in detail in the article. As an example, the technique for determining the density of liquids is presented. Processing of experimental data and calculation of errors in determining the density ( $\rho$ ) by the example of alcohols and their mixtures have been carried out. A generalization is formulated, which is obtained as a result of joint activities with students. All this is a proof of students' involvement in scientific activity in the process of experimental study of physical and chemical characteristics of some liquids and further study of the theory in question for new experiments.

**Keywords:** equipment, physics, theory, density, liquid.**Введение**

В ходе развития научных исследований физики и физико-химических величин твердых и жидких веществ специалистам постоянно требуются знания, с высокой точностью, характеристик материалов и параметров различных веществ. К числу таких параметров и их цифровым величинам относятся плотность ( $\rho$ ), поверхностное натяжение ( $\sigma$ ), вязкость ( $\eta$ ) и другие. Плохо поддается теоретическим расчетам по формулам получение нужных точных значений  $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $\eta$  и других параметров. Это обстоятельство требует от ученых заниматься поисками, разработками, созданием различных экспериментальных методов, устройств, приборов для их нахождения. Поэтому экспериментальное изучение физико-химических характеристик ряда жидкостей остается актуальным. Особую актуальность это изучение приобретает при организации студентов для проведения эксперимента по подготовке курсовой или выпускной квалификационной работы. Описанные и обобщенные данные полученных результатов экспериментальной работы находят отражение в выступлениях разного уровня и в публикациях научных статей. Все это способствует формированию интереса обучающегося к научной деятельности с использованием индивидуального подхода в работе над экспериментом при управлении и контроле каждого его этапа для получения результата, а также интеграции научного руководителя и студента.

Такая работа организуется при написании рефератов в аспекте экспериментальной физики, по методике преподавания физики, а также при подготовке курсовых, выпускных квалификационных работ по физике. Выступления с докладом о полученных результатах своего исследования на студенческих конференциях, которые проводятся ежегодно в Тувинском государственном университете – тому доказательство.

Среди различных физических тем, которые были раскрыты студентами в процессе выполнения экспериментальной деятельности под руководством научного руководителя – такие как: «Плотность жидкостей»,

«Устройства для получения дистиллята», «Плотность жидкостей. Методы её экспериментального определения», «Плотность и поверхностное натяжение жидкостей и методы их определения», «Устройство для прецизионного определения плотности жидкости» и др. При выполнении выпускной квалификационной работы эксперименты, проводимые студентами под руководством научного руководителя, вышли на защиту и были высоко оценены комиссией. В частности, это такие темы ВКР как: «Аппаратура и экспериментальное определение плотности жидкостей», «Дистилляция воды. Устройство для получения дистиллята», «Методы изучения поверхностного натяжения жидкостей в школьном курсе физики», «Методика изучения темы «Экспериментальное определение плотности жидкостей» и др.

Указанные темы используются студентами при подготовке докладов на студенческие конференции с третьего по пятый курсы физико-математического факультета Тувинского государственного университета. Опыт проведения такой экспериментальной работы помогает выпускникам в дальнейшей профессиональной деятельности в области образования.

Проведение экспериментальных измерений с приобщением студентов к научной деятельности в процессе экспериментального изучения физико-химических характеристик некоторых жидкостей для получения высокоточных (прецизионных) значений плотности исследуемых жидкостей повышает их уровень знаний и формирует устойчивый интерес к науке.

### **Методы и принципы исследования**

В качестве методических рекомендаций для студентов, обучающихся в ТувГУ на физико-математическом факультете можно отметить их основные элементы:

- **Создание интереса** к исследуемой проблеме. Интерес формируется через создание условий на лекциях, практических и лабораторных занятиях с использованием материально-технической базы университета (показ видео работы студентов с установкой и их обратная связь: студенты сами снимают и монтируют фильм).

- **Организация** экспериментальной деятельности. Студенты знакомятся сначала со списком научных исследований, которые предлагают им преподаватели в качестве научного руководителя. На первых практических занятиях, а также при выполнении лабораторных работ студенты формируют свое направление исследований с выбором научного руководителя для своей будущей экспериментальной деятельности с прицелом на написание курсовой или выпускной квалификационной работы.

- **Стимулирование** экспериментальной деятельности. Это создание условий для пробных самостоятельных экспериментов студентами под руководством преподавателя для обучающихся на более младших курсах. Это осуществляется, когда уже есть какие-то результаты экспериментальной работы, с которыми студент готов поделиться в рамках изучаемой темы на лекциях у своего научного руководителя или других мероприятиях по его рекомендации. Это могут быть и внеаудиторные работы, в том числе организованные для дня открытых дверей в университете.

- **Контроль** экспериментальной деятельности осуществляется при непосредственном взаимодействии руководителя и студента, выбравшего эту деятельность через согласование и выстраивании индивидуальной траектории, которая будет выходить не только на простые выступления на конференциях, но и на написание курсовых и выпускных квалификационных работ.

- **Анализ** проделанной работы, в том числе на каждом его этапе осуществляется совместно с научным руководителем и студентом, выбирающим научное направление. При анализе проделанной работы на первом этапе берется за основу анализ источников по проблеме исследования: что нужно брать, на что нужно обращать внимание, что нужно использовать для проведения эксперимента, в том числе и в своих выступлениях для доказательства полученных данных. После анализа источников и выбора нужного теоретического материала обсуждается план деятельности, в который входят все его этапы от формулировки цели, задач и т.д., до описания выводов и заключения. Если даже этот эксперимент никак не будет отражен в публикациях или в КР, ВКР, он точно оставит интерес к той деятельности, которой был занят, возможно, интерес получит продолжение. Заключительный анализ проводится в интеграции научного руководителя и студента с выявлением проблемных вопросов со стороны студента и выявлением проблем руководства экспериментом со стороны экспериментатора. Это рефлексия, но двухсторонняя.

Методика – это часть педагогики, поэтому ей тоже присущ принцип интеграции. Принцип интеграции в условиях экспериментальной деятельности может быть рассмотрен в двух аспектах. Цитата: «Во-первых, это состояние, для которого характерна согласованность, упорядоченность и устойчивость связей между различными элементами. Во-вторых, – процесс, который приводит к данному состоянию» [10, С. 8]. Во-первых, состояние – это связи между различными элементами по организации эксперимента от его целей до получения результата. Во-вторых – это сам процесс экспериментальной работы студента как при самостоятельной работе, так и под руководством научного руководителя согласно разработанному плану. Выстраивание подготовительной работы студента и научного руководителя значительно облегчается в цифровой среде, где можно быстро решить простые организационные вопросы или теоретические – в аспекте списка литературы или аспекта изучения и т.д.

### **Экспериментальная работа**

В качестве оборудования для проведения экспериментальной работы использовались: установка для определения физико-химических характеристик веществ (УИФХХВ); точные аналитические весы; катетометр типа КМ-8 и другое оборудование.

Применяемая методика и техника проведения экспериментальных исследований по определению плотности ( $\rho$ ) исследуемых жидкостей предусматривает сведение к возможному минимуму внешних воздействий при определении  $\rho$ , стабилизацию температурных условий, достижение прецизионности осуществляемых измерений, устранение посторонних примесей в исследуемых веществах.

Авторами с учетом замечаний профессора П.П Пугачевича [8] сконструирована установка УИФХХВ (рис.1) для изучения физико-химических характеристик веществ, устройство которой позволяет с помощью специального амортизатора (3) и приборной рамки изолировать помещенные в термостате (10) со смотровыми окнами (9) приборы для определения указанных физико-химических характеристик исследуемых веществ от внешнего влияния вибраций. Созданная в ТувГУ установка (рис. 1) перенесена в новое помещение университета и модернизирована в соответствии с необходимыми требованиями.

Нагревательные элементы воздушного термостата (10), система принудительного перемешивания воздуха в нём и возможность плавной автоматической регулировки температуры в термостате позволяют поддерживать температурный режим с отклонениями  $T$  не более, чем 0,1 К, в широком интервале температур исследуемых веществ.

Для определения плотности жидкостей существует целый ряд экспериментальных методов: ареометрический, гидростатический, радиационный, акустический. А также флотационный, адсорбционный, пикнометрический, дилатометрический, метод падающих капель, вибрационный, вихревой и их различные комбинации.

Из отмеченных методов наибольшее распространение получили, основанные на использовании закона Архимеда, ареометрический и метод гидростатического взвешивания, а также пикнометрический метод, в котором плотность определяется путем взвешивания известного в нём объема жидкости, и дилатометрический метод, основанный на измерении объема жидкости известной массы.

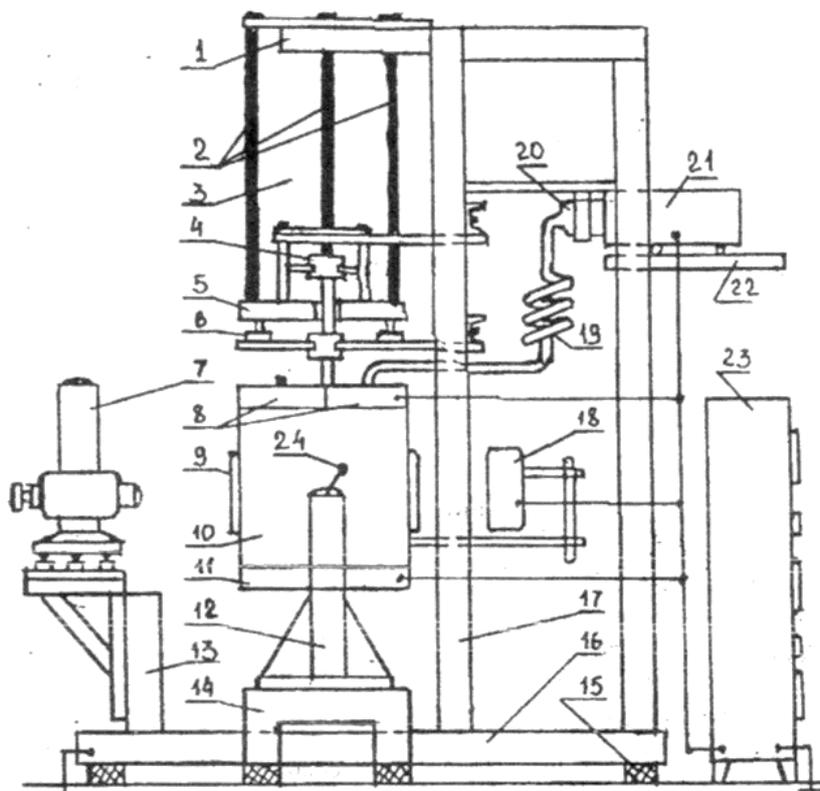


Рисунок 1 - Установка для изучения физико-химических характеристик веществ (УИФХХВ):

1 – кронштейн; 2 - пружины; 3 – амортизатор; 4 – муфта; 5 – диск; 6 – масляный демпфер; 7 – катетометр; 8 – крышка; 9 – окно; 10 – термостат воздушный; 11 – дно; 12 – стойка термостата; 13 – стойка катетометра; 14 – платформа; 15 – подушка резиновая; 16 – основание; 17 – стойка амортизатора; 18 – лампа для освещения приборов в термостате; 19 – змеевик; 20 – баллон стеклянный; 21 – электрическая печь; 22 – рельсы; 23 – щит управления; 24 – ручка

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.7.1>

Метод пикнометра – объемного дилатометра [2], [4], [5], [6], в сравнении с другими методами определения плотности, обладает рядом преимуществ: высокой точностью измерения, возможностью использования небольшого количества жидкости, малой площадью её свободной поверхности в пикнометре, раздельным проведением операций взвешивания и термостатирования исследуемой жидкости. Применение катетометра (7), позволяющего измерить высоту жидкости в капиллярных трубках, связанных с объемом жидкости в пикнометре, устраняет необходимость подгонки объема жидкости к определенной метке.

Метод пикнометра – объемного дилатометра, использующий двухкапиллярные пикнометры в обычном аппаратном оформлении [2], [5], имеет ряд недостатков. Так, наличие шлифов, которыми оканчиваются капилляры, может способствовать загрязнению, частичному испарению градуировочной или исследуемой жидкостей.

Эти недостатки устраняются в цельнопаянных двухкапиллярных пикнометрах – дилатометрах [7]. Конструкция подобного прибора, показанного на (рис. 2) и используемого в данной работе, позволяет определять плотность жидкостей в широком температурном интервале относительным методом.

Применение относительного метода требует тщательной градуировки прибора. Для этого в многократно промытый водой, отвечающей требованиям бидистиллята, и высушенный под вакуумом пикнометр – дилатометр через трубку (1) до меток (4) и (6) была налита градуировочная жидкость, плотность которой известна с высокой точностью в широком температурном интервале.

Трубки (1), (10) запаиваются, прибор с помощью специальной рамки помещается в воздушный термостат (10) со смотровыми окнами (9) (рис. 1) и выдерживается при заданной температуре 2,5 – 3 часа.

В результате такого термостатирования градуировочная жидкость в капиллярных трубках (3) и (7) устанавливается на определенных заданных уровнях температуры. После чего с помощью катетометра КМ – 8 (7) (рис. 1) необходимо измерить высоты  $h_1$  и  $h_2$  в капиллярах от менисков жидкости до верхних меток (2) и (8) и рассчитать средние значения высот  $h$  по формуле

$$h = \frac{1}{2n} (\sum_{i=1}^n h_i + \sum_{i=1}^n h_j) \quad (1)$$

где  $n$  – число отдельных измерений каждой высоты.

Далее, определив массу ( $m$ ) градуировочной жидкости в пикнометре, взвешиванием заполненного жидкостью  $m_1$  и пустого  $m_2$  прибора, и зная табличные значения плотности градуировочной жидкости, вычислить объем ( $V$ ), заполненный жидкостью в пикнометре – дилатометре при соответствующей температуре.

Функциональная зависимость между средними значениями высот, вычисленных по формуле (1), и объемами жидкости при соответствующей температуре носит почти линейный характер, если капиллярные трубки (3) и (7) строго цилиндрические.

Поэтому уравнение пикнометра – дилатометра хорошо описывается соотношением вида

$$V = a + bh + ch^2 + dh^3 \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  – коэффициенты уравнения пикнометра – дилатометра.

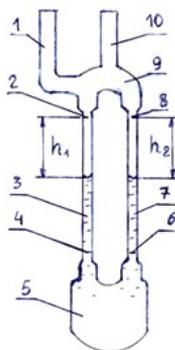


Рисунок 2 - Цельнопаянный двухкапиллярный пикнометр – дилатометр:

1, 10 – трубки для заливки жидкости; 2, 8 – верхние метки; 3, 7 – капилляры; 4, 6 – нижние метки; 5 – резервуар для жидкости; 9 – связь капилляров и трубок;  $h_1$ ,  $h_2$  – расстояния от верхних меток до менисков жидкости в капиллярах

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.7.2>

Такой метод градуировки практически исключает ошибки, связанные с термическим расширением стекла, при строгом соблюдении требования заполнять прибор до нижних меток (4) и (6) исследуемой жидкостью.

Прибор запаивается, крепится к рамке и помещается в воздушный термостат установки УИФХХВ, выдерживая 2,5–3 часа термостатирования при температуре исследования.

Находить  $h$  и рассчитывать плотность ( $\rho$ ) исследуемой жидкости необходимо по формуле

$$\rho = \frac{\Delta m}{V} = \frac{m_1 - m_2}{a + bh + ch^2 + dh^3} \quad (3)$$

Как следует из уравнения (3) относительная погрешность при определении плотности жидкостей с помощью цельнопаянного двухкапиллярного пикнометра – дилатометра рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \rho}{\rho} = & \frac{\Delta m_1}{m_1 - m_2} + \frac{\Delta m_2}{m_1 - m_2} + \frac{\Delta a}{V} + \frac{\Delta bh}{V} + \\ & + \frac{\Delta ch^2}{V} + \frac{\Delta hb}{V} + \frac{2\Delta hch}{V} + \frac{\Delta dh^3}{V} + \frac{3\Delta hdh^2}{V} \end{aligned} \quad (4)$$

Величины  $\Delta m_1$  и  $\Delta m_2$  соответствуют погрешностям весов и равны между собой  $\Delta m_1 = \Delta m_2 = \Delta m$ .

Учитывая, что коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  могут быть вычислены с большой точностью, погрешностями  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta c$  и  $\Delta d$  можно пренебречь и формулу (4) записать в виде

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{2\Delta m}{|m_1 - m_2|} + \frac{(b+2ch+3dh^2)\Delta h}{a+bh+ch^2+dh^3} \quad (5)$$

В качестве объектов изучения были выбраны одноатомные спирты: изопропиловый, изобутиловый, «н» – бутиловый, изоамиловый. Двойные смеси изопропилового спирта с «н» – бутиловым и изоамиловым, а также растворы полиэтиленгликоля со средней молекулярной массой 4000 в толуоле.

Предназначенные для изучения и приготовления растворов вещества предварительно нужно осушить и очистить, а жидкие вещества, кроме того, подвергнуть двух-трехкратной перегонке с применением дефлегматора с отбором средних фракций [1], [10], температура кипения которых точно соответствовала справочным [3] значениям.

Уравнение пикнометра – дилатометра (2) рассчитывается методом наименьших квадратов в системе СГС с использованием справочных данных о величине плотности градуировочной жидкости, а также полученных экспериментально средних расстояний  $h$  от менисков данной градуировочной жидкости до верхних меток пикнометра – дилатометра и массы жидкости ( $m$ ) в приборе. В качестве градуировочной жидкости использовался толуол, литературные данные, о величине физико-химических характеристик которой, были взяты из работы [3].

В результате расчетов было получено уравнение для  $V$  (в  $\text{см}^3$ )

$$V = 12,32721 - 0,140342h - 0,0026051h^2 + 0,00009417h^3 \quad (6)$$

Градуировочное уравнение (6) было проверено на чистых стандартных жидкостях: толуол, гептан, бензол.

### Результаты

Совместная работа авторов со студентами позволила обобщить полученные результаты. В таблице 1 представлены результаты экспериментального определения плотности чистых спиртов: изопропиловый, изобутиловый, н – бутиловый, изоамиловый.

Таблица 1 - Плотность спиртов: изопропилового, изобутилового, н-бутилового и изоамилового при температурах от 30 до 110 °С.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.7.3>

T, °С	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Плотность (спирт изопропиловый), $\text{кг/м}^3$	780,7	771,9	762,7	753,5	743,4	-	-	-	-
Плотность (спирт н-бутиловый), $\text{кг/м}^3$	803,5	795,8	787,9	780,1	771,8	763,3	754,7	745,0	735,8
Плотность (спирт изобутиловый), $\text{кг/м}^3$	796,0	787,9	779,6	771,0	762,2	853,0	743,6	734,0	-
Плотность (спирт изоамиловый), $\text{кг/м}^3$	808,4	800,8	793,0	785,0	777,1	768,3	759,5	750,3	740,2

В таблицах 2-3 представлены результаты экспериментального определения плотности смесей спиртов: изопропилового, изобутилового, н-бутилового и изоамилового.

Таблица 2 - Плотность смесей изопропилового и н-бутилового спиртов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.7.4>

$c_1$	T, °С	30	40	50	60	70
-------	-------	----	----	----	----	----

0,808	$\rho_1, \text{кг/м}^3$	786,2	777,8	768,9	759,6	750,1
0,606	$\rho_2, \text{кг/м}^3$	792,4	784,2	775,3	766,5	757,3
0,269	$\rho_3, \text{кг/м}^3$	802,3	794,3	786,1	777,7	768,9

Примечание:  $c_1$  – мольная доля изопропилового спирта в растворе

Таблица 3 - Плотность смесей изопропилового и изоамилового спиртов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.7.5>

$c_1$	$t^0, \text{C}$	30	40	50	60	70
0,685	$\rho_1, \text{кг/м}^3$	789,9	781,6	772,9	764,0	754,8
0,500	$\rho_2, \text{кг/м}^3$	796,9	788,9	780,5	771,9	762,6
0,456	$\rho_3, \text{кг/м}^3$	801,5	794,1	785,8	777,0	768,2

Примечание:  $c_1$  – мольная доля изопропилового спирта в растворе

С повышением температуры их плотности уменьшаются.

Массу исследуемой жидкости определяли с помощью весов ВЛА-200 М, для которых погрешность измерения массы составляет  $\Delta m = 0,0001 \text{ г} = 10^{-7} \text{ кг}$ . Высоты (h) измеряли катетометром КМ-8 с погрешностью  $\Delta h = 0,002 \text{ см} = 2 \times 10^{-5} \text{ м}$ .

Средняя относительная погрешность определения плотности исследованных спиртов и их смесей с помощью пикнометра – дилатометра составляет  $\Delta \rho / \rho = 0,06\%$ .

#### Заключение

Таким образом, установка УИФХХВ (рис. 1) позволяет приобщить студентов физико-математического факультета к экспериментальной работе в понимании смысла: зачем нужны точные данные и где они могут быть применены и использованы. Совместная работа преподавателя и студента выходит на продолжение в курсовых и выпускных квалификационных работах по описанию и внедрению полученных экспериментальных данных. Студенческие конференции, которые проводятся регулярно, позволяют студентам приобретать первый опыт выступлений перед аудиторией со своими результатами, полученными в процессе экспериментальной работы и не списанные с учебников или статей. Такого рода конференции – это еще один импульс для студентов к занятию экспериментом, так как они чаще всего получают положительные отзывы и интересные вопросы, ответы на которые могут дать теоретически и им хочется проверить эту теорию через ведение экспериментальной работы как под руководством научного руководителя, так и самостоятельно.

Обобщая вышеизложенное о проведенной совместной экспериментальной работе со студентами, которые интересуются данным направлением, можно отметить, что любая деятельность, связанная с организацией, стимулированием, контролем ведения эксперимента под руководством научного руководителя формирует у обучающихся научный интерес, приобретается опыт не только работы на уже готовых установках, но и появляются идеи для исследований.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.7.6>

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Review

International Research Journal Reviewers Community  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.7.6>

#### Список литературы / References

- Багатуров С.А. Курс теории перегонки и ректификации / С.А. Багатуров. – Москва: Госопттехиздат, 1954. – 473 с.
- Вайсбергер А. Физические методы органической химии / А. Вайсбергер. – Москва: Литература, 1950. – Т.1. – С. 79–120.
- Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – Москва: Наука, 1972. – 720 с.
- Кивилис С.С. Плотномеры / С.С. Кивилис. – Москва: Энергия, 1980. – 280 с.
- Менделеев Д.И. Растворы / Д.И. Менделеев. – Москва; Ленинград: АН СССР, 1953. – С. 55–118.
- Мухтасимов Ф.Н. Физические методы измерений / Ф.Н. Мухтасимов, И.П. Федотов, Ю.В. Зеленев. – Ташкент: ФАН, 1988. – 572 с.

7. Пугачевич П.П. Двухкапиллярный вакуумный пикнометр. – Авт. свид. № 271092 от 27 сентября 1968 / П.П. Пугачевич, А.Г. Токаев // Бюлл. изобр. – № 17. – 1970.
8. Пугачевич П.П. Установка для измерения физико-химических характеристик жидкостей (УИФХХ-2) / П.П. Пугачевич, Ю.А. Хворов, В.И. Данилейко и др. – Кызыл: КГПИ, 1988.
9. Ромашин В.Н. Интеграционные процессы в вузе в условиях цифровизации: психолого-педагогический аспект / В.Н. Ромашин, Г.И. Атаманова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 7(121). – Ч. 3. – DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.078
10. Хворов Ю.А. Аппаратура и методика определения плотности спиртов и их смесей / Ю.А. Хворов, С.А. Юрченко, Т.Н. Астафьева // Вестник ТувГУ. Техн. и физ.-мат. науки. - Кызыл: РИО ТувГУ, 2017. - Вып. 3. - С. 145–152.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Bagaturov S.A. Kurs teorii peregonki i rektifikacii [A Course in the Theory of Distillation and Rectification] / S.A. Bagaturov. – Moscow: Gosopttekhizdat, 1954. – 473 p. [in Russian]
2. Vajsberger A. Fizicheskie metody organicheskoy himii [Physical Methods in Organic Chemistry] / A. Vajsberger. – Moscow: Literatura, 1950. – Vol.1. – P. 79–120. [in Russian]
3. Vargaftik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej [Handbook on the Thermal Properties of Gases and Liquids] / N.B. Vargaftik. – Moscow: Nauka, 1972. – 720 p. [in Russian]
4. Kivilis S.S. Plotnomery [Densitometers] / S.S. Kivilis. – Moscow: Jenergija, 1980. – 280 p. [in Russian]
5. Mendeleev D.I. Rastvory [Solutions] / D.I. Mendeleev. – Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1953. – P. 55–118. [in Russian]
6. Mukhtasimov F.N. Fizicheskie metody izmerenij [Physical Methods of Measurement] / F.N. Mukhtasimov, I.P. Fedotov, Yu.V. Zelenev. – Tashkent: FAN, 1988. – 572 p. [in Russian]
7. Pugachevich P.P. Dvuhkapilljarnyj vakuurnyj piknometr [Two-capillary Vacuum Pycnometer] – Aut. cert. № 271092 from September 27, 1968. / P.P. Pugachevich, A.G. Tokaev // Bjull. izobr. [Inventor Bulletin] – № 17. – 1970. [in Russian]
8. Pugachevich P.P. Ustanovka dlja izmerenija fiziko-himicheskikh harakteristik zhidkostej (UIFHH-2) [Unit for Measuring Physical-Chemical Characteristics of Liquids (EDPCS-2)] / P.P. Pugachevich, Ju.A. Hvorov, V.I. Danilejko et al. – Kyzyl: KGPI, 1988. [in Russian]
9. Romashin V.N. Integracionnye processy v vuze v uslovijah cifrovizacii: psihologo-pedagogicheskij aspekt [Integration Processes in Higher Education in the Context of Digitalization: Psychological and Pedagogical Aspect] / V.N. Romashin, G.I. Atamanova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. – 2022. – № 7(121). – Pt. 3. – DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.078 [in Russian]
10. Hvorov Ju.A. Apparatura i metodika opredelenija plotnosti spirtov i ih smesej [Apparatus and Method for Determining the Density of Alcohols and Their Mixtures] / Ju.A. Hvorov, S.A. Jurchenko, T.N. Astaf'eva // Vestnik TuvGU. Tehn. i fiz.-mat. nauki [Bulletin of Tuva State University. Technical and Physicomathematical Sciences.]. - Kyzyl: RIO TuvSU, 2017. - Iss. 3. - P. 145–152. [in Russian]