

Введение Ярдымлинский район — административная единица на юго-востоке Азербайджана и один из красивейших уголков Азербайджана, расположившийся в Талышских горах. Красивый природный ландшафт, холодные и горячие минеральные воды, благоприятный влажный климат и развитая транспортная сеть обуславливают развитие в районе курортов и туристических баз. Район богат термальными и минеральными источниками. В разных уголках района имеются также многочисленные термальные и минеральные воды: Арус, Алиабат, Пештесар, Мирзехан, Сойугбулаг, Корбулаг, Багбулаг и др. В течение нескольких лет между кафедрами «Тепло- и хладотехника» Азербайджанского технического университета и «Техническая термодинамика» Ростокского университета Германии развиваются всесторонние научные связи, одной из которых являются исследования теплофизических свойств геотермальных и минеральных вод различных стран (Германия, Азербайджан, Россия, Турция и т.д.). Данная работа является частью этих исследований. В этой работе приводятся результаты давления насыщенных паров геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана. Экспериментальная часть Измерения давления насыщенных паров геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана проводились в лабораториях кафедры «Техническая термодинамика» Ростокского университета Германии с использованием двух различных установок: - при $T=(274.15 - 323.15) \text{ K}$ - реализующий абсолютный и дифференциальный статический метод (рис. 1). - при $T=(323.15 - 413.15) \text{ K}$ - реализующий абсолютный статический метод (рис. 2). Основную часть установки (рис. 1) для измерения давления насыщенных паров при температурах $T=(274.15 - 323.15) \text{ K}$ составляют стеклянные ячейки (3, 4, 27), которые имеют внутренние и внешние объемы, между которыми течет дистиллированная вода, подаваемая из термостата Lauda Gold R-415, Германия (21). Температура в измерительных ячейках создается и стабилизируется при помощи термостата (21) с точностью $\pm 0.01 \text{ K}$ и измеряется платиновыми термометрами PT-100 (6, 35) с точностью $\pm 0.01 \text{ K}$. Измерительные ячейки имеют объем примерно 80 cm^3 . Для растворов с низкими концентрациями, давление насыщенных паров которых очень близко к давлению насыщенных паров растворителя, и эта разница меньше чем погрешность статической ячейки (10-30 Па), измерения проводились в дифференциальной части (3, 4) установки. В этой части две ячейки совмещены в один водяной резервуар. Температура во всем объеме резервуара измеряется с помощью платинового термометра PT-100 (6) с точностью $\pm 0.01 \text{ K}$. Давление насыщенных паров в измерительных ячейках измеряется с помощью высокоточных измерителей давлений (10) MKS Baratron, типа 616A (США) в дифференциальной части с точностью $p = \pm(1 \text{ до } 3) \text{ Па}$ и MKS Baratron, типа 615A (США) в статической части (23) с точностью $p = \pm(10 \text{ до } 30) \text{ Па}$. Эти измерители давления термостатируются при температуре $T=333.15 \pm 0.01 \text{ K}$ в специальных резервуарах для поддержания постоянной

температуры (11, 22). Вода в резервуары подается через термостат Haaki, Германия (16). Полученные результаты передаются на индикаторы сигнала давления (13, 14) через переходники (12, 15), а потом непосредственно в центральный компьютер (34) с помощью управляемой программы LabVIEW. На этот компьютер также передаются измеренные значения температуры всех измерительных ячеек. Компьютер определяет стабилизацию давления насыщенных паров при данной температуре, а после измерений значений давления изменяет температуру эксперимента на следующую по заданному интервалу до максимального значения. После достижения максимальной температуры эксперимента, компьютер изменяет температуру в противоположную сторону и происходит измерение давления насыщенных паров до минимальной температуры. Таким образом происходит повторение экспериментальных точек. Кратность повторения также можно задать в компьютерную систему заранее. В установке также предусмотрено ручное измерение температуры с помощью платинового термометра PT-100. Он используется как запасной, на случай выхода из строя электронных систем. В таком случае эксперименты продолжаются вручную.

Рис. 1 - Экспериментальная установка для определения давления насыщенных паров геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана: (1), (28), (30) магнитная мешалка; (2), (36) магнит, (3) ячейка дифференциального метода для чистой воды; (4) ячейка дифференциального метода для образца; (5), (37) клапаны для закрывания ячейки дифференциального метода для образца и (26) статического метода для образца; (6), (35), (39), (40) платиновые термометры сопротивления с 4-х канальным входным модулем получения и накопления данных Омега PT-104A (19); (7), (20), (38) соединения для заполнения образца; (8), электрическое нагревание соединений ячейки с измерителями давления MKS Baratron 616A и (25), MKS Baratron 615 A; (9), водяное нагревание соединений ячейки с измерителями давления MKS Baratron 616A и (24), MKS Baratron 615 A; (10) измеритель давления MKS Baratron 616A в дифференциальном методе и (23) MKS Baratron 615A в статическом методе; (11) резервуар для поддержания постоянной температуры для измерителя давления в дифференциальном методе и (22) в статическом методе; (12) соединитель сигнала давления с индикатором давления дифференциального метода и (15) статического метода; (13) индикатор сигнала давления дифференциального метода и (14) статического метода; (16) термостат HAAKE F5; (17) системы управления электронагревателя для дифференциального метода и (18) для статического метода; (21) Термостат Lauda Gold R-415; (27) ячейка статического метода; (29) колба для заполнения образца; (31) вакуумный индикатор TTR100; (32) ловушка с жидким азотом; (33) вакуумный насос; (34) компьютер для управления установкой

Рис. 2 - Экспериментальная установка для измерения давления насыщенных паров при температурах $T=(328.15 \text{ до } 473.15) \text{ K}$: (1) термостат

LAUDA ECO RE 415 G; (2), (3) платиновые термометры сопротивления; (4) измерители давления SERIE 35 X HTC; (5) 4-х канальный входной модуль получения и накопления данных температуры Омега PT-104A; (6) компьютер для управления установкой; (7) индикатор давления; (8) Колба для заполнения установки измеряемой жидкости; (9), (10) вентили; (11) изоляция измерительной ячейки; (12) резервуар для поддержания постоянной температуры в измерительной ячейке; (13) измерительная ячейка; (14) магнит; (15) магнитная мешалка; (16) вакуумный индикатор TTR100; (17) ловушка с жидким азотом; (18) вакуумный насос

Перед проведением экспериментов измерительная ячейка промывается водой, ацетоном и вакууммируется с помощью вакуумной системы (31-33). Процесс проводится около 2-3 часов, до тех пор пока в измерительных системах не получаются минимальные давления в пределах погрешности эксперимента. Измерительная ячейка заполняется примерно наполовину. Образец заполняется в вакууммированную ячейку с помощью специальной колбы, соединенной металлическим наконечником (7, 20, 38). После заполнения ячеек жидкостью часть его испаряется на паровую фазу и создает давление насыщенных паров над жидкостью. После определенного времени производится измерение давления насыщенных паров данного образца в данном стационарном режиме. В данном случае мы измеряли давление насыщенных паров геотермальных и минеральных вод, внутри которых имеются растворенные газы, и в паровую фазу испаряется вода и растворимые газы. Поэтому давление насыщенных паров геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана есть суммарное давление насыщенных паров водяного пара и растворимых газов. Магниты (2, 36), находящиеся в измерительных ячейках, вращаются внутри с помощью магнитных мешалок (1, 28) и помогают стабилизации системы «жидкость-пар». Для соединения измерительных ячеек и измерителей давления MKS Baratron использовалась специальная конструкция, так как они расположены друг от друга на расстоянии примерно 40 см. В стеклянные измерительные ячейки приварены специальные переходники «стекло-металл» фирмы MDC vacuum Limited (Англия). На металлическую часть припаяны специальные штуцера фирмы VAT Deutschland GmbH, между которыми имеются уплотнительные диски с резиновой прокладкой. Второй штуцер соединяется с измерителем давления с помощью капиллярной трубки. Такая конструкция уменьшает потери при измерении давления насыщенных паров, но не исключает их полностью. Это можно проверить с использованием веществ, давление насыщенных паров которых известно с высокой точностью (например: вода, алифатические спирты и т.д.). Для предотвращения этих потерь между стеклянными измерительными ячейками и измерителем давлений MKS Baratron сначала использовано электрическое (8, 25) нагревание (так как в месте соединения обоих штуцеров возникает сложность при конструировании водяной рубашки), затем водяное (9,

24). После многократного измерения давления насыщенных паров эталонных образцов (вода, метанол, этанол, ацетон и т.д.) была установлена мощность электрического напряжения для каждой измеряемой температуры, которая создается с помощью системы управления электронагревателей (17, 18). Для измерения давления насыщенных паров при высоких температурах, когда измеряемое давление становится выше атмосферного, стеклянные ячейки оказываются непригодными. Для этой цели, была сконструирована вторая установка измерения давления насыщенных паров при температурах $T=(328.15 \text{ до } 473.15) \text{ К}$ (рис.2). Экспериментальная установка для измерения давления насыщенных паров при температурах $T=(328.15 \text{ до } 473.15) \text{ К}$ состоит из металлической ячейки из нержавеющей стали V4A (Германия). Внутренний объем ячейки составляет примерно 140 см³, который включает в себя объем самой ячейки, соединительных трубок и половину объема вентиля (10), за вычетом объема платиновых термометров (2, 3), находящихся внутри ячейки. Температура внутри измерительной ячейки, расположенной внутри резервуара (12), заполненного силиконовым маслом (KORASILON oil M50 (Kurt Obermeier GmbH & Co. KG, Германия), создается с помощью термостата (1) LAUDA ECO RE 415 G (Германия) с точностью $\Delta T=\pm 0.01 \text{ К}$. Температура ячейки измеряется с помощью двух платиновых термометров сопротивления (2, 3) PT-100 (1/10 DIN Class B, Temperatur Messelemente Hettstedt GmbH, Германия), которые соединены к 4-х канальному входному модулю получения и накопления значений температуры (5) Омега PT-104A (Omega Engineering, inc., США). Один термометр подключен к термостату для непосредственной передачи информации. С помощью этого термометра термостат создает измеряемую температуру прямо в измерительной ячейке, а не в самом термостате. Это очень важный момент, при котором любую температуру с высокой точностью можно создать прямо в измеряемой среде. Второй термометр сопротивления передает измеряемую температуру в компьютер. Давление насыщенных паров измерялось с помощью измерителя давления (4) (SERIE 35 X HTC, Omega GmbH & Co., Германия) с точностью $\Delta P= \pm 2000 \text{ Па}$. Перед проведением эксперимента измерительная ячейка промывается водой, ацетоном и вакууммируется с помощью вакуумной системы (16-18). Процесс проводится около 5-6 часов, до тех пор пока в измерительных системах не получают минимальные давления в пределах погрешности экспериментов. После этих подготовительных этапов установку можно использовать непосредственно для проведения экспериментов. Потом закрывается вентиль (9) и открывается вентиль (10). С использованием специальной колбы (8) образец заполняется в измерительную ячейку примерно на половину, далее вентиль (10) закрывается. После заполнения ячеек жидкостью часть его испаряется и создает давление насыщенных паров над жидкостью. Для создания равновесного состояния используется магнитная мешалка (15). Внутри измерительной ячейки имеется магнит (14), который

вращается с вращением магнитной мешалки, находящейся под измерительной ячейки. Через заранее заданный интервал времени (обычно 1 мин.) производятся измерения давления насыщенных паров данного образца и передаются в компьютер. Стационарный режим с постоянной температурой достигается примерно в течение 50-70 минут. Но установка передает информацию о давлении насыщенных паров с определенным интервалом времени. Во время анализа эксперимента используются только данные при стационарном режиме с постоянной температурой. После этого компьютер, используя программу LabView, изменяет температуру установки и переходит на другой температурный режим. Таким образом эксперименты продолжаются от низкой температуры ($T=333.15\text{ K}$) до высокой ($T=413.15\text{ K}$) с интервалом $\Delta T=10\text{ K}$ (этот интервал тоже можно задать перед экспериментом). После достижения максимальной температуры компьютер, используя программу LabView, останавливает работу установки.

Результаты экспериментов. Полученные результаты давлений насыщенных паров геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана приведены в таблице 1 и для наглядности приведены на рис. 3. Как видно из рис. 3, давление насыщенных паров геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана выше, чем давление насыщенных паров чистой воды. Этот факт можно объяснить тем, что в природной воде имеются растворимые газы, которые также создают давление паров [4]. Для эксперимента использовались геотермальные и минеральные воды Ярдымлинского района Азербайджана в том состоянии, в котором они выходят на поверхность земли, т.е. без извлечения растворенных в них газов. Поэтому растворенные газы оставались в образцах во время проведения экспериментов для определения давления насыщенных паров геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана. В результате этих экспериментов мы измерили абсолютное давление насыщенных паров заполненного образца. Давление насыщенных паров всех измеряемых образцов близко друг к другу, за исключением образца «Пештасар».

Таблица 1 - Давления насыщенных паров геотермальных, минеральных и питьевых вод Ярдымлинского района Азербайджана “Арус” “Алиабад” “Пештасар” “Шалала”

T/K	p/Pa	T/K	p/Pa	T/K	p/Pa	T/K	p/Pa
274.21	1075	274.20	1151	274.28	2249	274.16	810
277.27	1312	278.11	1486	277.21	2705	277.14	996
283.17	1900	284.20	2176	283.87	4050	283.88	1561
292.20	3240	292.71	3597	292.35	6566	292.22	2632
301.91	5529	302.17	6054	301.70	10789	301.73	4586
310.89	8769	310.85	9456	309.23	15698	313.24	8531
323.44	15929	323.47	17227	323.47	30221	323.02	13896
333.15	24432	333.15	26358	333.15	45495	333.15	22260
343.15	36913	343.15	39755	343.15	67551	343.15	34368
353.15	54355	353.15	58416	353.15	97810	353.15	51617
363.15	78192	363.15	83826	363.15	138429	363.15	75602
373.15	110111	373.15	117720	373.15	191890	373.15	108233
383.15	152068	383.15	162094	383.15	261000	383.15	151752
393.15	206292	393.15	219205	393.15	348893	393.15	208747
403.15	275291	403.15					

291572 403.15 459015 403.15 282166 413.15 361849 413.15 381968 413.15 595110
 413.15 375315 “Мирзахан” “Союгбулаг” “Корбулаг” “Баг-булаг” Т/К р/Па Т/К р/Па
 Т/К р/Па Т/К р/Па 274.18 938 274.24 815 274.23 849 274.24 707 278.11 1207 277.15
 1002 278.10 1108 277.26 874 283.20 1657 283.39 1533 284.88 1733 283.38 1324
 291.85 2767 291.41 2564 292.46 2776 293.98 2592 301.44 4718 303.50 5237 303.76
 5321 303.47 4520 310.44 7552 313.13 8825 313.20 8789 313.17 7668 322.98 13912
 322.97 14482 322.94 14233 322.93 12586 333.15 22062 333.15 23316 333.15 22781
 333.15 20414 343.15 33790 343.15 36047 343.15 35005 343.15 31756 353.15 50494
 353.15 54153 353.15 52310 353.15 48030 363.15 73774 363.15 79268 363.15 76225
 363.15 70816 373.15 105575 373.15 113331 373.15 108557 373.15 102017 383.15
 148226 383.15 158596 383.15 151409 383.15 143883 393.15 204474 393.15 217640
 393.15 207183 393.15 199035 403.15 277506 403.15 293367 403.15 278589 403.15
 270469 413.15 370980 413.15 389000 413.15 368633 413.15 361572 Рис. 3.

Зависимость давления насыщенных паров p геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана от температуры: (♢, “Арус”; $\frac{3}{4}$, “Алибад”; ▲, “Пештасар”; ●, “Шалала”; □, “Мирзахан”; □, “Союгбулаг”; г, “Корбулаг”; ○, “Баг-булаг”; -- х --, Вода [4]) Этот образец имеет огромное количество растворимых газов и богат минеральными элементами. Теоретическое описание экспериментальных результатов Вследствие того, что эксперименты проводились в определенном интервале температур, для вычисления давления насыщенных паров [5] каждого образца в индивидуальной форме получено эмпирическое уравнение Антуана: $\ln p = A - B/(T + C)$. (1) здесь: p – давление пара в Па, T – абсолютная температура в К, A , B и C – коэффициенты, которые приведены в таблице 2 вместе с погрешностью описания экспериментальных данных давлении насыщенных паров геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана, которые были рассчитаны по формуле: (2) где $r_{\text{экс}}$ – экспериментальные значения давления насыщения, $p_{\text{рас}}$ – значения, рассчитанные по уравнению (1). Анализируя химические свойства этих образцов [3], можно сказать, что эти источники не так сильно отличаются друг от друга по своим свойствам за исключением воды «Пештасар» и составляют основной потенциал геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана. Таблица 2 - Коэффициенты A , B , C уравнения (1) для геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана

Воды	A	B	C
Арус	22.9559	3874.47	-31.6874
Алибад	22.7030	3691.06	-38.4193
Пештасар	22.7613	3544.47	-38.6595
Шалала	23.2279	3889.92	-38.8469
Мирзахан	23.6111	4186.88	-25.1102
Союгбулаг	22.8490	3628.01	-49.5363
Корбулаг	22.8636	3703.83	-44.4623
Баг-булаг	23.3880	3968.37	-38.4121

Впервые были исследованы давления насыщенных паров геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана. Полученные данные были сравнены с давлением насыщенных паров чистой воды, и получены коэффициенты

уравнения Антуана. Растворенные газы играют значительную роль при исследовании давления насыщенных паров образцов. Сегодня геотермальные и минеральные воды Ярдымлинского района Азербайджана используются в основном в лечебных и питьевых целях. Используя природные богатства района и отличный климат, из которых преобразуются и обогащаются эти водные источники, здесь можно развивать туристические, лечебные и др. объекты, и оказывать услуги населению. В этом направлении ведутся различные работы. В районе уже создано несколько центров отдыха и туристических баз, где есть все условия для гостей.