

Ю.В. Аграфонов, О.А. Подмурная, Н.И. Дубовиков

**Влияние неидеальности газа на измерение влажности***Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, г. Иркутск*

Поступила в редакцию 14.04.2003 г.

Экспериментально определено, что при давлении 10 МПа и температуре от 10 до 100 °С отклонение молярной доли влаги в сжатом азоте от соответствующей величины в идеальном газе достигает 42%. Получены зависимости повышающего коэффициента влажного азота от давления и температуры. Различие повышающих коэффициентов влажного азота и влажного воздуха не превышает погрешность проведенных исследований.

Водяной пар является важной составляющей земной атмосферы, определяющей процессы облако- и осадкообразования, перенос излучения в атмосфере, влияющий на характер климата. Кроме того, влажность воздуха — это один из основных метеорологических элементов. Среди наиболее актуальных проблем развития систематических аэрологических измерений особую роль играет метрологическое обеспечение используемых средств измерений, важным элементом которого является адекватность технических характеристик оптических средств измерений при их эксплуатации в свободной атмосфере и при выполнении метрологических работ в лабораторных условиях, проводимых, как правило, с использованием азота.

Давление насыщенного водяного пара  $e(t)$  в случае идеального газа записано в психрометрических таблицах для разных температур. В реальном газе при измерении молярной доли  $x$  влажности газа необходимо ввести поправки, зависящие от давления температуры. Для оценки отклонений молярной доли влаги в реальном газе от идеальной модели широко применение получил повышающий коэффициент  $f$ , в этом случае молярная доля влаги  $x$  вычисляется как

$$x = fe(t)/P,$$

где  $P$  — давление газа;  $e(t)$  — давление насыщенного водяного пара при температуре  $t$ .

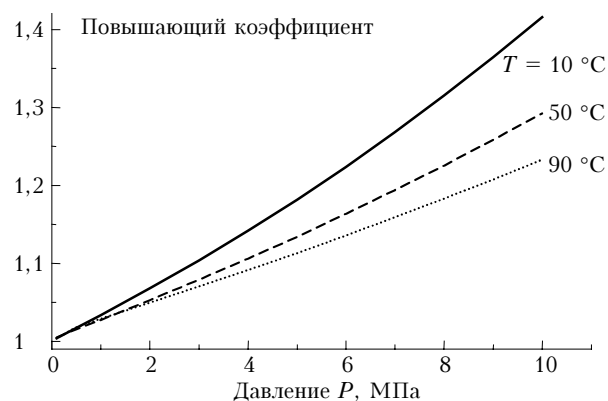
Цель настоящей работы заключалась в исследовании повышающего коэффициента влажного азота, характеризующего отклонения молярной доли влаги в реальном газе от соответствующей величины для модели идеального газа, при давлении до 10 МПа и температуре  $t$  от 10 до 100 °С.

Экспериментальные исследования повышающего коэффициента влажного азота проведены на установке высшей точности УВТ 103-А-2001 [1], разработанной и аттестованной в ВС НИИФТРИ и зарегистрированной в ВНИИМС. Относительная погрешность определения повышающего коэффици-

ента не превышает  $\pm 1,5\%$  при доверительной вероятности 0,95. Данная установка позволяет создавать газ с метрологически обоснованными значениями влажности в диапазоне температур от 0 до 60 °С и давлений от 0,1 до 10 МПа.

Сжатый газ, поступающий от внешнего источника через систему стабилизации высокого давления, подается в насытитель, где происходит насыщение его водяным паром. Далее на дросселе происходит снижение давления газа до требуемого значения, и он поступает к внешнему средству измерения — гигрометру, измеряющему молярную долю влаги. Насытитель и дроссель помещаются в водяной термостат, где задается и поддерживается необходимая температура.

После совместной обработки полученных авторами экспериментальных данных и результатов исследований [2–5] найдены зависимости повышающего коэффициента влажного азота от давления и температуры. Как видно из рисунка и табл. 1, в рассматриваемом диапазоне исследований отклонения молярной доли влаги в реальном азоте от соответствующей величины для идеального газа (характеризуемое повышающим коэффициентом) изменяется от 1 до 1,42 (т.е. достигает 42%).



Зависимости повышающего коэффициента влажного азота от давления газа

Таблица 1

## Повышающий коэффициент влажного азота

Давление <i>P</i> , МПа	Температура, °С				
	10	30	50	70	90
0,1	1,0039	1,0043	1,0052	1,0060	1,0040
0,5	1,0169	1,0155	1,0153	1,0163	1,0182
1	1,0334	1,0296	1,0276	1,0274	1,0289
2	1,0678	1,0588	1,0529	1,0498	1,0495
3	1,1039	1,0893	1,0791	1,0729	1,0703
4	1,1419	1,1211	1,1063	1,0967	1,0916
5	1,1819	1,1542	1,1345	1,1213	1,1133
6	1,2240	1,1889	1,1638	1,1467	1,1359
7	1,2684	1,2251	1,1942	1,1728	1,1592
8	1,3150	1,2629	1,2258	1,2002	1,1832
9	1,3643	1,3024	1,2587	1,2283	1,2079
10	1,4161	1,3438	1,2928	1,2574	1,2334

Таким образом, влияние неидеальности газа более сильно при низких температурах и высоких давлениях, что необходимо учитывать в практике измерения влажности газа.

Так как экспериментальных данных по повышающим коэффициентам азота, определенных с метрологически обоснованными значениями, в других работах нет, представляется интересным сравнение с литературными справочными данными по влажному воздуху [6], тем более что азот составляет его большую часть.

Из табл. 2 видно, что относительное расхождение результатов не превышает погрешность настоящих исследований. Подобный факт отмечался и при отрицательных температурах в [7].

Таким образом, полученные данные решают задачу оценки и учета неидеальности реального влажного азота.

*Yu. V. Agrafonov, O. A. Podmurnaya, N. I. Dubovikov. Effect of gas non-ideality on humidity measurements.*

It was found experimentally that the deviation of water vapor mole fraction in compressed nitrogen from that predicted by the ideal gas laws achieves 42% at the pressure of 10 MPa and the temperature from 10 to 100 °C. The dependence of the enhancement factor on temperature and pressure was obtained. The difference between the enhancement factors of moist nitrogen and air was estimated to be within experimental errors.

Таблица 2

Относительное расхождение ( $\delta f$ , %) повышающего коэффициента влажного азота и влажного воздуха

Давление <i>P</i> , МПа	Температура, °С				
	10	30	50	70	90
0,1	—	0,01	0,01	—	—
0,5	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
1	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09
2	0,17	0,14	0,16	0,17	0,20
4	0,34	0,36	0,39	0,43	0,43
6	0,74	0,75	0,76	0,67	0,70
8	1,30	1,2	1,1	1,1	1,0
10	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4

1. Гудков О.И., Дубовиков Н.И., Подмурная О.А., Пляксин Г.Е. Установка для определения влагосодержания газов при давлении до 10 МПа // Измерит. техн. 2001. № 12. С. 58–59.
2. Righy M., and Prausnitz J.M. Solubility of water in compressed nitrogen, argon and methane // J. Phys. Chem. 1968. V. 72. № 1. P. 330–334.
3. Масленникова В.Я., Вдовина Н.А., Циклис Д.С. Растворимость воды в сжатом газе // Ж. физ. хим. 1971. Т. 45. № 9. С. 781.
4. Giles P.C., Wilson G.M. Vapor-liquid equilibrium data on water-substitute gas components // Research Report 41. Gas Processors Association. 1980. P. 2384.
5. Bartlett E.P. The concentration of water vapor in compressed hydrogen, nitrogen and mixture of these gases in the presence of condensed water // J. Amer. Chem. Soc. 1927. V. XLIX. N 1. P. 65–79.
6. Hyland R.W. A correlation for the second interaction virial coefficient and enhancement factors for moist air // J. Res. NBS. A. 1975. V. 79. N 4. P. 551–560.
7. Таблицы рекомендуемых справочных данных. Системы газ-лед. Растворимость льда в азоте и воздухе в диапазоне температур от минус 50 °С до минус 2 °С и давлений от 0,2 МПа до 61 МПа. ГССД Р88-84. М.: Изд-во стандартов, 1984. 44 с.