

УДК 622.691

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНОГО АМІАКУ, ЩО ПЕРЕКАЧУЄТЬСЯ МАГІСТРАЛЬНИМИ АМІАКОПРОВОДАМИ

**В. В. Рис, О. М. Сусак**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
тел. +380 (3422) 72-71-31; e-mail: math@iung.edu.ua*

*В роботі запропоновано методику розрахунку густини технічного аміаку марки АК, що перекачується магістральним аміакопроводом. На відміну від існуючих методик в роботі враховано другий віріальний коефіцієнт рівняння стану рідкого аміаку, густина води визначається із урахуванням абсолютного тиску та температури із рівняння питомої енергії Гіббса та враховується об'ємна частка води.*

**Ключові слова:** *технічний аміак, аміакопровід, рівняння стану*

Аміак належить до найважливіших продуктів хімічної промисловості. Використовується для виробництва азотних добрив (нітрат і сульфат амонію, сечовина), вибухових речовин і полімерів, азотної кислоти, соди (по аміачному методу) та інших продуктів хімічної промисловості. Рідкий аміак використовують як розчинник. В холодильній техніці використовується в якості холодильного агента (R717).

Аміак – неорганічна сполука, безбарвний газ з характерним різким запахом і їдким смаком. Він майже у два рази легший від повітря. При – 33,35°С і атмосферному тиску аміак скраплюється в безбарвну рідину, а при – 77,75 С замерзає, перетворюючись у безбарвну кристалічну масу.

Аміак – один з найбільш великотоннажних продуктів хімічної індустрії. Пошуки шляхів зниження собівартості аміаку привели до створення агрегатів його синтезу великої одиничної потужності.

Для транспортування великих об'ємів на значні відстані економічно вигідним є транспортування аміаку по трубопроводах. Магістральний аміакопровід (МА) – технологічний комплекс, який функціонує як єдина система і до якого входить окремий трубопровід з усіма об'єктами і спорудами (підвідними трубопроводами, головною і проміжними насосними станціями, кінцевою станцією, роздавальними станціями та іншими інженерними спорудами), пов'язаними з ним єдиним технологічним процесом, кількома трубопроводами, якими здійснюються транзитні, міждержавні, міжрегіональні поставки рідкого аміаку споживачам.

Практика експлуатації магістрального аміакопроводу розкрила ряд суттєвих проблемних місць, пов'язаних як технологією транспортування, так і з процесом обліку рідкого аміаку. Серед них:

- визначення точної масової кількості рідкого аміаку в магістральному аміакопроводі;
- визначення точної масової кількості рідкого аміаку, що відпускається споживачам на кінцевій станції та роздавальних станціях;
- створення системи обліку витрати аміаку з мінімальними значеннями похибок;
- визначення технологічних втрат аміаку в процесі перекачування та на етапі ремонтних і аварійних робіт;
- раціональне використання потужностей магістрального аміакопроводу для забезпечення максимального значення продуктивності трубопроводу.

Для забезпечення безаварійної роботи магістрального аміакопроводу з максимальною продуктивністю, мінімальними технологічними втратами та максимально точним обліком транспортованого аміаку необхідно включити пошук і методи розв'язання вищенаведених проблем.

Основою нормативного забезпечення щодо розрахунку матеріального балансу аміаку в трубопроводі є розрахунок фізичних властивостей технічного аміаку марки АК, який є складовою та невід'ємною частиною таких елементів як: системи обліку та системи перевірки вузлів обліку, розрахунку маси аміаку на окремих ділянках системи та в МА в цілому, витрат та втрат аміаку під час транспортування, а тому одним із перших етапів розрахунку повинна бути методика визначення фізичних властивостей аміаку

Рівняння стану чистого рідкого аміаку для умов магістрального аміакопроводу має вигляд

$$P = \rho \cdot R \cdot T \left( 1 + \rho \cdot Q + \rho^2 \cdot \frac{\partial Q}{\partial \rho} \right), \quad (1)$$

де  $P$  – абсолютний тиск, МПа;  $\rho$  – густина аміаку;

$R$  – газова стала аміаку ( $R = 0,488196$  Дж/кг·К);

$T$  – абсолютна температура аміаку, К;

$Q$  – функція що описує термодинамічну поверхню та визначається за залежністю

$$Q = \sum_i^9 \sum_j^6 a_{ij} \cdot \rho^{i-1} (\tau - \tau_{кр})^{j-1}, \quad (2)$$

де  $a_{ij}$  – коефіцієнти термодинамічної поверхні, які наведено в табл. 1;

$\tau$  – зведена температура,

$$\tau = \frac{50^\circ\text{C}}{T}. \quad (3)$$

Табл. 1. Коефіцієнти термодинамічної поверхні аміаку

Назва параметру			Назва параметру		
<i>i</i>	<i>j</i>	$a_{ij}$	<i>i</i>	<i>j</i>	$a_{ij}$
1	1	-6.453022304	4	5	1.779548269
1	2	-13.71992677	4	6	-38.97461096
1	3	-8.100620316	5	1	-66.92285882
1	4	-4.880096421	5	2	-1.753943775
1	5	-12.02877563	5	3	208.5533713
1	6	6.80634593	5	4	21348.94661
2	1	8.080094368	6	1	247.341746
2	2	14.35692001	6	2	299.9839155
2	3	-45.0529767	6	3	4509.080579
2	4	-166.1889986	6	4	-37980.84988
2	5	37.90895023	7	1	-306.5578854
2	6	-40.73020833	7	2	24.1165511
3	1	1.032994881	7	3	-9323.3568
3	2	55.84395581	7	4	42724.09853
3	3	492.0166508	8	1	161.7910033
3	4	1737.835999	8	2	-507.4780705
3	5	-30.87491526	8	3	8139.470397
3	6	71.48353042	8	4	-27458.71063
4	1	-8.948264632	9	1	-27.82168879
4	2	-169.7777441	9	2	298.8129173
4	3	-1236.532372	9	3	-2772.597352
4	4	-7812.161168	9	4	7668.928678

Визначання густини рідкого аміаку за заданими значеннями абсолютного тиску і температури проводиться методом послідовних наближень.

Рівняння стану води для умов магістрального аміакопроводу має вигляд:

$$\frac{P}{\rho_{H_2O} \cdot R_{H_2O} \cdot T} = \pi \cdot \gamma_{\pi}, \quad (4)$$

де  $\rho_{H_2O}$  – густина води за заданого абсолютного тиску та температури;

$R_{H_2O}$  – газова стала води,  $R_{H_2O} = 0,461526$  Дж/кг·К;

$\pi$  – зведений тиск,  $\pi = \frac{P}{16,53}$ ;

$$\gamma_{\pi} = \left( \frac{\partial \gamma}{\partial \pi} \right)_{\tau}, \quad (5)$$

де  $\gamma(\pi, \tau)$  – рівняння питомої енергії Гіббса для діапазону до 100 МПа та температури до 623 К.

$$\gamma(\pi, \tau) = \sum_i^{34} n_i \cdot (7,1 - \pi)^{I_i} \cdot (\tau - 1,222)^{J_i}, \quad (5.1)$$

де  $\tau$  – зведена температура води,  $\tau = \frac{1386}{T}$ ;  $n_i$ ,  $I_i$ ,  $J_i$  – коефіцієнти та показники степені рівняння Гіббса, які наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Коефіцієнти та показники степені для рівняння питомої енергії Гіббса

№	Показники степені		Коефіцієнти рівняння Гіббса	№	Показники степені		Коефіцієнти рівняння Гіббса
$i$	$I_i$	$J_i$	$n_i$	$i$	$I_i$	$J_i$	$n_i$
1	0	-2	1.46329712E-01	18	2	3	-4.41418453E-06
2	0	-1	-8.45481872E-01	19	2	17	-7.26949963E-16
3	0	0	- 3.75636037E+00	20	3	-4	-3.16796448E-05
4	0	1	3.38551692E+00	21	3	0	-2.82707980E-06
5	0	2	-9.57919634E-01	22	3	6	-8.52051281E-10
6	0	3	1.57720385E-01	23	4	-5	-2.24252819E-06
7	0	4	-1.66164172E-02	24	4	-2	-6.51712229E-07
8	0	5	8.12146300E-04	25	4	10	-1.43417299E-13
9	1	-9	2.83190801E-04	26	5	-8	-4.05169969E-07
10	1	-7	-6.07063016E-04	27	8	-11	-1.27343017E-09
11	1	-1	-1.89900682E-02	28	8	-6	-1.74248712E-10
12	1	0	-3.25297488E-02	29	21	-29	-6.87621313E-19
13	1	1	-2.18417172E-02	30	23	-31	1.44783078E-20
14	1	3	-5.28383580E-05	31	29	-38	2.63357817E-23
15	2	-3	-4.71843211E-04	32	30	-39	-1.19476226E-23
16	2	0	-3.00017808E-04	33	31	-40	1.82280946E-24
17	2	1	4.76613939E-05	34	32	-41	-9.35370873E-26

Розрахунок параметрів технічного аміаку проводиться за залежністю

$$\rho_{\text{сум}} = x_{\text{NH}_3} \cdot \rho_{\text{NH}_3} + x_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta \rho_{t,x}, \quad (6)$$

де  $\rho_{\text{NH}_3}$  та  $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  – відповідно густина чистого аміаку та води за заданих абсолютного тиску та температури;

$x_{\text{NH}_3}$  та  $x_{\text{H}_2\text{O}}$  – відповідно об'ємні частки аміаку та води, част. од;

$\Delta\rho_{t,x}$  – температурна поправка.

$$\Delta\rho_{t,x} = (x_{NH_3} \cdot x_{H_2O} - A \cdot x_{NH_3}^2 \cdot x_{H_2O}) \cdot \rho_{NH_3}^{0,5} \cdot \rho_{H_2O}^{0,5}, \quad (7)$$

де  $A$  – параметр, який є функцією температури

$$A = \sum_{i=0}^2 A_{1,i} \cdot T^i + \frac{\sum_{i=0}^2 A_{2,i} \cdot T^i}{x_{NH_3}}. \quad (8)$$

Коефіцієнти рівняння (8) для розрахунку параметру  $A$  подано в табл. 3.

Таблиця 3.

Назва параметру	$i = 0$	$i = 1$	$i = 2$
$A_{1,i}$	-2,410	8,310	-6,924
$A_{2,i}$	2,118	-4,050	4,443

### Висновки.

Запропонована методика дозволяє із заданою точністю ( $10^{-4}$ ) визначати густину технічного аміаку марки АК із урахування вмісту води, що в свою чергу дозволяє більш точно виконувати прогнозування гідравлічних режимів роботи магістрального аміакопроводу за стаціонарних та нестационарних режимів роботи. Використання запропонованих залежностей на практиці дозволить розробити комплекс нормативної документації із урахуванням сучасних вимог, щодо експлуатації обладнання магістрального аміакопроводу.

### Література

1. Теплофизические свойства аммиака / И.Ф. Голубев, В.П. Кияшова, И.И. Перельштейн, Е.Б. Парушин. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 264 с.
2. Thermodynamic properties of ammonia. Lester Haar and John S. Gallagher. National measurement laboratory, National Bureau of Standards, Washington, D.C. 20234.
3. Appl, Max, Ammonia: principles and industrial practice / Max Appl. – Weinheim; New York: Chichester; Brisbane; Singapore; Toronto: Wiley-VCH, 1999. – ISBN 3-527-29593-3
4. ГОСТ 6221-90 Межгосударственный стандарт. Аммиак безводный сжиженный. Технические условия. Издание официальное. (Изм. №1 к ГОСТ 6221-90 от 01.03.2009) – Москва: Стандартинформ, 2011. – 24 с.
5. Барабаш О.І. Транспортування рідкого аміаку магістральним трубопроводом територією України / О.І.Барабаш. – Київ, 2010. – 142 с.

6. ПБ 08-258-98 Правила устройства и безопасной эксплуатации магистрального трубопровода для транспортировки жидкого аммиака. – Москва, 1998. – 52 с.
7. Ведомственные строительные нормы Украины. Сооружения транспорта. Магистральные трубопроводы для транспортировки жидкого аммиака (аммиакопроводы). ВБН В.2.3-06544.319-2003. Издание официальное. Минпромполитики Украины. – Киев, 2003.
8. ГСТУ 3-041-2003. Отраслевой стандарт Украины. Магистральные трубопроводы для транспортировки жидкого аммиака (аммиакопроводы). Правила технической эксплуатации. Издание официальное. – Минпромполитики Украины. 2003.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 26.02.2016 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Грудзом В.Я.,  
д.т.н., професором Середюк М.Д.*

### **THE SPECIFY OF THE CALCULATION OF THE DENSITY OF TECHNICAL AMMONIA WHICH ARE PUMPED BY AMMONIA PIPELINE**

**V. V. Rys, O. M. Susak**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;  
76019, Ivano-Frankivsk, Carpathians str., 15;  
ph. +380 (342) 72-71-31; e-mail: math@nung.edu.ua*

*The method of calculating of the density of technical ammonia which are pumped by ammonia pipeline was proposed. The ammonia density is determined based on the second virial coefficient, the density of water is determined according to the equation Gibbs energy taking into account absolute pressure and temperature of water*

**Key words:** *ammonia, equation of state, density.*