

Виробнича тара для технічних газів (особливості вибору)

О.В. Ватренко, д.т.н., С.Ю. Вігуржинська, к.е.н., Одеська національна академія харчових технологій

У сучасних наукомістких технологіях широко використовують рідкісні гази. Їх випуск сконцентрований в індустріальних регіонах, де попит на названі продукти досить обмежений. З появою нових сфер застосування розширюється географія постачань і росте число віддалених споживачів рідкісних газів. У формуванні вартості продукту суттєве значення має транспортна складова, причому відносна частка витрат на перевезення залежить від вартості рідкісного газу та виду виробничої тари. Транспортна складова мінімальна для ксенону, обсяг якого в атмосфері всього $y(\text{Xe}) = 8,6 \cdot 10^{-6}\%$, а світове виробництво не перевищує $G(\text{Xe}) = 100$ т/рік. Значною мірою витрати на перевезення даються взнаки при продажу аргону. Вміст цього газу в повітрі становить $y(\text{Ar}) = 0,93\%$, а обсяг світового виробництва $G(\text{Ar}) > 2$ млн т/рік. Із зазначеної причини в цій роботі розглянуто транспортну задачу стосовно перевезень аргону.

Аргон – найважливіший промисловий газ. Саме аргон першим з інертних газів був використаний в ХХ ст., спочатку в освітлювальній техніці, а потім в металургії та зварюванні. У даний час зростає частка аргону, споживаного в харчовій промисловості, будівництві, електроніці та інших сучасних технологіях [1].

Аргон може відпускатися споживачам у вигляді криогенної рідини по трубопроводах, в залізничних ємностях, танкерах, автоцистернах [2]. Для забезпечення газових поставок використовують окремі балони або транспортні реципієнти, утворені групами ємностей високого тиску [3]. Таким чином, для доставки й зберігання аргону використовуються різні види металевої виробничої тари. Ця робота охоплює середні обсяги продажів (від десятків до сотень тонн на місяць), що забезпечуються переважно автомобільним транспортом.

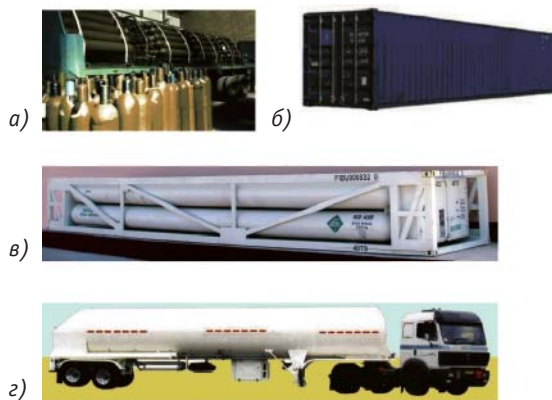


Рис. 1. Основні типи вантажних одиниць та транспортних ємностей, які використовуються для середньотоннажних перевезень аргону

За невеликих потреб в газоподібному аргоні його, як правило, відвантажують у балонах під тиском 15–20 МПа. При цьому вони можуть бути змонтовані на автотрейлері у вигляді єдиної групи зі 100–200 шт. типових балонів (рис. 1а) або доставлятися розсипом у стандартних контейнерах в кількості до 350 шт. (рис.1б). Таким чином реалізується значна частина аргону високої чистоти, спеціальних газових сумішей на його основі для лампової та електронної промисловості. Балонний варіант поставок

досить складний, тому що найчастіше замовники висувають особливі вимоги до різновиду балонів, чистоти продукту та супутнього обладнання. Крім того, газоподібний аргон і його суміші можуть бути в кілька разів дорожчі, ніж оптовий продукт. Незважаючи на те, що «балонний» аргон за обсягом становить лише половину виробленої кількості, його вартість перевищує 3/4 вартості всього товару, що продається.

Дрібнооптові поставки газу можуть забезпечуватися також реципієнтами. Такі спеціалізовані контейнери утворені групою (зазвичай не більше десятка) горизонтальних ємностей високого тиску (рис. 1в). Перевагою газового варіанта перед криогенно-рідинним є відсутність втрат внаслідок випаровування продукту при тривалому зберіганні.

Перевезення зрідженого аргону автотранспортом здійснюються в горизонтальних спеціалізованих ємностях місткістю 1–30 м³ (рис. 1г) [4, 5]. Зберігання речовини в рідкому вигляді дає змогу зменшити її об'єм у 800 разів відносно нормальних умов. Недоліком криогенних поставок є випаровування аргону за рахунок нагрівання від навколишнього середовища. Використання ємностей із теплоізоляцією високої якості знижує відносні втрати продукту в сучасних ємностях до 0,2–0,5% на добу.

Типові схеми поставок аргону показані на рис. 2. Продукт накопичується виробником у вигляді рідини, а використовується споживачем переважно у вигляді газу. Газифікація аргону можлива як до перевезення (варіанти а, б, в), так і після доставки споживачеві, як впливає з варіанта г. При розгляді способів доставки аргону в балонах (табл. 1) прагнули не виходити за межі 40-футового контейнера. У той же час дотримувалася умова максимального заповнення зазначеного об'єму, якщо це не суперечило технологічним, транспортним або іншим обмеженням. Під час аналізу варіанта г за основу було взято інформацію про характеристики цистерн фірми Febox [4]. З табл. 1 видно, що коефіцієнт завантаження вантажної одиниці, що дорівнює відношенню маси продукту до маси тари, істотно

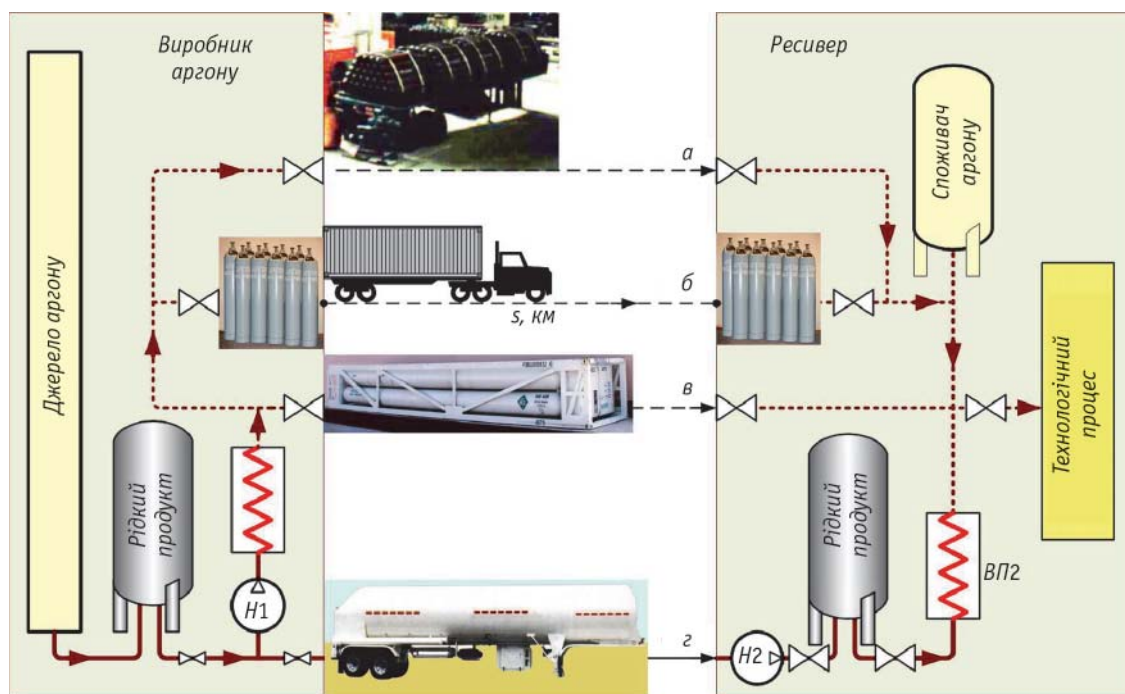


Рис. 2. Типові схеми постачання аргону споживачеві: Н1, Н2 – насоси рідкого аргону; ВП1, ВП2 – випарювачі (газифікатори) аргону

змінюється при переході від варіанта *a* до більш ефективних варіантів, наприклад, *г*.

Розрахункові формули, які характеризують кожний із варіантів, представлено в табл. 2. Там же для наочності показано чисельні значення величин для випадку, коли доставка аргону здійснюється на відстань $S = 1000$ км. На першому етапі розрахункових досліджень були знайдені гранично можливі обсяги перевезень G залежно від відстані S . При визначенні періоду ходки T_I враховувалися швидкість об'єкта w і непродуктивні втрати часу. До них входять як вантажні операції, так і середньостатистичні витрати часу на оформлення документації, підготовку транспорту тощо.

Наприклад, час наповнення автотрейлера газоподібним продуктом багато в чому визначається продуктивністю

насоса $H1$ (рис. 2) газифікаційної станції. Амортизаційні відрахування A на додаткове обладнання визначалися за спрощеною залежністю з урахуванням терміну служби об'єкта T_o (табл. 2).

Запропонована методика аналізу транспортних операцій дає змогу оцінити не тільки витрати, але й потенційні можливості кожного з варіантів, що продемонстровано на рис. 3. Наприклад, при відстані $S = 1000$ км обсяг перевезень $G = 1000$ т/рік не може бути забезпечений автотрейлером ($g_{v1} = 2,3$ т) і контейнером з балонами ($g_{v2} = 4,4$ т). Їх залежності проходять нижче точки r_{1000} , а граничні можливості становлять лише 420 і 700 т/рік відповідно. Для безперебійного перевезення заданої кількості ($G = 1000$ т/рік) на відстань $S = 1000$ км будуть потрібні три трейлери або два контейнери з балонами. Тобто мова йде про придбан-

Таблиця 1. Характеристики варіантів доставки аргону

Параметр	Газоподібний Ar			Рідкий Ar	
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	
Тип вантажної одиниці	автотрейлер	балон	контейнер	реципієнт	цистерна
Кількість ємностей, шт.	180	1	338	8	1
Гідралічний об'єм, м ³	1 шт.	0,049	0,049	2,18	19,3
	Σ	8,8	16,6	17,4	
Коефіцієнт заповнення тари, %	100	100	100	100	91
Добові втрати продукту при перевезенні, %	0	0	0	0	0,75–1,5
Габаритні розміри, м	9,4×2,4×2,4	∅0,23×1,6	12,2×2,4×2,6	12,2×2,4×1,3	9,4×2,4×3,4
Маса продукту g , т	2,3	0,013	4,4	8,3	24,3
Маса тари M_r , т	18,0	0,065	25,9	17,1	6,9
Коефіцієнт завантаження $K=g/M_r$	0,13	0,2	0,17	0,49	3,5

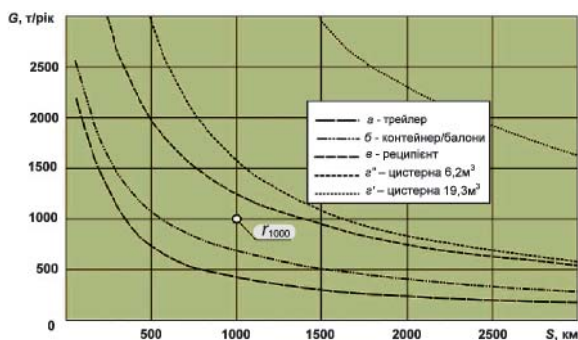


Рис. 3. Річний потенціал перевезень за 100%-го завантаження транспортних об'єктів (позначення варіантів відповідає табл. 1), точка G_{1000} відповідає умовам прикладу табл. 2

ня одного-двох додаткових транспортних об'єктів, серед них платформ і тягачів.

Як випливає з рис. 3, річний потенціал «рідинних» об'єктів істотно перевищує прийнятий в прикладі обсяг. Наприклад, за організації доставки $G = 1000$ т/рік цистерною $v = 19,3$ м³ (варіант z') вона буде завантажена лише на 25%. Для забезпечення зазначених в прикладі умов ($S = 1000$ км, $G = 1000$ т/рік) прийнятною виявиться цистерна об'ємом $v = 6,2$ м³.

Питомі витрати на перевезення товару (табл. 2) складаються з двох компонентів. Перша складова $P_A = A/G$ відображає розмір амортизаційних відрахувань і не залежить від відстані. Друга — $P_T = \frac{2 \cdot c}{g_i} \cdot S$ — враховує власне витрати

на перевезення та пропорційна відстані S , де c — транспортний тариф, €/км; g_i — вага продукту, т.

Витрати на доставку аргону різними вантажними одиницями ілюструються на рис. 4, причому кожна вантажна одиниця є окремим транспортним об'єктом. Для зручності зіставлення було узгоджено масштаби відповідних шкал. Амортизаційна складова P_A для кожного з варіантів інтерпретується відрізком вертикальної шкали, що відсікається графіками при $S = 0$. Нахил графіків питомих витрат (кутовий коефіцієнт α) пропорційний до подвоєного транспортного тарифу ($2c$), поділеному на вагу продукту (g_i).

Аналіз залежностей показує, що основною часткою витрат на перевезення є транспортна складова P_T . У той же час для аналізованих варіантів розмір амортизаційних відрахувань P_A практично не впливає на економічні показники перевезень. Вартість вантажної одиниці починає проявлятися тільки у варіанті z при використанні 24-тонної кріоцистерни для доставки занадто малих обсягів аргону ($G < 250$ т/рік). Це, мабуть, єдиний випадок, коли пере-

Таблиця 2. Умовні позначення і методика розрахунку

Параметр	Вантажна одиниця		Газоподібний Ar			Рідкий Ar		
	Позначення	Од. виміру	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>z</i>		
			автотрейлер	балони в контейнері	спец-контейнер	цистерни		
Відстань	<i>S</i>	км	100–2500 (нижче для прикладу $S = 1000$ км)					
Річна маса продукту	<i>G</i>	т/рік	100–3000					
Місткість (фактична)	<i>v</i>	м ³	8,8	16,6	17,4	17,6	6,1	
Вага продукту	<i>g_i</i>	т	2,3	4,4	8,3	24,3	8,5	
Непродуктивні втрати часу	Підготовка тари	<i>t₁</i>	год.	2	5	2	2	2
	Наповнення	<i>t₂</i>	год.	6	5	12	5	3
	Відвантаження	<i>t₃</i>	год.	2	5	5	5	3
Період однієї ходки	$T_1 = t_1 + t_2 + t_3 + \frac{2 \cdot S}{w}$		год.	50	55	59	52	48
Гранична кількість ходок	$n_{\max} = \frac{365 \cdot 24}{T_1}$		шт.	175	160	150	170	183
Максимальний об'єм транспортованого продукту	$G_{\max} = n_{\max} \cdot g_i$		т	403	704	1 245	4 131	1 555
Витрати на амортизацію вантажної одиниці	$A = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{T_0}$		€/рік	1 012	11 450	16 080	12 790	4 120
Вартість доставки 1 т Ar на 1000 км	$P_{\Sigma} = \frac{A}{G} + \frac{2 \cdot c}{g} \cdot S$		€/т	864	466	256	87	163

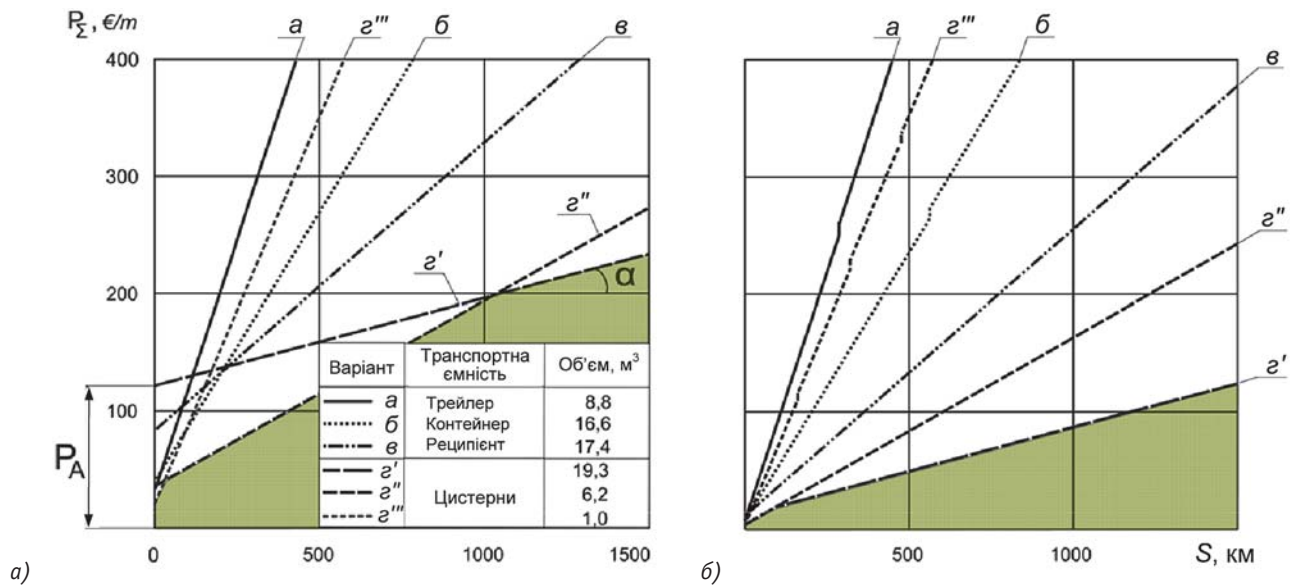


Рис. 4. Вплив обсягу й дальності перевезень на структуру питомих витрат: а) $G = 100$ т/рік; б) $G = 1000$ т/рік

везення рідкого аргону виявляються дорожчими, ніж газоподібного. Для більших обсягів ($G > 250$ т/рік) практично у всьому інтервалі відстаней S доставка аргону у вигляді рідини виявляється значно дешевшою від варіантів $a, б, в$.

Висновки

На вибір способу доставки газових продуктів визначальний вплив мають маса продукту й віддаленість споживача від постачальника. Для кожного з варіантів існує граничний річний обсяг вантажоперевезень. Перевищення згаданого порогу досягається тільки шляхом збільшення числа транспортних об'єктів та пов'язане зі зростанням капітальних витрат. Практично у всьому дослідженому масиві значень S і G найбільш вигідним є перевезення аргону у вигляді рідини. У свою чергу, серед «газових» варіантів $a, б, в$ більш привабливим є великотоннажний спецконтейнер (реципієнт), який «перекриває» значний інтервал відстаней і обсягів вантажоперевезень.

Отримані співвідношення справедливі практично для будь-яких наборів S і G . Проведений аналіз можна розглядати як фрагмент ширшого спектру транспортних завдань, включаючи великі обсяги перевезень ($G \geq 10\,000$ т/рік). Запропоновану методику надалі можна поширити на інші способи безперервного постачання кріопродуктів споживачам, наприклад, при оцінці трубопровідних, танкерних і залізничних способів доставки рідкого метану.

Література

1. Лепихин А.П. Эффективное использование технических газов и энергосберегающие технологии при производстве электростали // Технические газы. — 2004. — № 1. — С. 46–51.
2. Алексеев В.П., Поберезкин А.Э., Лось В.И. Оборудование для производства аргона. М.: Машиностроение. — 1972. — 247 с.

3. Weldship Corporation. New Model Maximum Capacities All from Weldship. // CryoGasInternational. — 1999. — V. 37, No. 11. — P. 11.

4. Černý M., Bureš I., Mudroch K. Design of Cryo-genic ISO Containers. // Proc. 8-th Int. Conf. of IIR «Cryogenics 2004». Praha, 2004. — P. 118–122.

5. Современное оборудование для хранения, газификации и транспортирования жидких продуктов разделения воздуха и жидкого метана / Э. Зайдлерова, М. Мокер, В. Хрз и др. // Технические газы. — 2005. — № 1. — С. 30–36.

Производственная тара для технических газов (особенности выбора)

А.В. Ватренко, д.т.н., С.Ю. Вигуржинская, к.э.н.

Рассмотрены варианты транспортирования газовых продуктов. На примере аргона сделано сравнение перевозок газообразных и жидких веществ автомобильным транспортом. Приводится методика оценки затрат с учетом типа грузовой единицы и соответствующих транспортных и эксплуатационных факторов. Показано влияние объема поставок и расстояния на стоимость доставки продукта.

Ключевые слова: газы; аргон; грузовая единица; транспортные расходы.

Technical gases package (features of choice)

O. Vatrenko, Dr., S. Vihurghinska, PhD

Variants of gas products delivery have been considered. The transportations of gaseous and liquid products by motor transport have been compared by the example of argon. A methods of estimating expenses including the type of cargo unit and relevant transportation and operating costs has been given. An influence of a lot size and transportation distance on the cost of a product delivery has been shown.

Key words: gases; argon; cargo unit; transport charges.