
Фізико-технічні проблеми транспорту та зберігання енергоносіїв

УДК 622.691.4

CNG ТЕХНОЛОГІЇ. ТЕХНОГЕННА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ СУДНАМИ-КОНТЕЙНЕРОВОЗАМИ

О.М. Мандрик, О.М. Сусак

ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,
e-mail: ief@nung.edu.ua, tzng@nung.edu.ua

Розглядаються питання екологічної та техногенної безпеки експлуатації рухомих трубопроводів. Проведено комплекс розрахунків об'єму витісненого азотом та природним газом повітря в процесі заповнення рухомого трубопроводу. Визначено граничні умови по концентрації суміші азоту та природного газу, встановлено оптимальні параметри процесу продування, виходячи із вимог техногенної безпеки та дотримання якості природного газу. Встановлено, що тиск азоту в процесі витіснення повинен бути в межах від 15 до 25 бар за умов подальшого заповнення трубопроводу природним газом із абсолютним тиском в 56 бар, з метою формування стійкого фронту витіснення азоту та уникнення активного перемішування з природним газом. Витіснення повітря вважається завершеним, якщо вміст кисню в газі, що виходить із трубопроводу, не перевищує 0,5%, суміш азоту та природного газу, що подається споживачу, повинна містити азоту не більше 9,5% (об'ємна частка) з метою дотримання вимог з якості природного газу

Ключові слова: CNG судно, математичне моделювання режимів руху газу, газова динаміка, нестационарні процеси, послідовне перекачування газів.

Рассматриваются вопросы экологической и техногенной безопасности эксплуатации подвижных трубопроводов. Проведен комплекс расчетов объема вытесненного азотом и природным газом воздуха в процессе заполнения подвижного трубопровода. Определены граничные условия по концентрации смеси азота и природного газа, установлены оптимальные параметры процесса продувки, исходя из требований техногенной безопасности и соблюдения качества природного газа. Установлено, что давление азота в процессе вытеснения должно быть в пределах от 15 до 25 бар, в условиях дальнейшего заполнения трубопровода природным газом с абсолютным давлением в 56 бар, с целью формирования устойчивого фронта вытеснения азота во избежание активного перемешивания его с природным газом. Вытеснение воздуха считается завершенным, если содержание кислорода в выходящем из трубопровода газе, не превышает 0,5%, смесь азота и природного газа, подаваемого потребителю должна содержать азота не более 9,5% (объемная доля) с целью соблюдения требований по качеству природного газа

Ключевые слова: CNG судно, математическое моделирование режимов движения газа, газовая динамика, нестационарные процессы, последовательная перекачка газов.

The issues of environmental and technogenic safety of "movable pipelines" operations are discussed in the article. A number of calculations of displacement of air with nitrogen and natural gas when filling the pipeline has been conducted in the research. Boundary conditions on the concentration of the mixture of nitrogen and natural gas have been determined. The optimal process parameters of blowing down have been set on the basis of the technogenic safety requirements and compliance with the quality of natural gas. The nitrogen pressure when displacing should remain between 15 and 25 bar, provided further filling of the pipeline with natural gas with an absolute pressure of 56 bar. The main purpose of this process was the formation of stable front displacement and avoidance of active nitrogen mixing with natural gas. Displacement of air is considered complete when the oxygen content in the natural gas that comes out of the pipeline does not exceed 0.5%, a mixture of nitrogen and natural gas supplied to the consumer must contain up 9.5% of nitrogen (volume fraction) to comply with the quality of natural gas.

Keywords: CNG ship, mathematical simulation of gas movement modes, gas dynamics, non-stationary processes, sequential pumping gas.

Вступ

Для морського транспортування природного газу використовують підводні магістральні трубопроводи та судна LNG та CNG. На сучасному етапі розвитку газової промисловості України все частіше постає питання розвитку технології перевезення газу у стисненому вигляді (CNG), що є, на наш погляд, найбільш актуальним варіантом у зонах підвищеної небезпеки руху. Основою цієї технології транспортування природного газу є спеціально обладнані судна. Науковцями ІФНТУНГ [1, 2, 3] запропонована технологія транспортування стисненого природного газу на суднах-контейнеровозах, обладнаних стандартними 20- або 40-футовими морськими контейнерами, що містять ємності для зберігання стисненого газу.

Важливе значення при транспортуванні стисненого природного газу суднами-контейнеровозами має забезпечення техногенної та екологічної безпеки, зокрема забезпечення безпеки та мінімізація забруднення довкілля в процесі першого заповнення природним газом рухомого трубопроводу.

Аналіз стану досліджень та публікацій

Під час введення в експлуатацію газопроводів, якими оснащені судна-контейнеровози, постає питання вибору раціонального способу їх продування. Фактично слід вирішити комплекс складних завдань, пов'язаних з витісненням з труби повітря, води, ґрунту, пилу тощо. Застосування класичного способу, що полягає у пропусканні очисного поршня, в умовах судна-контейнеровозу технологічно неможливо.

Виходячи із сучасного погляду на екологічну безпеку та з урахуванням економічної складової процесу, використання природного газу для витіснення повітря є нерациональним. Це пов'язано зі викидом в атмосферу великих об'ємів природного газу, що, з огляду на необхідність дотримання міжнародного екологічного права, є неприпустимим. Продування трубопроводів повітрям можливе лише на етапі пневматичних випробувань або очищення трубопроводу від води після гідравлічних випробувань. Остаточне введення в експлуатацію трубопроводу потребуватиме заміни наявного в трубопроводі повітря природним газом.

Продування газопроводу є одним із найбільш відповідальних етапів. При цьому в зоні контактування повітря і природного газу утворюється їх суміш. З метою уникнення важких наслідків, пов'язаних із samozапалюванням газоповітряної суміші, процес витіснення повітря має бути низькошвидкісним. Однак, зменшення швидкості при послідовному русі повітря і газу викликає збільшення об'єму їх суміші і, отже, до різкого збільшення необхідного для продування газу, особливо в газопроводах великого діаметра.

Для зменшення витрати газу при продуванні газопроводу в деяких випадках доцільно застосовувати «розділюючі пробки» із негорючих газів (азоту, вуглекислого газу тощо), які нагнітають в газопровід перед подаванням при-

родного газу. Використання буферних газових пробок виключає можливість утворення вибухонебезпечної суміші в трубопроводі та уможливлене продування за великих швидкостей, внаслідок чого забезпечується висока якість продування, різко скорочуються втрати газу та грошові витрати, пов'язані з уведенням газопроводу в експлуатацію. Використання під час продування буферних газових пробок потребує вирішення задачі про взаємне змішування в трубопроводі трьох різних газів: повітря, інертного та природного газу.

З метою забезпечення техногенної та екологічної безпеки пропонується технологія продування рухомого трубопроводу стисненим азотом. Азот використовують для створення інертного середовища під час виробництва, транспортування та зберігання легкозаймистих продуктів, а також перед першим нагнітанням, після проведення ремонтних робіт та для консервації трубопроводів.

Для виготовлення азоту використовують азотні установки, які бувають трьох типів: пересувні, мобільні та стаціонарні. Оскільки розглядається питання техногенної та екологічної безпеки при транспортуванні природного газу суднами-контейнеровозами, зупинимось на мобільних азотних станціях, вмонтованих в 20- або 40-футові морські контейнери: серія НДА або ТГА (12м x 2,5м x 2,5м; масою 40 т). Перевагами їх є: простота експлуатації, можливість роботи на відкритих площах за температури від -60° до $+45^{\circ}$ С, зручність транспортування будь-якими видами транспорту і т.д. [3, 4]

Щодо існуючих на сьогоднішній день технологій виробництва азоту, слід звернути увагу на найбільш розповсюджені мембранні, адсорбційні та криогенні технології отримання азоту із атмосферного повітря. За допомогою мембранної технології можна виготовляти азот з концентрацією 95-99,999 % за продуктивності 1-1000 $\text{nm}^3/\text{год}$. Основний принцип мембранної технології полягає в різниці швидкості проникнення компонентів газу через мембрану. Рухомою силою розподілу газів є різниця парціальних тисків за протилежних боків мембрани. Основними перевагами мембранних технологій є те, що мембрани витримують удари та вібрацію, хімічно інертні до вологи та мастил, функціонують в широкому діапазоні температур від -40° до $+60^{\circ}$ С, а ресурс їх неперервної роботи складає 15-20 років.

Виділення невирішених частин проблеми

У випадку продування трубопроводу азотом маємо справу із фізичним процесом послідовного перекачування двох різносортих газів, які відрізняються за своїми фізичними та теплофізичними властивостями. Питання послідовного перекачування газів вивчено значно менше, ніж послідовного перекачування різносортих рідин. Це пов'язано, насамперед, із обмеженим застосуванням технологій послідовного перекачування газів. Основним питанням будь-якого послідовного перекачування газів або рідин є визначення об'єму утвореної в про-

цесі перекачування суміші, розподілу концентрації різних компонентів та визначення оптимальних режимів перекачування. Оптимальними будемо вважати такі режими, за яких об'єм утвореної суміші буде мінімальним. Крім того, слід урахувати умову щодо максимального вмісту кисню у суміші. Витіснення повітря вважається завершеним, якщо вміст кисню в газі, який виходить із трубопроводу, не перевищує 0,5% (відповідно до діючих технічних умов про якість природного газу [10]).

Формування цілі

Постановка задачі полягає, в першу чергу, у формуванні вихідних даних та розрахункової моделі процесу продування рухомого газопроводу азотом. Для вибору вихідних даних скористаємося розробленою технологічною схемою рухомого газопроводу. Виходячи із особливостей технологічної схеми рухомого газопроводу, для моделювання процесу продування азотом розглянемо окремі елементи такого газопроводу із загальною довжиною послідовно з'єднаних секцій в 60 км та внутрішнім діаметром труб 690 мм. Передбачимо розміщення трьох свічних кранових вузлів DN250 на віддалі 11, 26 км від його початку та в кінці газопроводу. Моделювання процесу продування газопроводу будемо проводити при різних значеннях тиску і температури азоту та при різній тривалості процесу продування. Метою розрахунку є: отримання графіку розподілу концентрації (в об'ємних частках) азоту та компонентів природного газу в залежності від віддалі від точки нагнітання азоту та від тривалості процесу продування, визначити загальну кількість газоповітряної суміші, яку слід стравлювати через свічні крани, та встановити оптимальні параметри процесу продування за умов даної технологічної схеми. [5]

Виклад основного матеріалу

Під час розрахунку об'єму суміші за режиму послідовного перекачування газів приймається, що ефективний коефіцієнт дифузії - величина незмінна по довжині трубопроводу [6]. Однак, на нашу думку, таке припущення може бути виправдано лише для трубопроводів малої довжини чи з незначними перепадами тиску. У випадку CNG технології, застосування таких припущень може призвести до значної похибки.

Задачі щодо послідовного перекачування газів повинні розв'язуватися із урахуванням зміни густини газів по довжині в залежності від тиску і температури газу та, відповідно, зміни швидкості руху газів вздовж газопроводу. [7]

Диференціальне рівняння одновимірної турбулентної дифузії за умов змінного ефективного коефіцієнта дифузії має вигляд

$$\frac{\partial K_b}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{ef} \cdot \frac{\partial K_b}{\partial x} \right) - v \cdot \frac{\partial K_b}{\partial x}, \quad (1)$$

де K_b – концентрація газу, що рухається по-заду,

x – віддаль від початку рухомої системи координат,

D_e – ефективний коефіцієнт дифузії,

v – швидкість потоку газу.

Для рухомої системи координат, що рухається зі швидкістю потоку газу, дане рівняння набуде вигляду

$$\frac{\partial K_b}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_e \cdot \frac{\partial K_b}{\partial x} \right). \quad (2)$$

Основна складність такого розрахунку полягає у визначенні ефективного коефіцієнта дифузії. За умов ізотермічної течії газу ефективний коефіцієнт дифузії визначається за такою залежністю [8]

$$D_e = \frac{v_{0cp} \cdot \left[\frac{1}{Pr} + 28,7 \cdot (Re \cdot \sqrt{\lambda})^{0,755} \right] \cdot P_{н.у} \cdot T}{T_{н.у} \cdot P_x}, \quad (3)$$

де v_{0cp} – коефіцієнт кінематичної в'язкості 50% суміші газів, що приведена до нормальних умов, м²/с;

Pr – дифузійний критерій Прандтля;

Re – усереднене значення критерію Рейнольдса;

λ – коефіцієнт гідравлічного опору газопроводу;

$P_{н.у}$ – тиск за нормальних умов, Па;

T – температура газу, К;

$T_{н.у}$ – температура за нормальних умов, К;

P_x – тиск газу в газопроводі на віддалі x від початку, Па.

Використовувати дані залежності для розрахунку складних систем із урахуванням нестационарних процесів транспортування газу неможливо у зв'язку із значним усередненням параметрів суміші (в'язкості, критерію Прандтля та Рейнольдса, температури газу). Окрім цього, у стаціонарних процесах транспортування використовують одне параметричне рівняння стану реального газу Менделєєва – Клапейрона, в якому відхилення властивостей реального газу від ідеального враховують застосуванням коефіцієнта стиснення газу z , що, на нашу думку, суттєво обмежується для складних систем, які працюють у широкому діапазоні тисків і температур, із урахуванням нестационарних процесів руху. [8] У світовій практиці широко використовується рівняння Соаве – Редліха – Квонга [9]

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V(V+b)}, \quad (4)$$

де P – абсолютний тиск, Па;

T – абсолютна температура, К;

V – молярний об'єм, м³/моль;

$R = 8,31441$ Дж/(моль·К) – універсальна газова стала;

a, b – сталі величини, що залежать від властивостей речовини. Коефіцієнти рівняння стану a та b для окремого компонента газу залежать від критичного тиску і температури ком-

понента, фактора ацентричності молекули речовини за такими залежностями.

$$a(T) = a_{кр} \cdot \alpha(T), \quad (5)$$

$$a_{кр} = \Omega_a \cdot \frac{R^2 \cdot T_{кр}^{2,5}}{P_{кр}}, \quad (6)$$

$$b = \Omega_b \cdot \frac{R \cdot T_{кр}}{P_{кр}}, \quad (7)$$

$$\alpha(T) = \left(1 + m \left(1 - \left(\frac{T}{T_{кр}} \right)^{0,5} \right) \right)^2, \quad (8)$$

$$m = 0,480 + 1,574 \cdot \omega - 0,176 \cdot \omega^2, \quad (9)$$

де Ω_a та Ω_b – коефіцієнти, що становлять 0,42748 та 0,08664 відповідно;

$T_{кр}$ – критична температура компонента газу, К;

$P_{кр}$ – критичний тиск компоненту газу, Па;

ω – фактор ацентричності речовини.

У разі розрахунку суміші газів використовується класичне правило змішування фаз [6]. Даний алгоритм розрахунку фізичних властивостей природних газів реалізований у програмному забезпеченні PVTsim. Дане програмне забезпечення є промисловим стандартом для моделювання властивостей природного газу на сьогоднішній день. Моделювання властивостей за допомогою пакету PVTsim використовується провідними нафтовидобувними компаніями у всьому світі.

Для моделювання процесу заміщення повітря азотом (а в подальшому природним газом) був використаний програмний комплекс для розрахунку трубопроводів OLGA 5.3. Моделювання процесу витіснення повітря азотом проводилося за такою схемою.

Етап перший: заповнення трубопроводу повітрям до атмосферного тиску. Етап другий: витіснення повітря азотом за різних значень тиску згідно з законом розподілу концентрації речовин по довжині трубопроводу та в часі. Етап третій: витіснення азоту природним газом із робочим тиском 5,6 МПа.

Під час технологічних розрахунків було прийнято ряд технологічних обмежень. Відповідно до діючих нормативних документів об'ємна частка кисню у природному газі не повинна перевищувати 0,5 %, тому процес заміщення повітря азотом і в подальшому природним газом проводився до тих пір, поки не виконувалася вимога нормативних документів щодо вмісту кисню [10].

З метою визначення гранично допустимої концентрації кисню в природному газі із врахуванням наявності азоту використовуємо правило Ле Шательє. Межа вибуховості технічних газів, що складається із суміші горючих компонентів та не містить баластних домішок, визначається із залежності:

$$l = \frac{100}{\frac{a_1}{l_1} + \frac{a_2}{l_2} + \dots + \frac{a_n}{l_n}}, \quad (10)$$

де l – верхня або нижня межа вибуховості газової суміші, що складається з n компонентів, %;

a_1, a_2, \dots, a_n – вміст горючих компонентів у газовій суміші, %;

l_1, l_2, \dots, l_n – верхня або нижня межі вибуховості окремих горючих компонентів, %.

Для визначення концентраційної межі вибуховості суміші, що містить баластні компоненти (вуглекислий газ та азот), використовується залежність:

$$l_{бал} = \frac{\left(1 + \frac{a_{бал}}{(1 - a_{бал})} \right) \cdot 100}{100 + \frac{l \cdot a_{бал}}{(1 - a_{бал})}}, \quad (11)$$

де $a_{бал}$ – сумарний вміст баластних компонентів (азот та вуглекислий газ), %.

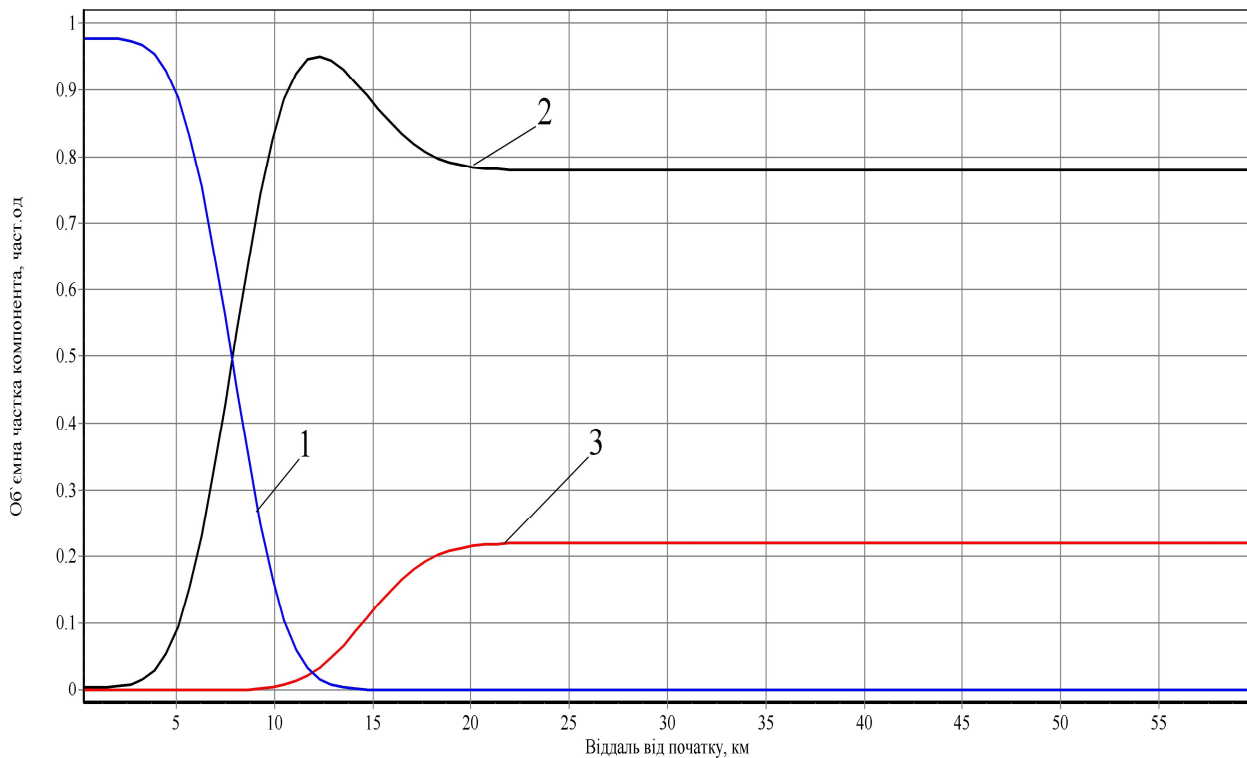
Максимальний тиск процесу заміщення не перевищував робочий тиск в системі. Виходячи із вимог нормативних документів щодо якості природних газів, суміш природного газу та азоту на завершальній стадії витіснення вважалася придатною до подачі споживачу тоді, коли нижча теплотворна здатність суміші газів була не менше 32,5 МДж/м³ (за стандартних умов).

Моделювання процесу заміщення проводилося за абсолютних тисків азоту в 5, 15, 25, 35 та 45 бар. Температура азоту на початку трубопроводу приймалася у відповідності до умов роботи обладнання для виробництва азоту в межах 25 °С.

На рисунку 1 зображено залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на десятій хвилині витіснення за умов тиску азоту в 5 бар.

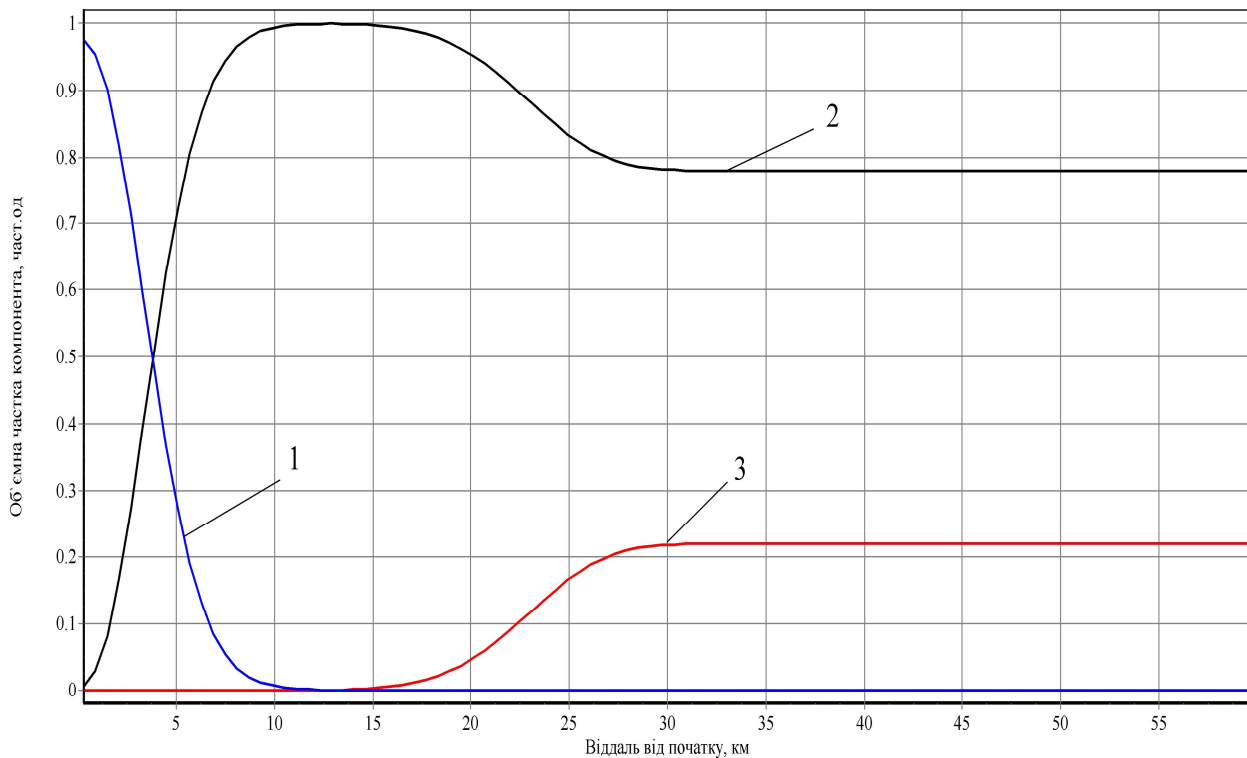
На рисунках 2 та 3 подаються графіки зміни концентрації метану, азоту та кисню на десятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 25 та 45 бар відповідно. Слід зауважити, що за низького тиску азоту концентрація останнього в трубопроводі не досягає максимуму, що свідчить про неможливість абсолютно повного витіснення повітря із трубопроводу. Однак, за тисків 15 бар та вище в трубопроводі утворюється «корок» із чистого азоту (з концентрацією майже 100 %), що забезпечує повне заміщення повітря в трубопроводі.

На рисунках 4-6 подаються графіки зміни концентрації метану, азоту та кисню на двадцятій хвилині витіснення за умов тиску азоту від 5 до 45 бар відповідно. Аналізуючи отримані результати, зауважимо, що за тиску витіснення азоту 5 бар не відбувається формування суцільно фронту азоту, а через двадцять хвилин від початку процесу маємо ситуацію повно перемішування азотної пробки. На віддалі 35-40 км від початку газопроводу утворюється потенційно небезпечна суміш природного газу азоту



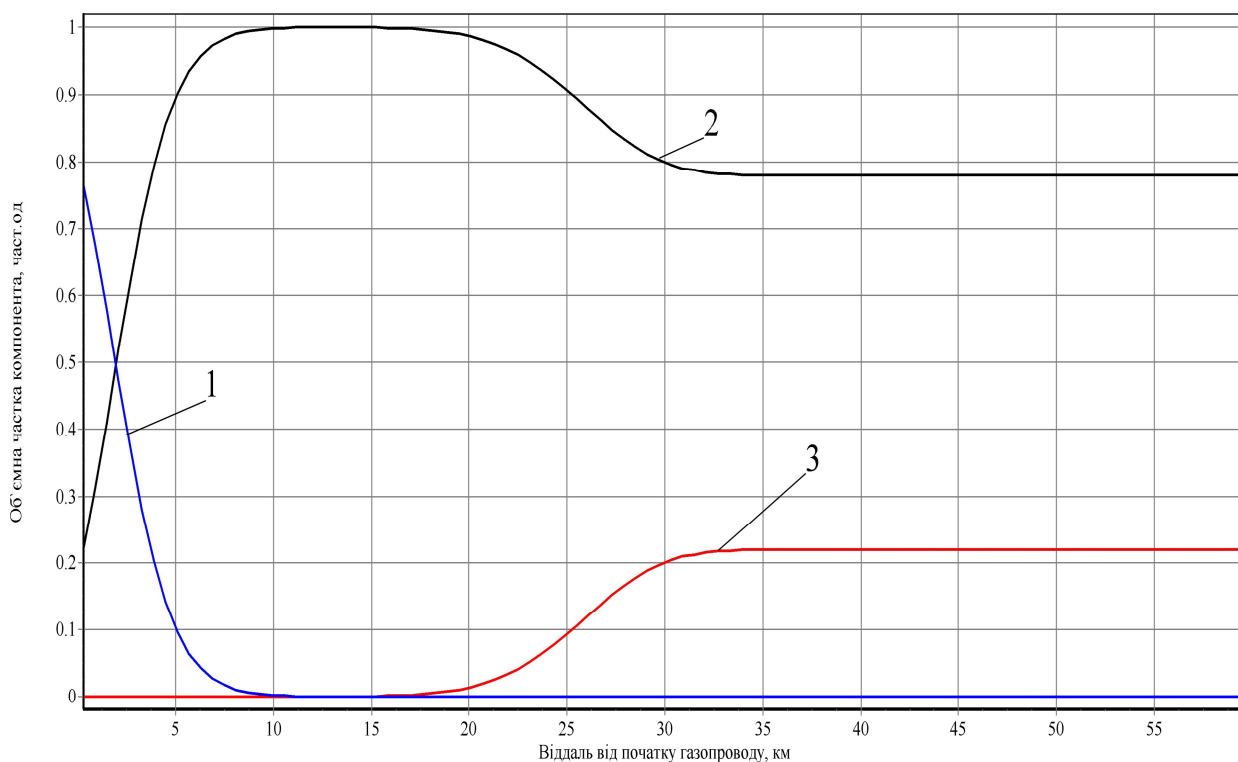
1 – зміна концентрації метану; 2 – зміна концентрації азоту; 3 – зміна концентрації кисню

Рисунок 1 – Залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на десятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 5 бар



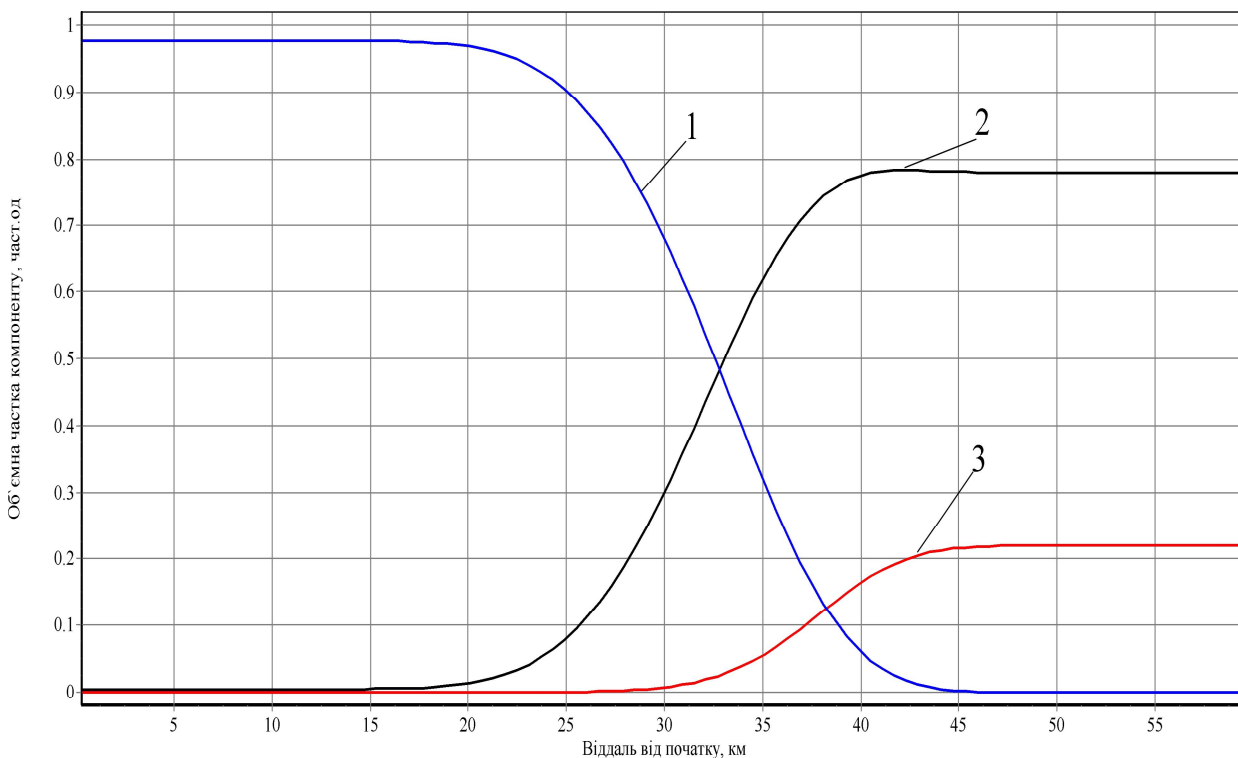
1 – зміна концентрації метану; 2 – зміна концентрації азоту; 3 – зміна концентрації кисню

Рисунок 2 – Залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на десятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 25 бар



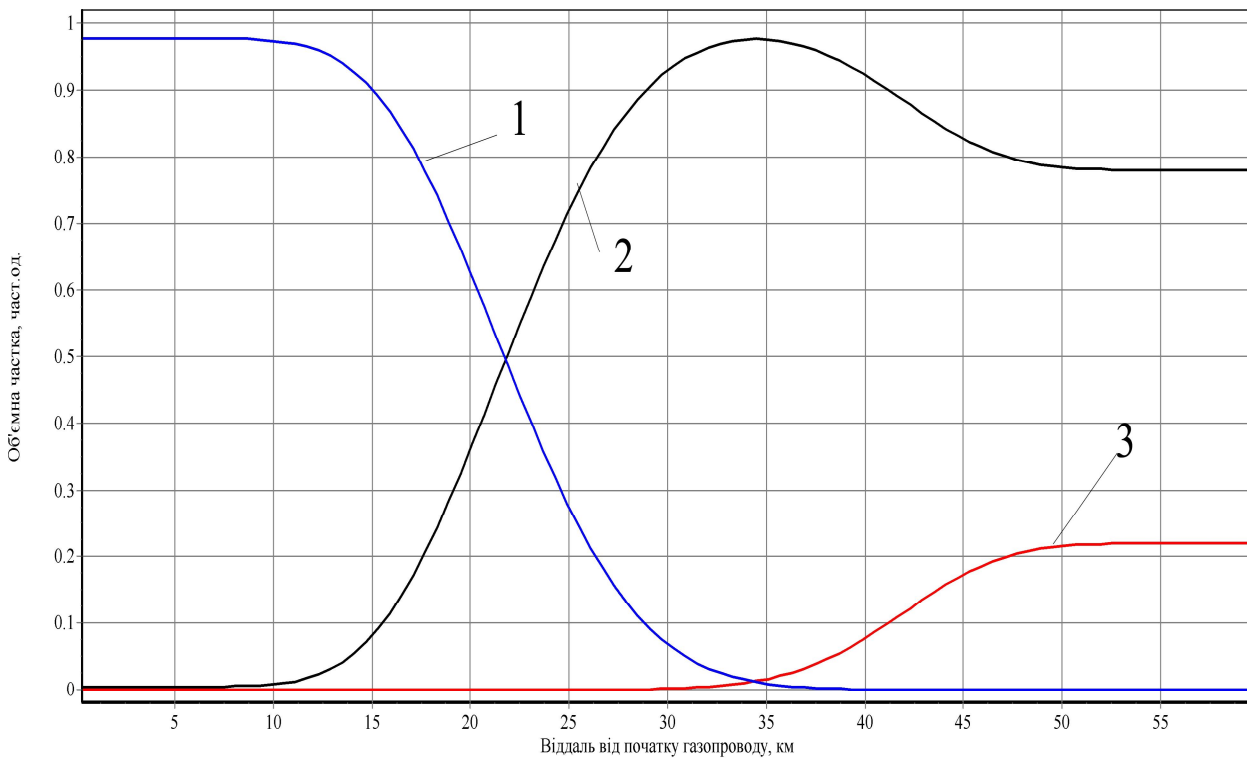
1 – зміна концентрації метану; 2 – зміна концентрації азоту; 3 – зміна концентрації кисню

Рисунок 3 – Залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на десятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 45 бар



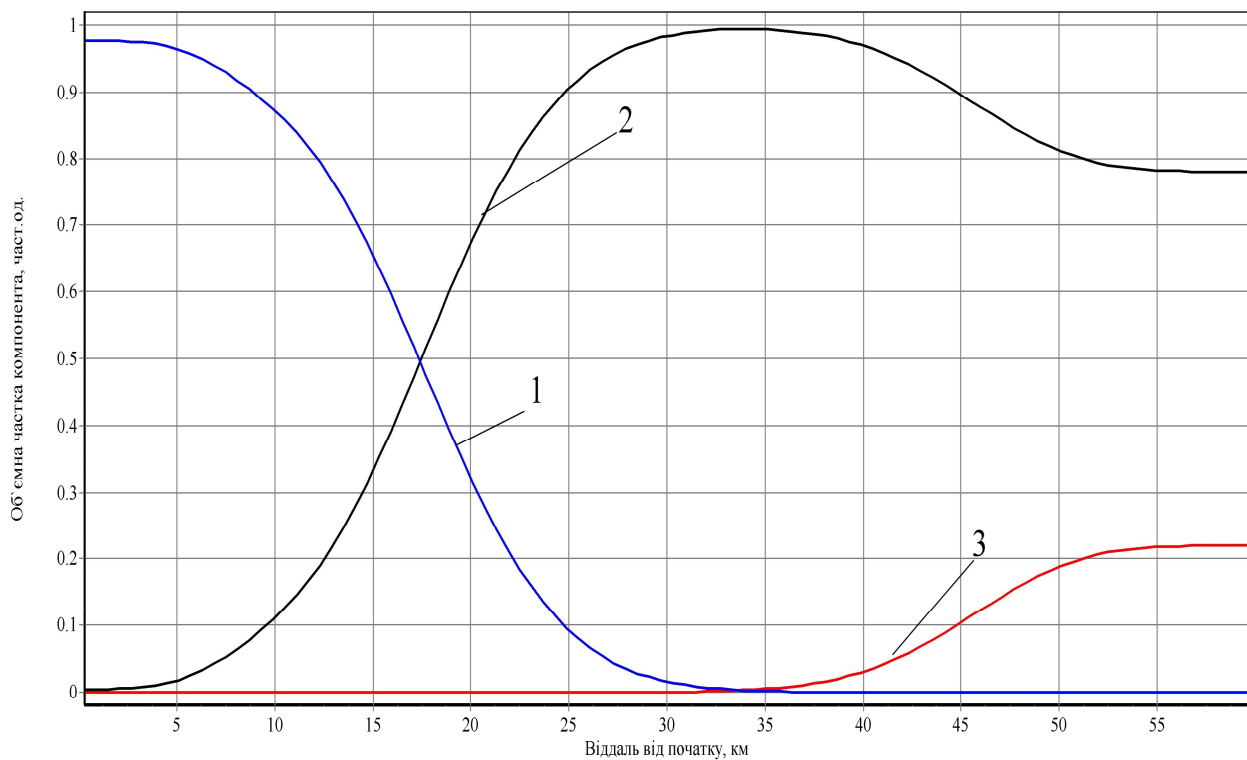
1 – зміна концентрації метану; 2 – зміна концентрації азоту; 3 – зміна концентрації кисню

Рисунок 4 – Залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на двадцятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 5 бар



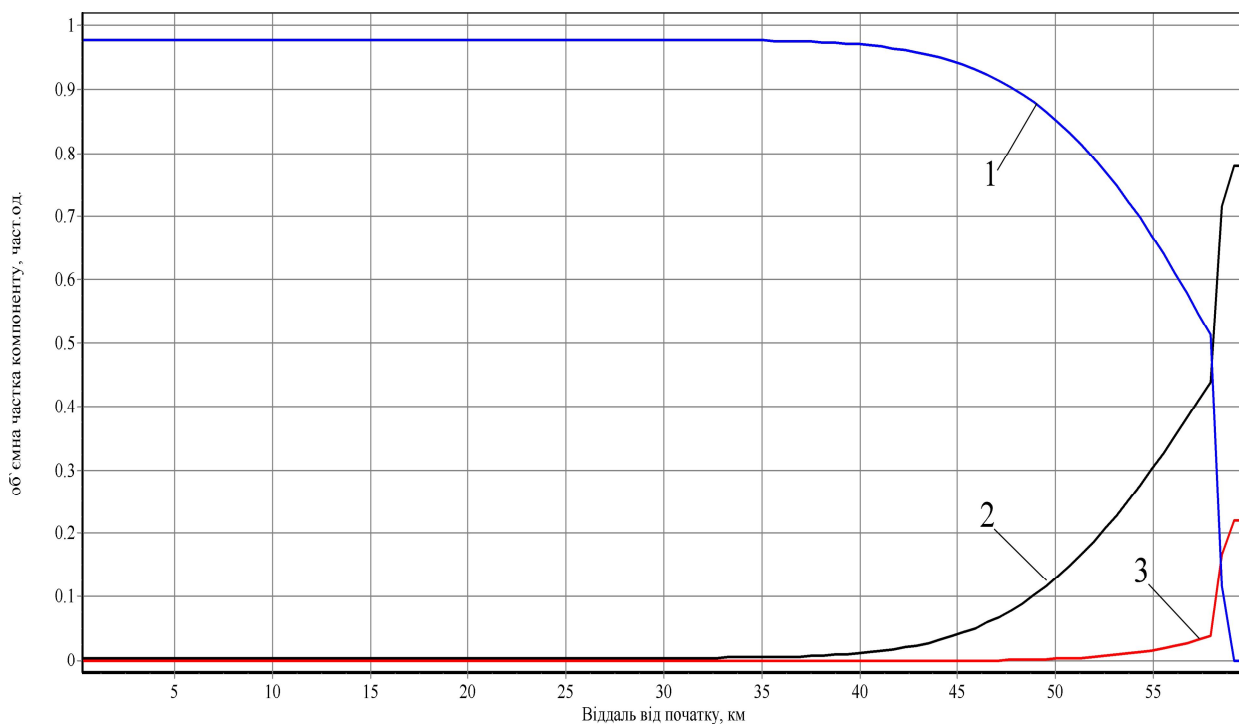
1 – зміна концентрації метану; 2 – зміна концентрації азоту; 3 – зміна концентрації кисню

Рисунок 5 – Залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на двадцятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 25 бар



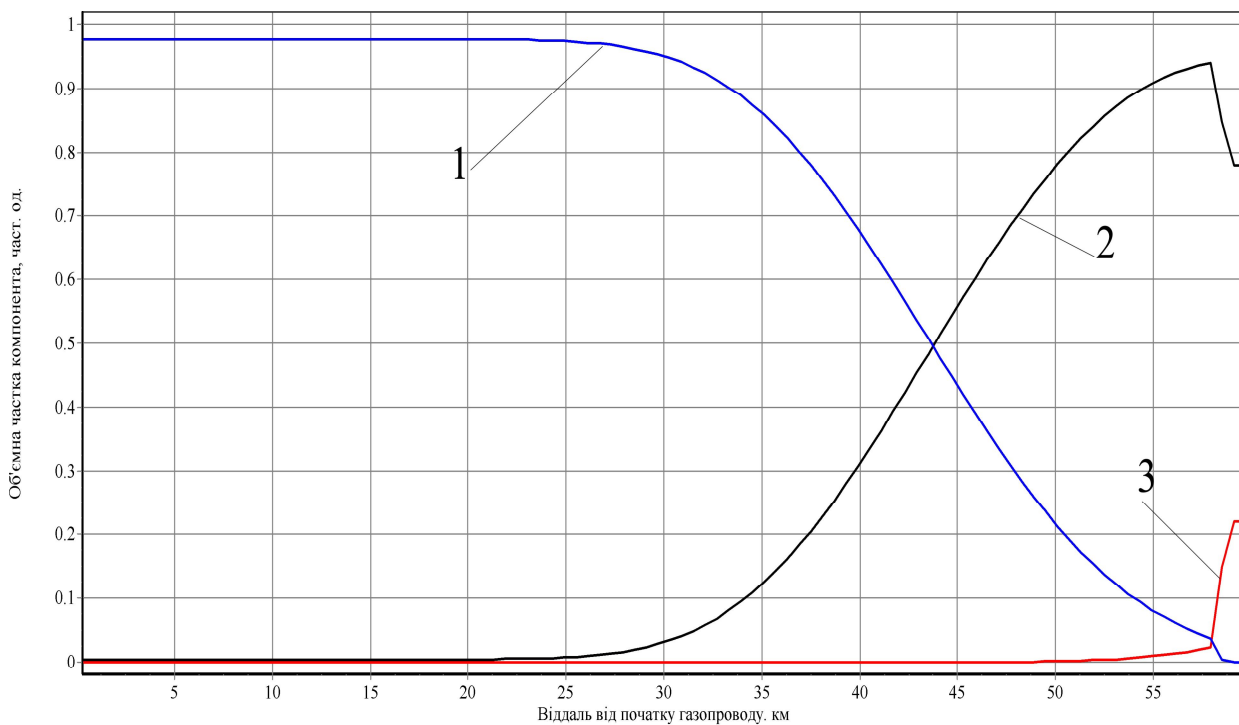
1 – зміна концентрації метану; 2 – зміна концентрації азоту; 3 – зміна концентрації кисню

Рисунок 6 – Залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на двадцятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 45 бар



1 – зміна концентрації метану; 2 – зміна концентрації азоту; 3 – зміна концентрації кисню

Рисунок 7 – Залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на сорок п'ятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 5 бар

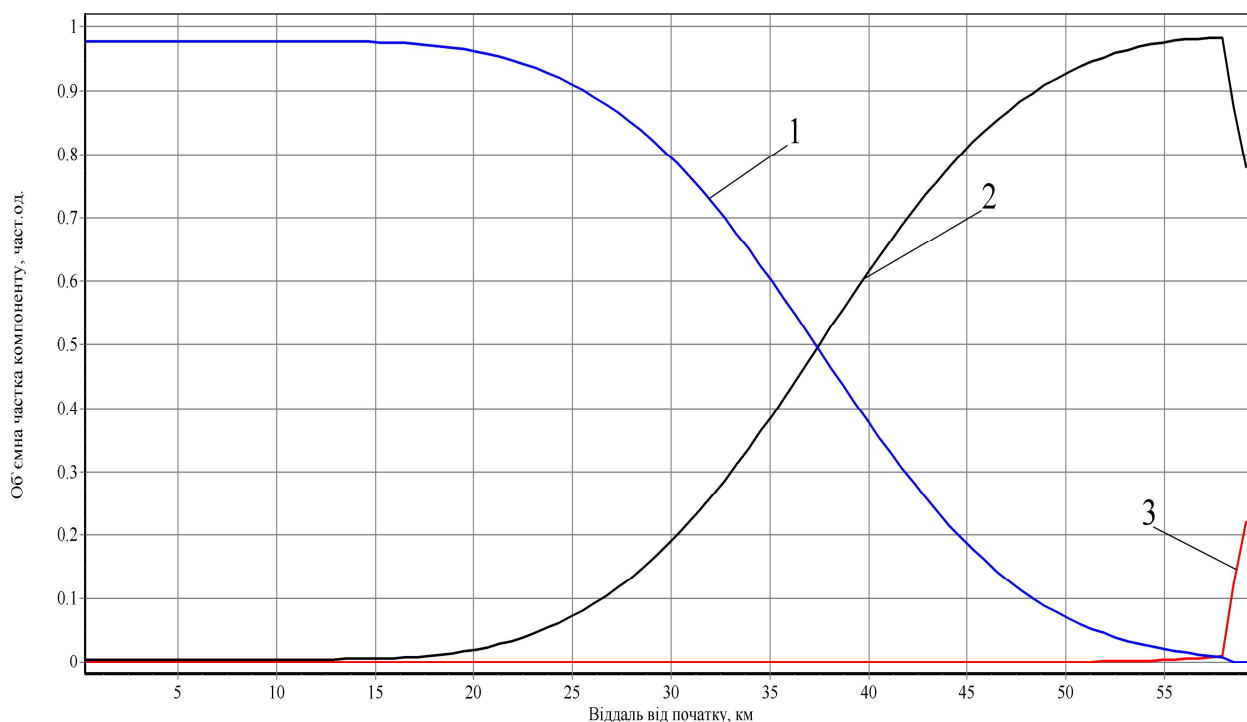


1 – зміна концентрації метану; 2 – зміна концентрації азоту; 3 – зміна концентрації кисню

Рисунок 8 – Залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на сорок п'ятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 25 бар

та повітря. З точки зору безпеки технологічного процесу, такої ситуації слід уникати. У випадку витіснення повітря із тиском азоту вище 25 бар

така ситуація на спостерігається по всій довжині трубопроводу спостерігається наявність пробки азоту із концентрацією майже 100%.



1 – зміна концентрації метану; 2 – зміна концентрації азоту; 3 – зміна концентрації кисню

Рисунок 9 – Залежність зміни концентрації метану, азоту та кисню на сорок п'ятій хвилині витіснення за умов тиску азоту 45 бар

На рисунках 7-9 подаються графіки зміни концентрації метану, азоту та кисню на сорок п'ятій хвилині витіснення для діапазону тиску від азоту від 5 до 45 бар. За результатами розрахунку можна зробити висновок про наявність потенційно небезпечної суміші газів у випадку витіснення азотом із тиском 5 бар на віддалі 50-55 км від початку трубопроводу. У випадку більш високого тиску азоту така картина не спостерігається.

З метою визначення довжини зони суміші природного газу та азоту були використані такі граничні умови. Безпечно вважалася суміш, за якої концентрація природного газу була вище 20% від нижньої межі вибуховості суміші (із урахуванням баластних компонентів), суміш вважалася придатною для подавання в газопровід споживачам, якщо нижча теплотвірна здатність становила не менше 32,5 МДж/м³. Виходячи з таких припущень, була визначена довжина суміші за різних умов витіснення. Результати розрахунку зображено на рисунку 10. Найменша довжина суміші спостерігалася за умов низького тиску витіснення азоту (5 бар), однак за цих умов не формувався стійкий фронт азоту та природного газу, а тому найбільш сприятливі умови для повного витіснення повітря та подальшої заміни азоту природним газом спостерігалися за тисків, вищих від 15 до 25 бар. На нашу думку, дана технологія повинна реалізуватися за умов тисків не більше 0,2 МПа. Дане обмеження, з одного боку, дасть змогу дотриматися вимог із безпеки процесу, з іншого, мінімізує затрати на стиснення азоту перед нагнітанням в систему.

Висновок

Отже, для забезпечення техногенної та екологічної безпеки в рухомому трубопроводі технологія витіснення повітря інертним газом азотом можлива для застосування. Тиск азоту в процесі витіснення повинен бути в межах від 15 до 25 бар, за умов подальшого заповнення трубопроводу природним газом із абсолютним тиском в 56 бар, з метою формування стійкого фронту витіснення азоту та уникнення активного перемішування з природним газом. Продування трубопроводу перед введенням в експлуатацію повинна здійснюватись такою кількістю азоту, яка забезпечить швидкість руху газу не менше 40 м/с. Витіснення повітря вважається завершеним, якщо вміст кисню в газі, який виходить із трубопроводу, не перевищує 0,5%, суміш азоту та природного газу, що подається споживачу повинна містити азоту не більше 9,5 % (об'ємна частка) з метою дотримання вимог щодо якості природного газу.

Література

1 Патон Б.Є., Крижанівський Є.І., Савицький М.М., Швидкий Е.А., Зайцев В.В., Мандрик О.М. Спосіб транспортування стиснутого природного газу рухомим трубопроводом. Заявка на видачу деклараційного патенту № 2011 14580 від 08.12.2011.

2 Крижанівський Є.І., Зайцев В.В., Романовський Г.Ф., Карпаш О.М., Гончарук М.І., Зайцев В.В. Спосіб транспортування стиснутого природного газу. Патент на корисну модель № 33882, 2008.

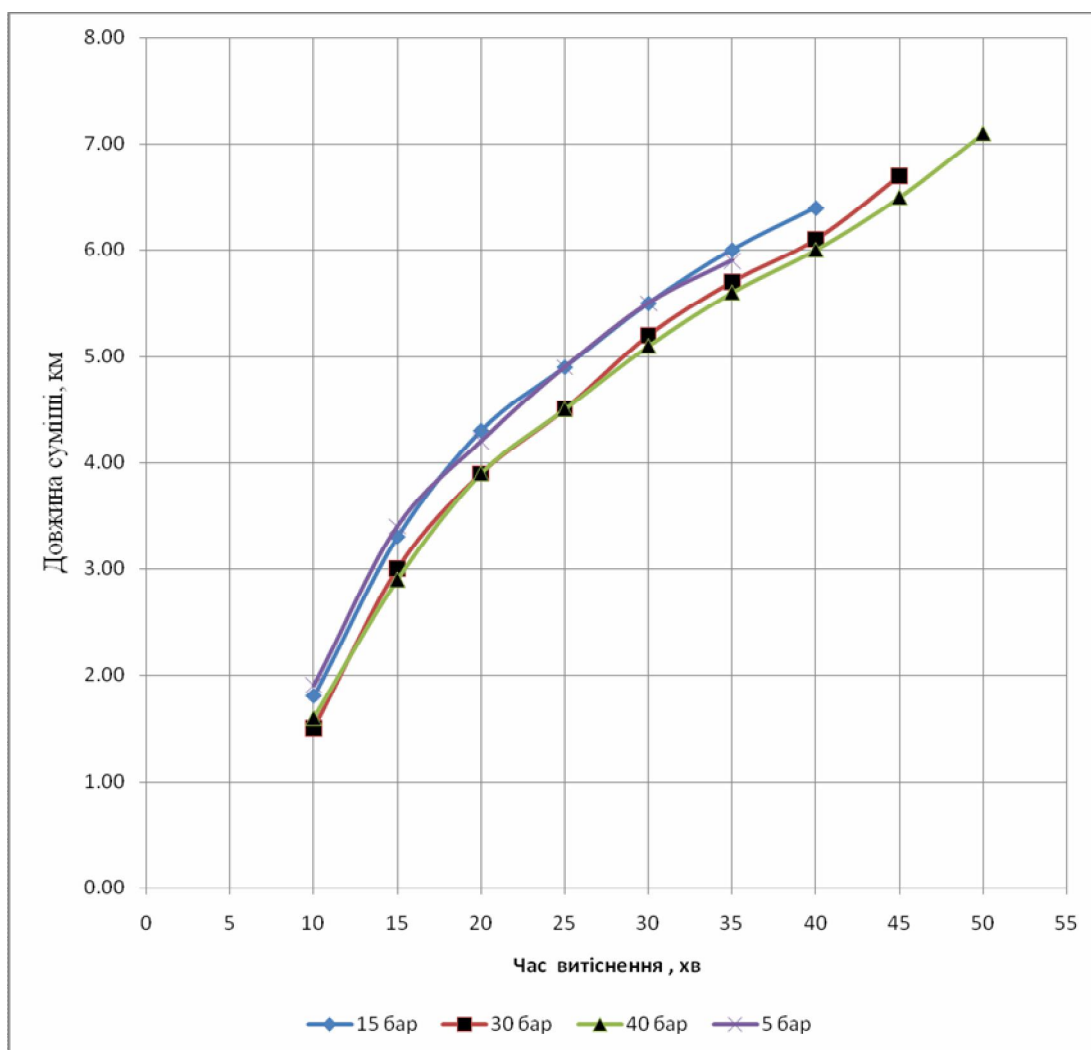


Рисунок 10 – Графік залежності довжини зони суміші від тиску витіснення азоту

3 Крижанівський Є.І. Використання CNG технології для постачання газу до України / Є. І. Крижанівський // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2012. – № 2(32). – С. 11-14.

4 Шендрик О. М. Контейнерне транспортування газу як альтернативний спосіб вирішення питань енергетичної безпеки / О. М. Шендрик, М. І. Фик // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2012. – № 2(32). – С. 15-23.

5 Сусак О. М. Особливості розрахунку режимів розвантаження CNG суден у існуючі газотранспортні системи / О. М. Сусак // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу – 2012. – № 2(32). – С. 24-31.

6 Нечваль В.М. Определение объема смеси при последовательной перекачке газов / В.М. Нечваль, В.Ф. Новоселов // Нефть и газ: Серия транспорт и хранение нефти и газа. – 1965. – № 4. – С. 77-82.

7 Нечваль В.М., Яблонский В.С. О смешивании газов при последовательной перекачке.

// «Нефть и газ». Серия транспорт и хранение нефти и газа №12. – М.: Недра, 1963. – С. 75-80.

8 Теплотехнические расчеты процессов транспорта и регазификации природных газов: справочное пособие / [Загорученко В. А., Бикчентай Р. Н., Вассерман А. А. и др.] – М.: Недра, 1980. – 320 с.

9 Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие / Пер. с англ.; под ред. Б.И. Соколова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – Нью-Йорк, 1977. – 592 с.

10 Газы горючі природні, що подаються в магістральні газопроводи. Технічні умови ТУ У 320.00158764.007-95.

Стаття надійшла до редакційної колегії
29.05.13

Рекомендована до друку
професором Семчуком Я.М.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором Савицьким М.М.

(Інститут електрозварювання ім. О.Є.Патона
НАН України, м. Київ)