

Наука — виробництву

УДК 622.691.4

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ШЛЕЙФІВ СВЕРДЛОВИН ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОЦІНЮВАННЯ РЕЖИМІВ ЇХ РОБОТИ

М.І. Братах, В.Г. Топоров, З.В. Шейна, В.Є. Блізняков, Р.Т. Ільчишин, В.М. Шикиринець

*УкрНДІгаз, 61010, м. Харків, Красношкільна наб., 20, тел. (0577) 304525,
e-mail: gaz@ukrniigaz.kharkov.ua*

*ГПУ «Львівгазвидобування», 79026, м. Львів, вул. Рубчака, 27, тел. (0322) 440090,
e-mail: rboyko@lgv.com.ua*

Стаття присвячена актуальному питанню дослідження режимів роботи шлейфів свердловин родовищ, що знаходяться на завершальній стадії розробки. Наведені основні фактори, які впливають на збільшення величини втрат тиску при транспортуванні газу від гирла свердловини до пункту передачі газу. На основі оцінки стану внутрішньої порожнини шлейфів свердловин приведені теоретичні основи розробки способів їх очистки

Ключові слова: газопровід, родовище, шлейфи свердловин, транспортування

Статья посвящена актуальному вопросу исследования режимов работы шлейфов скважин месторождений, находящихся на завершающей стадии разработки. Приведены основные факторы, влияющие на возрастание величины потерь давления при транспортировке газа от устья скважины к пункту передачи газа. По оценке состояния внутренней полости шлейфов скважин приведены теоретические основы разработки способов их очистки

Ключевые слова: газопровод, месторождение, шлейфы скважин, транспорт

Considered is actual problem of operation modes investigation of wells gathering lines of oil-gas field on the completion phase. Presented are the main factors which influence on increasing loses of pressure during gas transportation from heel to point of gas transfer. On the base of estimation state of internal surface of wells gathering lines the theory of cleaning methods was given

Keywords: gas pipeline, field, wells gathering lines, transportation

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями

Шлейф свердловини є чи не найважливішою ланкою у процесі транспортування газу від гирла свердловини до пункту його передачі (точки підключення до магістрального газопроводу, споживача тощо). Неочищений газ, що надходить з свердловини до порожнини шлейфа, і, несе з собою певну кількість зважених у газовому потоці механічних домішок та рідини. Отже, шлейф працює у агресивних умовах, зазвичай із наявними термодинамічними та швидкісними умовами щодо конденсації рідини з газового потоку та сприятливими умовами щодо утворення гідратів.

На початковому етапі експлуатації родовищ спроектований шлейф зазвичай працює в умовах повного завантаження, що перешкоджає проходженню процесу осадження рідини та

твердих відкладів у його порожнині. Відтак завантаження шлейфу поступово зменшується. Відповідно зменшуються і швидкості, що призводить до поступового заповнення понижених місць траси шлейфу свердловини. Такі понижені місця трасою шлейфа є природними пастками рідини, а об'єм забруднень у ній в умовах квазістаціонарного режиму роботи поступово збільшується до критичної величини, після досягнення якої відбувається перерозподіл мас рідини між сусідніми за напрямком руху газу природними її пастками. Якщо остання заповнена ділянка є суміжною з установкою комплексної або попередньої підготовки газу, то процес перерозподілу мас рідини матиме характер залпового викиду до обладнання установок.

На завершальній стадії експлуатації родовищ процес заповнення усіх природних пасток рідини трасою шлейфа завершено і рідина перебуває у стані спокою, оскільки швидкісний

режим експлуатації шлейфу не спонукає до відчутних коливань її дзеркала. Такий об'єм рідини у її природній пастці є нормальним (незміншуваним) для поточного режиму роботи і є причиною збільшених втрат тиску під час транспортування газу – надлишкових втрат тиску через наявність рідини.

Експлуатація шлейфу свердловини за таких умов є неефективною, а надлишкові втрати тиску через наявність рідини – основним чинником, що впливає на величину тиску на гирлі свердловини і, відповідно, на її дебіт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

Попри відсутність системного підходу до вирішення проблеми ідентифікації рідинних і твердих накопичень в порожнині промислових газопроводів і шлейфів свердловин, окремим складовим питанням присвячено детальну увагу.

Фахівцями науково-дослідних організацій Капцовим І.І., Одішарія Г.Є., Гусейновим Ч.С. широко розглянуто питання ідентифікації рідинних утворень і механічних домішок, враховуючи зростання шорсткості труб, на основі аналізу ефективності роботи газопроводів за зміною коефіцієнтів гідравлічної ефективності ділянок газопроводу [1, 2]. Дослідниками Чарним І.А., Галімовим А.К., V. Goldberg, Mahmood Moshfeghian розглянуто питання впливу режиму роботи газопроводу на зміну геометрії рідинної пробки в порожнині діючого газопроводу і розробляння рівнянь, що корелюють визначення втрат тиску під час перекачування газового потоку [3, 4]. Російськими дослідниками Шагаповим В.Ш., Нігматуліним Р.І. розглянуто аспекти виникнення хвильових рухів рідини в посудинах, що працюють під тиском, і можливості виникнення залпових викидів рідини з фазонафтових свердловин [5, 6]. Українськими фахівцями Рудніком А.А., Беккером М.В. запатентовано способи контролю утворення гідратів в порожнині газопроводів на основі аналізу температурного режиму [7, 8].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми та формулювання мети статті

Всі існуючі методи щодо визначення об'єму забруднень в порожнинні газопроводів і шлейфів свердловин та причин погіршення гідравлічного стану можна розглядати як розрізнені, а саме ті, що розглядають ці проблеми у визначений момент часу, без змістовних заходів щодо подолання проблеми погіршення ефективності роботи лінійної частини трубопроводу.

Авторами розроблено алгоритм оцінки ефективності роботи шлейфів свердловин виснажених родовищ на основі простих чинникових експериментальних досліджень і заходи щодо підвищення коефіцієнта гідравлічної ефективності шлейфів.

Викладення основного матеріалу досліджень

Оскільки шлейф свердловини по-суті є газопроводом, що транспортує газ від гирла до установки його підготовки, процеси, що відбуваються у його порожнині, описуватимуться основними рівняння газовой динаміки

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\omega^2)}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\lambda\rho\omega^2}{2D} - \rho g \frac{dH}{dx};$$

$$c^2 \cdot \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial t};$$

$$P \cdot V = z \cdot R_2 \cdot T,$$

де: $\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t}$ – швидкість зміни кількості руху в часі (відображає нестационарність потоку газу);

$\frac{\partial(\rho\omega^2)}{\partial x}$ – інтенсивність зміни кількості руху

трасою газопроводу; $\frac{\partial P}{\partial x}$ – градієнт тиску (визначає головну рушійну силу газу, характеризує дію тиску на одиницю маси потоку);

$\frac{\lambda\rho\omega^2}{2D}$ – сила тертя потоку до стінки труби і опору, що утворюють забруднення в порожнині газопроводу (втрати енергії на тертя);

$\rho g \frac{dH}{dx}$ – гравітаційні втрати, що відображають дію сили тяжіння під час руху газу трасою рельєфного газопроводу; p, T, ρ, ω – середні значення вздовж перерізу труби тиску, температури, густини і швидкості газового потоку відповідно; z – коефіцієнт стисливості газу; R_2 – газова стала; λ – коефіцієнт гідравлічного опору; D – діаметр газопроводу; H – геометрична висота центра тяжіння елемента об'єму газу, що розглядається; g – прискорення вільного падіння; x – координата вздовж осі труби; t – час [9].

Складові цих рівнянь є апріорною інформацією для обрання чинників дії на коефіцієнт гідравлічного опору ділянки шлейфу, адже зростання його значення свідчить про величину обсягу рідини в природній пастці. Аналіз цієї інформації дає змогу побудувати кібернетичну модель процесу накопичення рідини в порожнині труби, виходячи з того, що на зростання втрат тиску на тертя і в місцевих опорах, що утворюють забруднення в порожнині газопроводу, впливатимуть зміна режиму роботи досліджуваної ділянки і рельєф місцевості, трасою якої прокладено шлейф.

Чинниковий експеримент полягав у розрахунку коефіцієнта гідравлічного опору для кожного із шлейфів в умовах поточного режиму роботи рельєфного шлейфу свердловини за параметричним діагностуванням гідравлічного стану – заміром та обробкою параметрів його режиму роботи. Базою обрано шлейфи Комарнівського, Стрийського промислів та Свидницької ділянки Хідновицького промислу. Картина розподілу значень втрат тиску для обраних шлейфів відповідає даним рисунку 1.

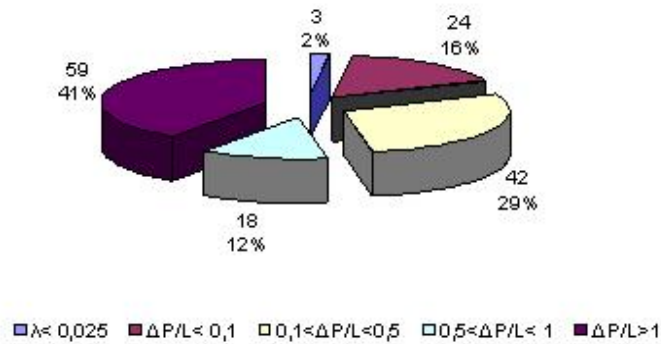


Рисунок 1 – Розподіл по шлейфах величини відносного падіння тиску на одиницю довжини (кМ)

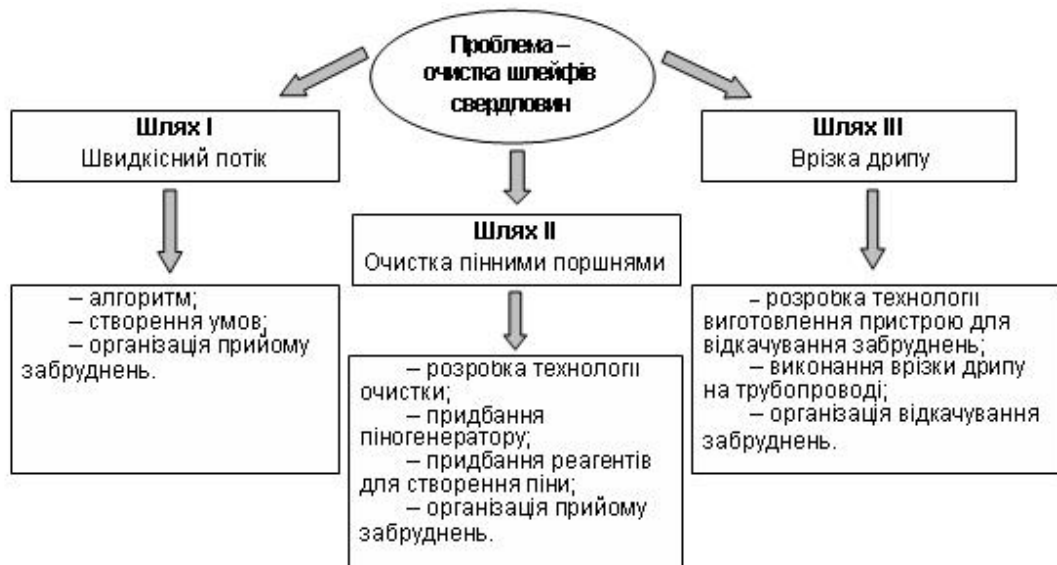


Рисунок 2 – Шляхи очищення порожнини шлейфів свердловин

Дані рисунку 1 свідчать, що лише 2% усіх обстежених у ході проведення експериментальних досліджень шлейфів свердловин працюють у задовільному режимі, тобто без надлишкових втрат тиску, а понад половину з обстежених – із втратами тиску більше, ніж $0,5 \text{ кгс/см}^2/\text{км}$, (з них 41% - понад $1 \text{ кгс/см}^2/\text{км}$). Враховуючи те, що робочий тиск для більшості із перевірених родовищ коливався в межах від 2 до 23 кгс/см^2 , такі значення є суттєвими і спонукають розробників до впровадження заходів щодо звільнення від накопиченої рідини порожнини шлейфу.

Розроблення заходів щодо покращення ефективності роботи шлейфів також базувалась на відборі і аналізі апіорної інформації, адже за своєю суттю всі вони поділяються на:

- очищення за допомогою поршнів;
- очищення за допомогою стаціонарних пристроїв для відведення рідини;
- створення умов для самоочищення ділянок шлейфів свердловин.

Звісно, що використання металевих або гнучких поршнів для очищення шлейфів свердловин, як і встановлення та продування уловлювачів забруднень типу розширювальної камери, є щонайменше витратним, а переведення

ділянки шлейфу у режим самоочищення вимагає обґрунтування доцільності створення такого режиму. Тому фахівці УкрНДІгазу та ГПУ «Львівгазвидобування» обрали такі заходи (рис. 2).

Розглянемо кожен із шляхів окремо.

1 Створення швидкісного потоку газу

Проблема вирішується за рахунок того, що імпульсний режим робочого потоку газу виникає внаслідок перекидання газопроводу /шлейфу/ краном. Перепад тиску для надання рідинним накопиченням енергії необхідної для подолання природних пасток рідини в прямому чи реверсному напрямку розраховано відповідно до алгоритму, поданого нижче.

За запатентованим способом критична швидкість газу на ділянці газопроводу, яка відповідає винесенню критичного об'єму забруднень з порожнини газопроводу, визначається за формулою:

$$\omega_{кр} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{zRTDg \cos \alpha \left(\gamma_p - \frac{P}{zRT} \right)}{\beta \Phi(\varphi_{кр}) P}}, \quad (1)$$

де: $\beta = 1,045-1,1$ – коефіцієнт Коріоліса (поправочний коефіцієнт на нерівномірність розподілену швидкостей); ω – лінійна швидкість газу, м/с; P – середній тиск газу на ділянці газопроводу, Па; z – коефіцієнт стисливості газу, (для некомпримованого газу ГКР і ГР України – 0,96); R – постійна газова стала, Дж/кг·К; T – середня температура газового потоку на ділянці газопроводу, К; D – внутрішній діаметр газопроводу, м, g – прискорення вільного падіння, м/с; α – кут нахилу ділянки газопроводу до горизонтальної поверхні, рад; γ_p – густина рідини, кг/м³; $\Phi(\varphi_{кр})$ – функція критичного центрального кута, що враховує режим роботи газопроводу і його технічну характеристику, якісний склад забруднень.

Швидкість газу на ділянці до проведення очисних операцій визначаємо за рівнянням для лінійної швидкості газу [10]

$$\omega = 0.052 \frac{q_{\Phi} z T}{P_{сер} D}, \quad (2)$$

де: q_{Φ} – фактична продуктивність, млн. м³/добу; $P_{сер}$ – середній тиск на ділянці, МПа.

Із рівняння (2), враховуючи, що на ділянці слід створити швидкість газу для повного винесення рідини із природних пасток рідини, отримуємо рівняння середнього критичного тиску

$$P_{сер}^{кр} = 0.052 \frac{q_{\Phi} z T}{\omega_{кр} D}. \quad (3)$$

Враховуючи, що з трьох параметрів один є розрахунковим за критичною швидкістю $P_{сер}^{кр}$, а кінцевий тиск є параметром фіксованим і, в основному, сталим, значення початкового тиску $P_n^{кр}$ розраховуємо за рівнянням

$$P_{сер}^{кр} = \frac{2}{3} \left(P_n^{кр} + \frac{P_n^{кр2}}{P_n^{кр} + P_k} \right). \quad (4)$$

Перепад тиску, що слід створити на крані для забезпечення швидкості, яка відповідатиме винесенню рідинних забруднень з порожнини газопроводу, дорівнюватиме

$$\Delta P = P_n^{кр} - P_k. \quad (5)$$

Об'єм рідини, що виноситиметься із порожнини газопроводу в результаті залпового викиду рідини, складе

$$V = V_{кр} - V_n, \quad (6)$$

де V_n – нормальний об'єм рідини в газопроводі /шлейфі/, що спонукає до виникнення виникнення залпового викиду рідини за даного режиму роботи, м³.

Попри простоту та економічність методу, з точки зору залучення матеріальних ресурсів, дотримання викладеного алгоритму дасть змогу досягти максимально ефективного очищення ділянок шлейфу. Метод найбільш придатний для переведення у режим самоочищення шлейфів свердловин родовищ з досить високим значенням робочого тиску. Найбільшим недоліком представленого методу є необхідність продувати шлейфи свердловин у атмосферу, що при-

зводить до втрати газу. Зменшити негативний вплив цього недоліку можливо шляхом залучення для продування шлейфів свердловин ділянок труб великого діаметра, використовуючи їх порожнину як буфер, а газ продування – на власні потреби.

2 Очищення пінними поршнями

Очищення свердловини у такий спосіб усуває необхідність спорудження камер запуску та приймання очисних пристроїв, а за ефективністю не поступається очищенню еластичними поршнями-кулями.

Головним завданням у ході проведення очисних операцій є забезпечення оптимальної швидкості пінного потоку, що діятиме на рідину в її природній пастці. При цьому дзеркало рідини буде постійно зменшуватись, що впливатиме на зміну швидкості, необхідної для її винесення.

Розглядаючи сегмент труби, зайнятий рідиною, над яким проходить щільний потік піни. Швидкість останньої запишемо як відношення витрати піни Q до площі вільного сегмента S_1 .

$$u = \frac{Q}{S_1}. \quad (7)$$

Об'єм труби, не зайнятий забрудненнями, (вільний сегмент) є різницею між геометричним об'ємом природної пастки рідини та об'ємом забруднень на її нижній твірній. З іншого боку, зрозуміло, що об'єм вільного сегмента визначатиметься як добуток його площі на довжину дзеркала рідини.

Прийmemo об'єм забруднень, як певний ступінь заповнення геометричного об'єму трубопроводу – a , розв'язуюючи зворотну задачу, отримуємо значення площі вільного сегмента:

$$S_1 = \frac{V_{геом} - V_{забр}}{L_{оз}} = \frac{V_{геом} (1 - a)}{L_{оз}} = \frac{\pi D^2}{4} (1 - a),$$

де: D – внутрішній діаметр газопроводу, м; a – ступінь заповнення геометричного об'єму природної пастки рідиною, що залежить від режиму роботи шлейфу свердловини та рельєфу ділянки із природною пасткою рідини (рис. 3).

Проведення очищення шлейфів свердловин вимагає розроблення інструкцій та планів робіт, що враховують відповідні підготовчі роботи з приготування розчину піноутворювача, монтування піногенератора до виходу шлейфа, який буде очищуватись, на блоці вхідних ниток УКПГ, приєднання компресорної установки та промивного агрегату тощо. Крім того, до і після очищення шлейфів свердловин слід проводити контрольні заміри дебіту свердловини та тиску на її гирлі і на блоці вхідних ниток УКПГ з метою визначення змін коефіцієнта гідравлічної ефективності.

3 Врізання дрину (дренажних трубок)

Алгоритм впровадження способу передбачає:

- визначення гідравлічної ефективності газопроводу та орієнтовного об'єму забруднень його ділянок;

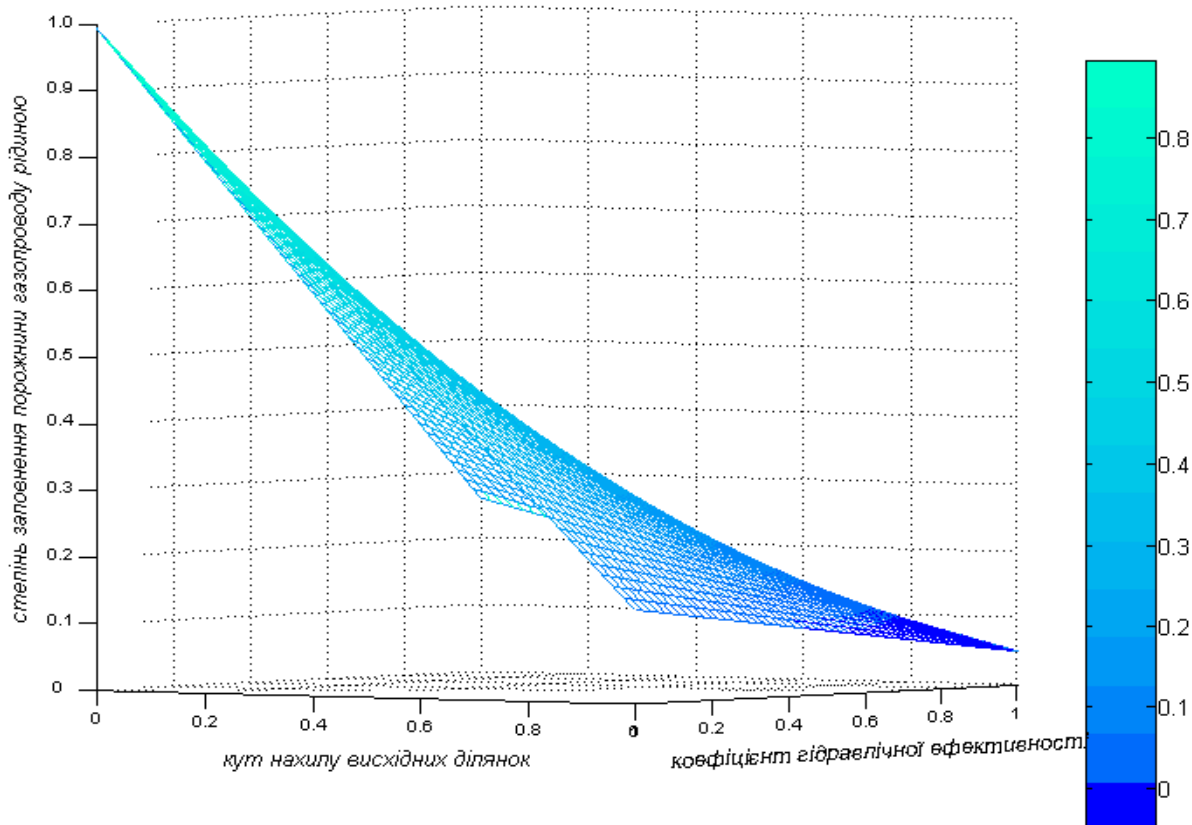


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта a від коефіцієнта гідравлічної ефективності ділянки газопроводу і куту її нахилу

- визначення місць ймовірного накопичення рідини;

- визначення найнижчої точки траси газопроводу в природній пастці рідини, що є найбільш ймовірною для накопичення рідини (переходи через яри, балки, заплави річок тощо).

Головним завданням під час реалізації цього способу є більш точне визначення місць встановлення пристроїв для відведення рідини з порожнини газопроводу здійснюють шляхом пошуку понижених місць траси газопроводу. Такі місця визначають на основі аналізу поздовжнього профілю, який будують геодезичними методами на стадії інженерних пошуків газопроводів або на стадії паспортизації вже побудованих газопроводів. Для визначення найбільш низького місця в природній пастці рідини слід застосувати традиційні геодезичні прилади: технічні теодоліти і тахеометричні рейки або сучасні системи GPS.

Висновки

Кожне родовище, кожна свердловина мають свій унікальний режим роботи, робота шлейфів свердловин родовищ також відрізняється між собою. Отже, і застосування того чи іншого із запропонованих шляхів очищення порожнини шлейфів від накопичених забруднень має базуватись на тотальному моніторингу режиму роботи системи «уста свердловини – УКПГ».

В статті представлено лише теоретичні аспекти впровадження шляхів щодо покращення ефективності роботи шлейфів свердловин. Попри це, аналітичні розрахунки мають скласти базу для розробки нормативних документів на рівні інструкцій, методик, в яких викладатиметься алгоритм проведення операцій. Крім того, дотримання розрахункових параметрів дасть змогу значно підвищити ефективність того чи іншого способу очищення шлейфів свердловин.

Література:

1 Капцов И.И. Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах / И.И. Капцов – М.: Недра, 1988. – 160 с.

2 Одишария Г.Э. Гидравлический расчёт рельефных трубопроводов при незначительном содержании жидкости в потоке газа / Г.Э.Одишария, А.В. Катусенко // Газовая промышленность. – 1976. – С.42-43.

3 V. Goldberg, FMc Kee Model predicts liquid accumulation severe terrain induced slugging for two-phase lines – Oil&Gas Journal, 19 Aug., 1985.

4 Mahmood Moshfeghian, Arland H. Johannes, Robert N. Maddox Thermodynamic properties are important in predicting pipeline operations accurately – Oil&Gas Journal, 04 Feb, 2002. – С.58-61.

5 Шагапов В.Ш. Распространение малых возмущений в жидкости с пузырьками // Прикладная механика и техническая физика. – 1977. – №1. – С. 90 – 101.

6 Нигматулин Р.И. Проявление сжимаемости несущей фазы при распространении волн в пузырьковой бресе / Р.И. Нигматулин, Н.К. Вахитова // ДАН СССР. – 1989. – Т. 304, № 5. – С.1077 – 1081.

7 Пат. України №49762. Спосіб контролю утворення гідратів в газопроводах / Беккер М.В. та ін.; Заявл. 05.06.02; опубл. 16.09.02; Бюл. №9.

8 Пат. України № 49764. Спосіб контролю утворення гідратів в газопроводах / Руднік А.А. та ін.; Заявл. 05.06.02; Опубл. 16.09.02, бюл. №9.

9 Ходакович И.Е. Изучение закономерностей изменения давления и расхода газа по длине газопровода: Сб. «Транспорт газа» (Труды ВНИИГАЗа, вып. 13/20). – М.: Недра, 1961. – С.14-19.

10 Кутателадзе С.С. Гидравлика газожидкостных смесей / С.С. Кутателадзе, М.А.Стірикович. – Л.: ГЭИ, 1958. –232с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
18.02.10*

*Рекомендована до друку професором
Кондратом Р.М.*