

622.691.4  
Б87

**Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу**

**БРАТАХ МИХАЙЛО ІВАНОВИЧ**



УДК 622.691.4

**ОЦІНКА ГІДРАВЛІЧНОГО СТАНУ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗОПРОВІДІВ І  
РОЗРОБКА СПОСОБУ ЇХ ОЧИСТКИ**

Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Івано-Франківськ - 2008**

Дисертацією є рукопис

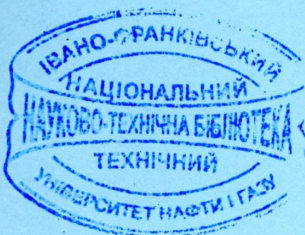
Роботу виконано в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор  
Тимків Дмитро Федорович,  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу,  
завідувач кафедри інформатики

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук,  
професор Середюк Марія Дмитрівна,  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу,  
завідувач кафедри транспорту і зберігання нафти і газу



кандидат технічних наук  
Банахевич Юрій Володимирович,  
Управління магістральних газопроводів «Львівтрансгаз»  
ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України»,  
начальник відділу експлуатації МГ і ГРС

Захист відбувся «16» травня 2008 р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради при спеціалізованому технічному університеті нафти і газу, м. Івано-Франківськ, вул. С. П. Корюківського, 76019, м. Івано-Франківськ

З дисертацією  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу за адресою: 76019

газу за

Автореферат р

Вчений секретар спеціалізованого



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ



an1384

...ість теми. Енергетична безпека України як газовидобувної держави насамперед пов'язана з стабілізацією та зменшенням темпів падіння обсягів видобування газу з власних родовищ. Вирішення низки цих проблем зумовить підвищення ефективності експлуатації як промислових, так і магістральних газопроводів, підвищенні надійності експлуатації обладнання, запобіганні аварійним відмовам. Питання збільшення обсягів видобутку газу та своєчасної і безперебійної подачі його споживачам тісно пов'язані з мінімізацією втрат тиску газу під час його транспортування системою газопроводів. Тому скорочення основної складової втрат тиску під час транспортування газу - втрат тиску в місцевих опорах, викликаних наявністю забруднень рідинного та твердого типу в порожнині газопроводів шляхом їх ідентифікації, визначення кількісного і якісного вмісту, стилізування - скероване саме на підвищення ефективності експлуатації газопроводів, які транспортують газ, видобутий в Україні, що в свою чергу сприяє забезпеченню її енергетичної безпеки.

Перерозподіл мас рідини ділянками газопроводу внаслідок досягнення величини критичного об'єму забруднень на одній із них або зміни режиму експлуатації газопроводу призводять до залпових викидів рідини з порожнини газопроводу до технологічного обладнання установок комплексної підготовки газу (УКПГ), газорозподільних станцій (ГРС), компресорних станцій і дожимних компресорних станцій (КС і ДКС) тощо, спонукають аварійні відмови обладнання, забруднення навколишнього середовища, припинення подачі газу споживачам.

Розробка спрямована на підвищення ефективності експлуатації промислових і магістральних газопроводів, що транспортують газ власного видобутку, запобіганні аварійним відмовам обладнання, підвищення надійності експлуатації системи в цілому.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано в рамках Національної програми "Нафта і газ України до 2010 р." і галузевої програми "Перспективи стабілізації та нарощування видобутку газу, газового конденсату і нафти" від 20 грудня 2000р.

Дослідження вибраного напрямку проводились у рамках виконання науководослідних робіт, базових для підготовки і подання дисертаційної роботи: 45.153/2006-2006 (договір № 200 УТВ/2005-2005) "Дослідження режимів роботи системи "свердловина – УКПГ – траса газопроводів кільцевого колектора – ДКС – споживач газу" в умовах зниження тиску на вході в Червонодінецьку ДКС і зниження перепаду тиску між її складовими частинами для Харківського промислового регіону", 45.930/2005-2005 «Розробити методика визначення об'єму забруднень в газопроводах-відгалуженнях» (договір №05-05/11 УТГ) та

45.740/2005-2005 “Впровадження та авторське супроводження СОУ “Газопроводи магістральні. Методичні положення для визначення об’єму забруднень в газопроводах-відводах”

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності експлуатації промислових газопроводів шляхом розробки способу визначення об’єму рідинних забруднень, який формується в їх порожнині під впливом ряду чинників, прогнозування залпового викиду рідини з порожнини газопроводу, розробки заходу щодо очистки порожнини газопроводу від накопичених забруднень.

Указана мета досягається шляхом вирішення таких задач дослідження:

1 Аналіз та систематизація причин утворення забруднень у порожнині газопроводу, їх якісного складу, методів кількісного визначення, залпових викидів рідини до технологічного обладнання.

2 Розробка математичної моделі залпового викиду рідини з газопроводу на основі теоретичних досліджень геометрії рідинного накопичення в застійній зоні газопроводу.

3 Дослідження впливу режиму роботи газопроводу і поздовжнього плану-профілю траси на ступінь забруднення його порожнини рідиною.

4 Розробка заходів щодо підвищення ефективності роботи газопроводів, які транспортують газ газоконденсатних родовищ (ГКР) України, що працюють на виснаження, шляхом очистки їх порожнини від накопичених рідинних забруднень і запобігання залповим викидам рідини до технологічного обладнання ГРС, КС тощо.

*Об’єкт дослідження* - промислові та магістральні газопроводи, що транспортують газ власного видобутку (ГКР України).

*Предмет дослідження* - режими роботи газопроводів, експлуатація яких характеризується наявністю в застійних зонах (коліна газопроводу, понижені місця) забруднень рідинного типу.

*Методи дослідження.* У роботі використано методи математичного моделювання квазістаціонарних режимів роботи промислових і магістральних газопроводів, інтегральні перетворення, теорії узагальнених функцій, згладжування та диференціювання диспетчерських даних, даних польових досліджень і експериментальних даних, застосовано новітні комп’ютерні технології для одержання числових результатів досліджень.

**Положення, що захищаються:** закономірності впливу режиму експлуатації рельєфного газопроводу, включаючи швидкісний, якісного складу рідини та технічної характеристики газопроводу, на формування і динаміку рідинних забруднень в порожнині його ділянок.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробці способів визначення об’єму забруднень у порожнині газопроводу на основі досліджень, які проводились уперше.

1 Одержано математичну модель процесу формування рідинних забрудників у порожнині труби, яка зв'язує режим роботи рельєфного газопроводу із певним ступенем заповнення його порожнини рідиною.

2 Удосконалено спосіб винесення рідини з порожнини газопроводу під впливом газового потоку або потоку більш легкої рідини, що тече над водяним або конденсатним «мішком», на основі якого отримано математичну модель залпового викиду рідини з газопроводу.

3 Отримано спосіб визначення об'єму забруднень і його динаміки в газопроводі, що являє собою рівняння залежності ступеня заповнення порожнини ділянки газопроводу від його режиму роботи, який характеризується коефіцієнтом гідравлічної ефективності, та кутом нахилу висхідних ділянок.

4 Удосконалено спосіб очистки газопроводів, що транспортують газ ГКР, шляхом створення високошвидкісного потоку газу.

**Практичне значення отриманих результатів.** Проведене дослідження в рамках виконання науково-дослідних робіт гідравлічного стану та визначення об'єму рідинних забруднень у порожнині газопроводів кільцевого колектору Шебелинського ГКР та міжпромислових газопроводів газопромислового управління (ГПУ) «Харківгазвидобування», магістральних газопроводів (МГ) Шебелинка-Харків, Шебелинка – Белгород – Курськ – Брянськ (ШБКБ) дало змогу впровадити заходи щодо зменшення перепаду тиску трасою газопроводів-колекторів і провести перерозподіл газових потоків у Харківському промисловому регіоні. Результатом проведених робіт є зниження перепаду тиску в газопроводах-колекторах до 0,1 - 0,25 МПа за початкового тиску 1,07 - 1,4 МПа, подолання сезонної нерівномірності видобутку газу з родовища та відповідне його збільшення. На основі проведених досліджень утилізовано до 300 м<sup>3</sup> рідинних і твердих забруднень із МГ Шебелинка-Харків, зменшено втрати тиску під час подачі газу Шебелинського ГКР споживачам Харківського промислового вузла, що підвищило надійність експлуатації об'єктів лінійної частини газопроводу.

Результати визначення об'єму забруднень у порожнині труби та пошуку причин появи залпових викидів на ГРС у зимово-весняний період експлуатації впроваджено в управлінні магістральних газопроводів (УМГ) “Прикарпаттрансгаз” для газопроводу Пасічна – Тисмениця та системи колекторів у районі Битківської ДКС.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати, які виносяться на захист, отримані дисертантом самостійно. Дисертантом виконано наступні наукові дослідження:

1 Проаналізовано та систематизовано причини утворення забруднень у порожнині газопроводу, їх якісний склад на основі відібраних проб із діючих промислових газопроводів, методи кількісного визначення та порівняно їх із

даними щодо утилізуваннн забруднень після очистки порожнини газопроводу [3, 4, 5, 7, 8, 11].

2 Розроблено математичну модель залпового викиду рідини з газопроводу на основі теоретичних досліджень геометрії рідинного накопичення в застійній зоні газопроводу [9, 11, 13].

3 Встановлено залежність між режимом роботи газопроводу і рельєфом траси його прокладання та ступенем забруднення його порожнини рідиною [1, 14, 15, 22], визначено динаміку об'єму забруднень у порожнині газопроводів протягом року й активацію процесу залпових викидів рідини з газопроводу [9, 12, 13, 16].

4 Розроблено й обгрунтовано заходи щодо підвищення ефективності роботи газопроводів, що транспортують газ ГКР, шляхом очистки їх порожнини від накопичених забруднень [6, 10, 17, 18, 19, 20, 21].

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, включені до дисертації, апробовано на таких конференціях, нарадах: - XII Міжнародна конференція "Ресурсоенергозбереження у ринкових відносинах" (14-17.04.2005 р., м. Ялта); Всеукраїнська науково-практична конференція: "Реалізація регіональних програм реформування та розвитку житлово-комунального господарства" (19-22.05.2005р. м. Алушта, АР Крим); 7-а Міжнародна науково-практична конференція "Нафта і газ України -2002" (31.10-01.11.2002 р., м. Київ); науково-практичний семінар: "Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта» (25-27 04.2005 р. м. Київ); III конференція молодих спеціалістів Дочірньої компанії "Укргазвидобування" (14-17.10.2003 р., м. Львів); Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених "Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі" (5-8.12. 2005 р., м. Київ); 5-а Національна науково-технічна конференція і виставка "Неруйнівний контроль та технічна діагностика" (10-14.04.2006 р., м. Київ); Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта (17-18 квітня 2007 р., м. Київ).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 22 друковані роботи, з яких одна робота є галузевим нормативним документом, 4 – матеріалами конференцій, семінарів, нарад, 13 опубліковано в фахових виданнях України і 4 патенти.

**Обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 5 додатків, списку використаних джерел. Обсяг дисертації становить 150 сторінок комп'ютерного тексту, в тому числі 116 сторінок основного тексту, вміщує 11 таблиць, 41 рисунок. Перелік використаних джерел складає 133 назви.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито актуальність дисертаційної роботи, сформульовано основну мету і задачі дослідження, наведено відомості про зв'язки обраного

напрямку досліджень із планами організації, де працює здобувач. Дано стислу анотацію отриманих результатів під час виконання дисертаційної роботи, зазначено їх практичну цінність, обґрунтування і достовірність. Наведено дані про використання результатів проведених досліджень у народному господарстві (безпосередньо в нафтогазовій галузі).

У першому розділі подано характеристику об'єкту досліджень – газопроводів системи видобутку і збору газу ГКР України та магістральних газопроводів, якими газ подається споживачам. Систематизовано причини утворення твердих і рідинних накопичень у порожнині газопроводу, серед яких виділено основні: поступлення рідини і твердих включень на вхід газопроводу внаслідок несправності сепараційного обладнання, конденсація рідини з газового потоку за сприятливих термодинамічних умов під час перекачування газу газопроводом, неякісно проведена очистка газопроводу перед здаванням у промислову експлуатацію. Попри відсутність системного підходу до вирішення проблеми ідентифікації рідинних і твердих накопичень в порожнині промислових газопроводів, окремим складовим питанням присвячено детальну увагу дослідниками Бруком В.А., Козієм В.М., Лур'є А.І. - питанню транспортної кондиційності газу на основі аналізу зміни вологовмісту потоків газу та температур точок роси; Чарним І.А., Галімовим А.К., V. Goldberg, Mahmood Moshfeghian - питанню впливу режиму роботи газопроводу на зміну геометрії рідинної пробки в порожнині діючого газопроводу і розробки рівнянь, що корелюють визначення втрат тиску під час перекачування газового потоку Капцовим І.І., Одішарія Г.Є., Гусейновим Ч.С. - питанню аналізу ефективності роботи газопроводів за зміною коефіцієнтів гідравлічної ефективності ділянок газопроводу; дослідниками Шагаповим В.Ш., Нігматуліним Р.І. - проблемі виникнення хвильових рухів рідини в посудинах, що працюють під тиском, і можливості виникнення залпових викидів рідини з газонафтових свердловин; фахівцями Рудніком А.А., Беккером М.В. - способам контролю утворення гідратів у порожнині газопроводів на основі аналізу температурного режиму

Виходячи з аналізу оглянутих літературних джерел, методів та способів оцінки гідравлічного стану та способів визначення об'єму забруднень у порожнині газопроводів, встановлено, що:

1 результати за проаналізованими методами суттєво відрізняються між собою і даними про збір та утилізування рідини з порожнини газопроводу;

2 всі оглянуті роботи по залповим викидам рідини стосуються видобутку газу зі свердловин і запобіганню їх обводнення, виникнення гідратів у стовбурі свердловини, створення апаратів і технології щодо запобігання залпового викиду рідини в технологічні трубопроводи КС, ГПС тощо, транспортування газу в кліматичних умовах, що не стосуються України, транспортування нафти і конденсату

Сформульовано цілі й основні задачі дослідження.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження прогнозування залпового викиду рідини з коліна газопроводу на основі теорії І. А. Чарного щодо динамічної рівноваги води в напірних трубопроводах при діях рушійної сили на шари води й утримуючої сили тяжіння.

У результаті дослідження геометрії рідинного формування, що піддається впливу рушійної сили, отримано рівняння, які характеризують геометрію рідинної пробки в застійній зоні газопроводу:

- критичної глибини залягання дзеркала рідини, що відповідає умові залпового викиду:

$$H_{кр} \geq \frac{\lambda \cdot \cos^2 \varphi \cdot \omega^2 \cdot \gamma_g}{4\Delta\gamma \cdot \sin \alpha \cdot g}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного опору газопроводу,  $\varphi$  - центральний кут до дзеркала рідини,  $\omega$  - швидкість газу в газопроводі, м/с;  $\gamma_g$  - густина газу, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta\gamma$  - різниця між густиною рідини і газу, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  - кут нахилу ділянки газопроводу до горизонтальної поверхні;  $g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

- довжини дзеркала рідини:

$$S = \eta \cdot 2R, \quad (2)$$

де  $R$  - радіус газопроводу, м,  $\eta$  - коефіцієнт, що враховує режим експлуатації ділянки рельєфного газопроводу.

$$\eta = \frac{\psi}{\varphi} \left\{ \xi - \xi_0 - 0.5 \sqrt{\frac{m_1}{\varphi}} \ln \left( \frac{\left( \sqrt{\frac{m_1}{\varphi} + \xi} \right) \left( \sqrt{\frac{m_1}{\varphi} - \xi_0} \right)}{\left( \sqrt{\frac{m_1}{\varphi} - \xi} \right) \left( \sqrt{\frac{m_1}{\varphi} + \xi_0} \right)} \right) \right\}, \quad (3)$$

$$+ \frac{n_1 \varphi^6}{m_1^7} \left[ \ln \left( \frac{\xi}{\xi_0} \cdot \sqrt{\frac{m_1 - \varphi \xi_0^2}{m_1 - \varphi \xi^2}} \right) + \sum_{k=1}^6 \frac{m_1^k}{\varphi^k 2k (\xi_0^{2k} - \xi^{2k})} \right]$$

$$\text{де } \varphi = \frac{\Delta\gamma}{\gamma_g} \sin \alpha; \psi = \frac{\Delta\gamma}{\gamma_g};$$

$$m_1 = 0.0244 \lambda F r_{np}; n_1 = 2 \cdot (0.7021)^{1.5} F r_{np} \beta,$$

$$m = 0.01536 \cdot \lambda; n = 0.029288 \cdot F r_{np}$$

де  $\beta = 1,045-1,1$  - коефіцієнт Кориоліса (поправочний коефіцієнт на нерівномірність розподілення швидкостей);  $\alpha$  - кут нахилу ділянки газопроводу до горизонтальної поверхні, рад;  $\gamma$  - густина рідини або газу, кг/м<sup>3</sup>;  $F_r$  - приведене число Фруда.

Кут  $\varphi_{кр}$ , що відповідає критичній глибині залягання дзеркала рідини  $H_{кр}$ , запропоновано визначати з умови геометрії рідинного формування в застійній зоні газопроводу за формулою 4, що в графічній залежності відповідає кривій на рисунку 1.



$$\Phi_1(\varphi_{кр}) = \frac{\left(\pi - \varphi + \frac{1}{2} \sin 2\varphi\right)^3}{\sin \varphi} \quad (4)$$

де  $\varphi$  – половина центрального кута до дзеркала рідини, рад.

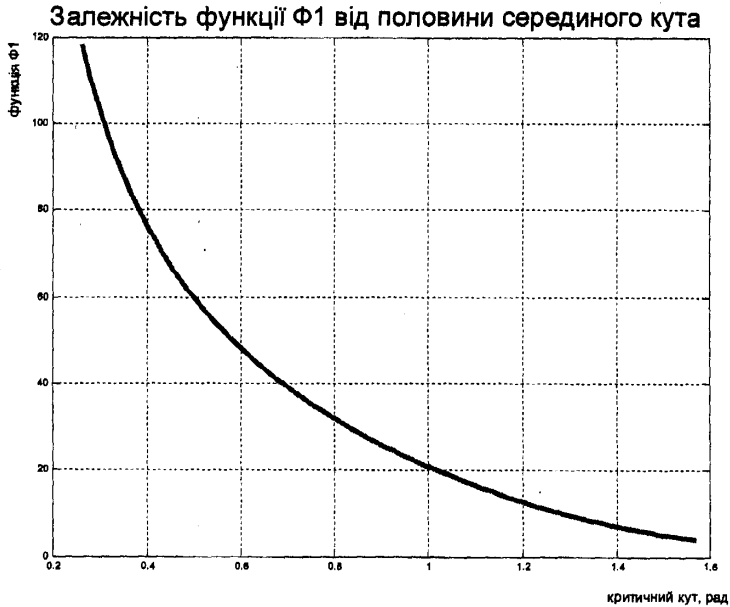


Рис. 1 - Залежність функціональної умови  $\Phi_1(\varphi_{кр})$  від половини центрального кута до дзеркала рідини

Отримано математичні моделі залежності функціональної умови  $\Phi_1(\varphi_{кр})$  від наступних чинників: швидкісного режиму роботи газопроводу, його технічної характеристики, якісної характеристики рідинних забруднень у порожнині газопроводу, рельєфу місцевості, трасою якої прокладено газопровід, і середнього тиску газу на ділянці газопроводу

$$\Phi_1(\varphi_{кр}) = \frac{4\pi^2 \beta \omega^2 P}{zRTDg \cos \alpha \left( \gamma_p - \frac{P}{zRT} \right)}, \quad (5)$$

де  $\omega$  – лінійна швидкість газу, м/с;  $P$  – середній тиск газу на ділянці газопроводу, Па;  $z$  – коефіцієнт стисливості газу для некомпимованого газу ГКР і газових родовищ (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<sup>2</sup>;  $\alpha$  – кут нахилу ділянки газопроводу до горизонтальної поверхні, рад;  $\gamma_p$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Математичну модель реалізовано в програмному забезпеченні у вигляді 3-D моделей  $\Phi_1(\varphi_{кр})$  для умов, що враховують швидкісний режим роботи

газопроводу від 1,0 до 15,0 м/с, рельєф траси прокладання газопроводу, діаметральний ряд (від шлейфів умовного діаметру ДН100 до МГ ДН1400); режим роботи газопроводів, якісний склад забруднень у порожнині газопроводу (вода пластова, конденсаційна, конденсат) (рис.2).

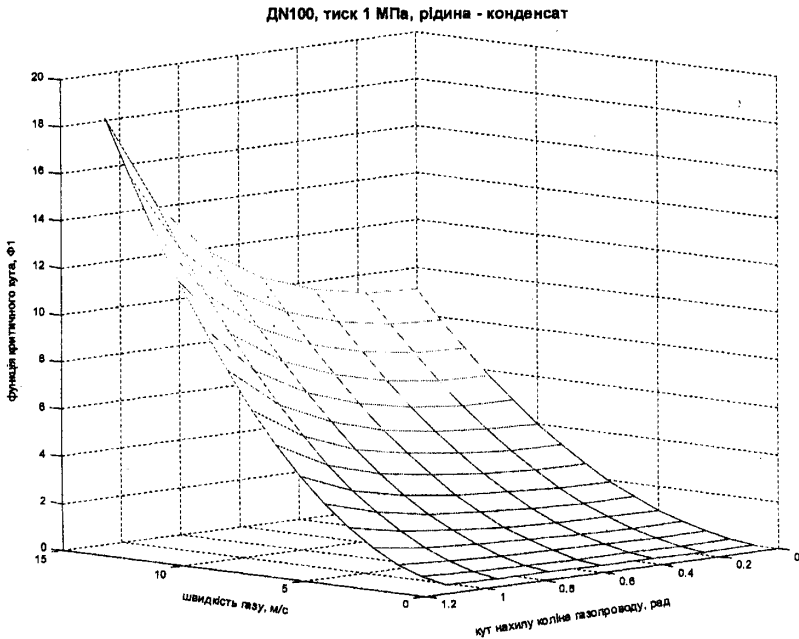


Рис. 2 – Приклад реалізації в програмному забезпеченні математичної моделі залежності  $\Phi_1(\varphi_{кр})$  для рельєфних газопроводів

Оскільки в кожному конкретному випадку довжина ділянки газопроводу, що зайнята забрудненнями (довжина дзеркала рідини), буде різною, враховуючи геометрію рідинної пробки в застійній зоні газопроводу, побудовано залежність питомого критичного об'єму забруднень від діаметру газопроводу  $D$  та критичного значення половини центрального кута до дзеркала рідини  $\varphi$  (рис. 3).

Сформульовано умову залпового викиду і прогнозування можливості виникнення процесу залпового викиду рідини з коліна газопроводу для промислових газопроводів України і МГ, що транспортують газ власного видобутку, яка полягає у перевищенні величини критичного об'єму забруднень, запропонованого за даною розробкою величиною об'єму забруднень у певний період року, що визначатиметься за режимом роботи газопроводу.

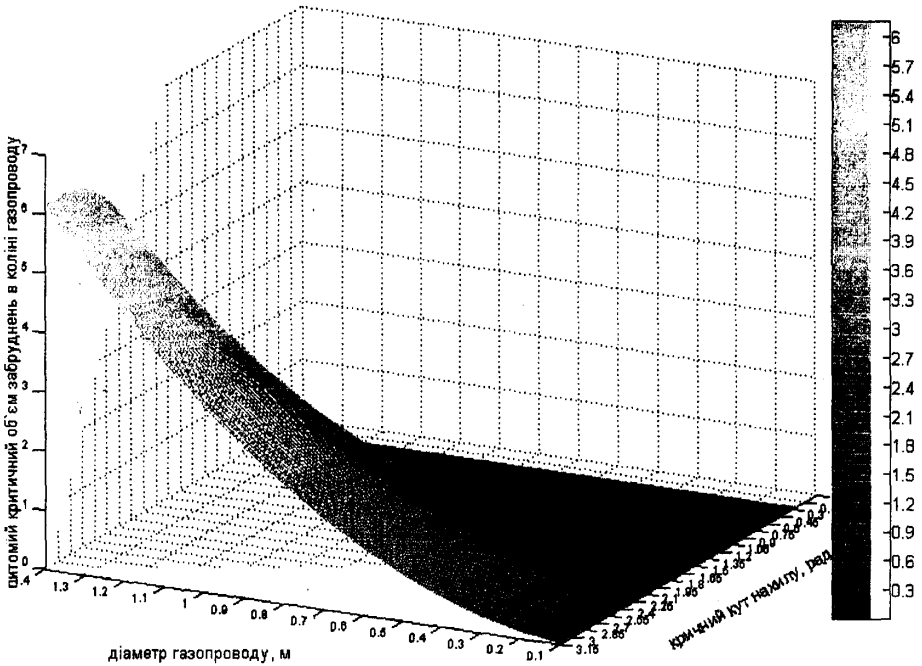


Рис. 3 - Залежність питомого критичного об'єму  $V_{кр}$  забруднень від критичного кута  $\phi$  і діаметру газопроводу

Сформульовано ціль експериментальних досліджень щодо визначення об'єму забруднень у порожнині газопроводів відповідно до режиму їх роботи і рельєфу місцевості, якою прокладено трасу газопроводу.

У **третьому розділі** проведений аналіз забруднень, що вилучено з порожнини трубопроводів, якими транспортують газ газоконденсатних родовищ, свідчить про те, що основними складовими є вода (пластова, конденсаційна) та газовий конденсат (легкий, важкий); вміст механічних домішок, мастил, мастильних композицій тощо не перевищує 2,5%.

Метою експериментальних досліджень було отримання емпіричної регресійної моделі об'єкта, яка використовується для його оптимізації. Для отримання математичної моделі використано чинниковий дослід, суть якого полягатиме в послідовній зміні всіх чинників об'єкта і проведенні дослідження за певним планом, отриманні функції відгуку у вигляді лінійного полінома і дослідженні останнього методами математичної статистики.

Отримано емпіричну регресійну модель, що описує залежність ступеня заповнення рідиною порожнини ділянки газопроводу від її режиму роботи, що характеризується певним значенням коефіцієнта гідравлічної ефективності та кута нахилу досліджуваної ділянки газопроводу. Розрахунковий об'єм рідинних забруднень у порожнині газопроводу визначають за формулою:

$$V_{\text{забр}} = a \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \quad (6)$$

де  $D$ ,  $L$  - геометричні параметри газопроводу: внутрішній діаметр і довжина відповідно, м;  $a$  - прийнято як коефіцієнт, який характеризує ступінь заповнення геометричного об'єму газопроводу рідиною відповідно до рис. 3.

$$a = 0,2513 - 0,2099E - 0,09083i + 0,641875(1 - E)(1 - i) \quad (7)$$

де  $E$  - коефіцієнт гідравлічної ефективності ділянки газопроводу,  $i$  - геодезичний ухил ділянки газопроводу, рад.

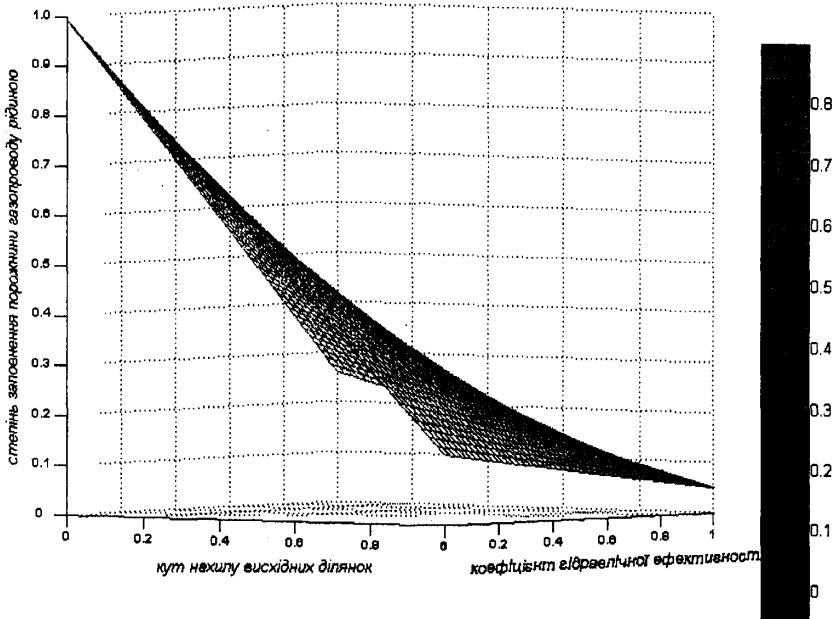


Рис. 4 - Залежність коефіцієнта  $a$  від коефіцієнта гідравлічної ефективності ділянки газопроводу й її кута нахилу

Результати дослідження регресійної емпіричної моделі залежності ступеня заповнення ділянки газопроводу рідиною від її режиму роботи і

геодезичного ухилу підтверджують придатність лінійного рівняння регресії для розв'язання задачі пошуку області оптимуму – сукупності найсприятливіших умов, значимість коефіцієнт рівняння, при чому розрахункова похибка експерименту становить 3,86%.

Проведені розрахунки об'єму забруднень на основі польових досліджень діючих газопроводів системи збору і видобутку газу свідчать про значну збіжність результатів для коротких ділянок газопроводів системи збору і видобутку газу (похибка визначення в межах 5 %), для магістральних газопроводів похибка між отриманими розрахунковими даними і даними про збір забруднень із порожнини труб не перевищує 11 %.

На основі розробленої теоретичної математичної моделі залпового викиду рідини з порожнини газопроводу, математичної моделі залежності ступеня забруднення геометричного об'єму газопроводу рідиною, методики параметричного діагностування гідравлічного стану ділянок газопроводу представлено алгоритм визначення динаміки об'єму забруднень протягом року в порожнині газопроводу і прогнозування активації процесу залпового викиду рідини з газопроводу.

Похибка прогнозування об'єму забруднень на прикладі діючого міжпромислового газопроводу Кременівська (установка комплексної підготовки нафти і газу) УКПНГ – Перещепинська УКПГ становить 8,7 %.

У четвертому розділі на основі отриманих результатів досліджень щодо залпового викиду рідини і динаміки об'єму забруднень протягом року розроблено спосіб очистки порожнини газопроводів високошвидкісним потоком газу, який передбачає точний розрахунок: критичної швидкості руху газового потоку, що відповідає винесенню критичного об'єму рідини з порожнини газопроводу, перепаду тиску, який слід створити на запірному органі, для забезпечення критичної швидкості газу, довжини ділянки наявності забруднень у порожнині газопроводу; об'єму забруднень, що надійде на кінцевий пункт призначення внаслідок залпового викиду і що залишиться в порожнині газопроводу.

Критична швидкість яку слід досягти на ділянці, що відповідатиме винесенню з природної пастки рідини критичного об'єму забруднень, шляхом перекриття запірного органу на крановому вузлі та створення критичного перепаду тиску розраховується за формулою:

$$\omega_{\varphi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{zRTDg \cos \alpha \left( \gamma_p - \frac{P}{zRT} \right)}{\beta \Phi(\varphi_{\varphi}) P}}, \quad (8)$$

де  $\beta = 1,045-1,1$  – коефіцієнт Коріоліса (поправочний коефіцієнт на нерівномірність розподілення швидкостей),  $\omega$  – лінійна швидкість газу, м/с,  $P$  –



середній тиск газу на ділянці газопроводу, Па,  $z$  – коефіцієнт стисливості газу для некомпримоуваного 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<sup>2</sup>;  $\alpha$  – кут нахилу ділянки газопроводу до горизонтальної поверхні, рад;  $\gamma_p$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Об'єм забруднень, що винесеться з пониженого місця ділянки газопроводу, буде різницею між накопиченим об'ємом забруднень (критичний об'єм забруднень в умовах створеного високошвидкісного потоку газу) та нормальним об'ємом забруднень, який за даного режиму роботи залишиться в коліні газопроводу.

$$V = V_{кр} - V_n, \quad (9)$$

де  $V_n$  – нормальний об'єм рідини в газопроводі, що не спонукає процес проходження залпового викиду рідини за даного режиму роботи, м<sup>3</sup>.

Виходячи з геометрії рідинного накопичення, очевидно, що

$$V_n = \frac{D^2 L}{4} (2\varphi_n - \sin 2\varphi_n), \quad (10)$$

де  $\varphi_n$  – нормальний кут нахилу, який відповідає режиму роботи газопроводу без залпового викиду рідини і визначається із умов, поданих у розділі 2

$$\Phi_2(\varphi) = \frac{(\pi - \varphi) + \frac{1}{2} \sin 2\varphi}{\pi - \varphi + \sin \varphi}. \quad (11)$$

Залежність функціональної умови нормального кута до дзеркала рідини характеризується рівнянням

$$\Phi_2(\varphi_n) = \frac{\pi^2}{2} \cdot \frac{\lambda \omega^2 P}{DgzRT \sin \alpha \left( \gamma_p - \frac{P}{zRT} \right)}. \quad (12)$$

У разі необхідності проведення очистки промислових газопроводів, що працюють безпосередньо в магістральний газопровід, для запобігання просування мас забруднень до порожнини останнього запропоновано застосувати технічне рішення щодо вловлювання рідини, яке являє собою удосконалену розширювальну камеру.

Згідно з упродовженими рекомендаціями щодо уникнення залпових викидів рідини на МГ Пасічна – Тисмениця (УМГ «Прикарпатрансгаз») очікуваний прибуток склав 4,56 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень вирішено актуальну для газотранспортної та газовидобувної галузі науково-практичну задачу, яка полягає у розробці математичних моделей режимів роботи газопроводів із наявними рідинними забрудненнями у внутрішній порожнині та створення на їх основі способів визначення об'єму забруднень у порожнині газопроводів системи "свердловина – УКПГ – ДКС – МГ – споживач" та прогнозування залпових викидів рідини з їх порожнини.

1 Систематизація причин утворення рідинних забруднень у порожнині газопроводу свідчить про можливість їх появи внаслідок: механічного крапельного винесення рідини з сепараційного обладнання й осадження її під впливом сприятливого швидкісного режиму експлуатації, конденсації рідини з газового потоку за сприятливих термодинамічних умов трасою газопроводу, недосконалої очистки порожнини перед здаванням в експлуатацію газопроводу. На основі аналізу методів дослідження гідравлічного стану газопроводів, кількісного визначення забруднень у порожнині газопроводу і залпових викидів рідини до технологічного обладнання виявлено їх розрізненість, придатність для запобігання обводнення свердловин, виникнення гідратів у стовбурі свердловини, створення апаратів і технології щодо запобігання залпового викиду рідини в технологічні трубопроводи КС, ГРС тощо, транспортування газу в кліматичних умовах, що не стосуються України, транспортування нафти і конденсату.

2 Результати проведених теоретичних досліджень дали змогу отримати спосіб прогнозування залпового викиду рідини з порожнини газопроводу, який полягає у виконанні в певний період року умови перевищення величини критичного об'єму забруднень величиною об'єму забруднень, визначеною на основі аналізу його режиму роботи. Критичний об'єм забруднень у застійній зоні газопроводу являє собою функціональну залежність від технічної характеристики газопроводу, рельєфу місцевості, якою прокладено його трасу, геометрії рідинної пробки (критична глибина залягання дзеркала рідини і його довжина) й її якісної характеристики, режиму експлуатації газопроводу.

3 Отримано емпіричну регресійну модель ступеня заповнення порожнини газопроводу рідиною, що являє собою залежність від коефіцієнта гідравлічної ефективності газопроводу і кута нахилу висхідних ділянок. На основі отриманої моделі створено спосіб визначення об'єму забруднень у порожнині газопроводу і його динаміки протягом року внаслідок сприятливих термодинамічних і швидкісних умов для конденсації рідини (волога, важкі вуглеводневі фракції) з газового потоку.

4 На основі результатів досліджень залпового викиду рідини і зміни об'єму забруднень у порожнині газопроводів розроблено спосіб очистки газопроводу шляхом створення високошвидкісного потоку газу, який дає змогу

підібрати швидкісний режим експлуатації газопроводу, що відповідатиме винесенню критичного об'єму забруднень із порожнини газопроводу. Спосіб передбачає точне визначення показників режиму роботи газопроводу, перепаду тиску, який слід створити на запірному органі газопроводу, об'єму забруднень, що надходить до технологічного обладнання КС, УКПГ, ГРС тощо, і залишок рідинних забруднень у газопроводі.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1 Братах М.І. Спосіб визначення об'єму забруднень в порожнині газопроводів, що транспортують газ власного видобутку // Проблеми нафтогазової промисловості: Зб. наук. праць, вип. 5. – Київ, «ДП Науканафтогаз», – 2007. - С. 628 - 634.

2 Капцов І. І., Холодов В.І., Братах М. І., Винник С. М., Скабара Л. І. Газопроводи магістральні. Методичні положення для визначення об'єму забруднень в газопроводах-відводах. – Київ, Укртрансгаз, - 2005. - 64с.

3 Капцов І. І., Братах М. І. Оптимальна періодичність очистки газопроводу при застосуванні мобільних камер запуску та прийому очисних пристроїв // Питання розвитку газової промисловості України: Зб. наук. праць. - вип. ХХІХ. – Харків, УкрНДІгаз, - 2001. - С. 110-115.

4 Капцов І.І., Братах М.І., Винник С.М., Фоменко О.В., Скабара Л.І., Коляденко В.А. Визначення об'єму відкладів у діючому газопроводі та його гідравлічної ефективності // Проблеми розвитку газової промисловості України: Зб. наук. праць, - вип. ХХІХ. – Харків, УкрНДІгаз, - 2001. - С. 95-99.

5 Богуславський В. А., Капцов І. І., Братах М.І. Щодо питання про застосування мобільних камер запуску та прийому очисних пристроїв // Питання розвитку газової промисловості України: Зб. наук. праць, - вип. ХХІХ. – Харків, УкрНДІгаз, - 2001. - С. 115-119.

6 Братах М. І., Винник С.М., Холодов В.І. Дослідження гідравлічного стану промислових газопроводів // Коммунальное хозяйство городов: Науч. техн. сборник. - вып. 38. – Київ, Техніка, - 2002. - С. 193 – 199.

7 Братах М.І., Фоменко О.В. Аналіз технічного рівня техніки та технології очистки газопроводів з нерівнопрохідною арматурою // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ: ІФНТУНГ. - вип. № 3(4) - Івано-Франківськ, - 2002. - С. 11-14.

8 Тимків Д.Ф., Братах М.І., Фоменко О.В. Аналіз рівнянь для визначення надлишкового перепаду тиску по довжині газопроводів, що транспортують газ газоконденсатних родовищ // Науковий вісник. ІФНТУНГ. - вип.№1(5).- Івано-Франківськ, - 2003. - С. 47-51.

9 Сливканич В.С., Хоменко Г.О., Шапар І.О., Братах М.І., Малітовський Р.В., Віденко О.Х. Дослідження гідравлічного стану газопроводу за умов його циклічної експлуатації // Питання розвитку газової промисловості України: Зб. наук. праць. - вип. ХХХІ. – Харків, УкрНДІгаз. - 2004. - С. 68-78.

10 Мельничук Р. М., Слесарев В.А., Братах М.І., Коляденко В.А., Процків Р.І., Скабара Л.І. Аналіз гідралічного та технічного стану промислових газопроводів ГПУ "Полтавагазвидобування" // Питання розвитку газової промисловості України: 36. наук. праць. - вип. XXXI. – Харків, УкрНДІГаз. - 2004. - С. 83-90.

11 Капцов І. І., Хоменко Г. О., Братах М.І. Причини збільшення перепадів тиску по трасі газопроводів системи видобутку і збору газу // Питання розвитку газової промисловості України: 36. наук. праць. - вип. XXXIII. – Харків, УкрНДІГаз, - 2005. - С. 99-106.

12 Холодов В.І., Братах М.І., Винник С.М., Коляденко В.А., Хоменко Г.О. Збільшення пропускної здатності газопроводу шляхом лупінгування // Питання розвитку газової промисловості України: 36. наук. праць,- вип. XXXIII.– Харків, УкрНДІГаз. - 2005. - С. 113-118.

13 Братах М.І., Холодов В.І., Винник С.М., Малітовський Р.В., Соболева А.В. Самочинні зміни коефіцієнта гідралічної ефективності газопроводу внаслідок дії швидкісної течії газу // Питання розвитку газової промисловості України: 36. наук. праць. - вип. XXXIV. – Харків, УкрНДІГаз. - 2006. – С. 211-215.

14 Бойко Р.В., Винник С.М., Братах М.І., Стецюк С.М. Діагностика коефіцієнта гідралічної ефективності та методи щодо його підвищення на газопроводах ГПУ "Львівгазвидобування" // Питання розвитку газової промисловості України: 36. наук. праць,- вип. XXXIV.- Харків, УкрНДІГаз. - 2006. – С. 227-232

15 Пат. 68953 А Україна, МКІ F17D5/00. Спосіб контролю за накопиченням рідини в газопроводі /Капцов І.І., Бурних В.С., Дугчак І.О., Винник С.М., Братах М.І., Процків Р.І. Заявл. 21.11.03; Опубл. 16.08.04, бюл. №8.- 4с.

16 Пат. 68958 А Україна, МКІ B08B9/027. Спосіб очистки внутрішньої порожнини газопроводу / Капцов І.І., Слесарев В.А., Братах М.І., Винник С.М., Коляденко В.А., С.М Стецюк. Заявл. 21.11.03. Опубл. 16.08.04, бюл. №8. – 3с.

17 Пат. 5574 Україна, МКІ B01D45/08. Пристрій для очистки газу /Сенишин Я.І., Чопань С.В., Бойко Р.В., Капцов І.І., Холодов В.І., Винник С.М., Братах М.І. Заявл. 12.07.04. Опубл. 15.03.05, бюл. №3.-4с.

18 Пат. 59660 А Україна, B01D45/08. Пристрій для очистки газу в трубопроводах /Капцов І. І., Слесарев В. А., Коляденко В. А., Братах М. І., Винник С.М. Заявл. 08.11.02. Опубл. 15.09.03, бюл. № 9.-4с.

19 Саприкін С. О., Капцов І. І., Холодов В. І., Братах М. І. Надійність газопостачання споживачів Харківського промислового регіону в умовах збільшення споживання низьконапірного газу Шебелинського ГКР: // XII Міжнар. конференція "Ресурсоенергозбереження у ринкових відносинах": Тези доповідей, 14-17 червня. – Ялта; Київ, 2005. - С. 73-74.

20 Рибич І. Й., Градков В. Т., Саприкін С.О., Капцов І. І., Братах М.І. Оптимізація перерозподілу потоків Шебелинського газоконденсатного родовища в Харківській промвузол. Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного

транспорта // Сборник докладов науч.- практ. Семинара, 25-27 квітня. – Київ, Екотехнологія, 2005. – С. 30-34.

21 Смоляк Т.І., Іваник Є.Б. Капцов І.І., Холодов В.І., Винник С.М., Братах М.І. Діагностика гідравлічного стану газопроводу з метою визначення способу його покращення // Матеріали конференції “5-а Національна науково-технічна конференція і виставка Неруйнівний контроль та техніка Діагностика”. – Київ, УТНКТД, 2006. – С. 344—351.

22 Саприкін С.О. Капцов І. І., Братах М. І., Винник С.М., Іваник Є.Б. Надійність газопостачання споживачів Харківського промвузла в залежності від гідравлічної ефективності магістральних газопроводів, що подають газ Шебелинського ГКР // Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта // Сборник докладов науч.-практ. семинара, 17-18 квітня. – Київ НТК «Іститут електросварки ім. Е.О. Патона, 2007. – С. 97-102.

### АНОТАЦІЯ

**Братах М.І. Оцінка гідравлічного стану промислових газопроводів і розробка способу їх очистки . – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2008.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального питання щодо розробки моделей режимів роботи газопроводів із наявними рідинними забрудненнями у внутрішній порожнині й створення на їх основі способів визначення об'єму забруднень у порожнині газопроводів системи “свердловина – УКПГ – ДКС – МГ – споживач” та прогнозування залпових викидів рідини з їх порожнини.

Отримано емпіричну регресійну модель ступеня заповнення порожнини газопроводу рідиною, що являє собою залежність від коефіцієнта гідравлічної ефективності газопроводу і кута нахилу висхідних ділянок. Розроблено і реалізовано в програмному забезпеченні математичну модель залпового викиду рідини з порожнини газопроводу під дією чинників.

**Ключові слова:** газопровід магістральний, система збору і видобутку газу, забруднення рідинні, рідина, об'єм забруднень, коефіцієнт ефективності гідравлічної, модель математична, дослід чинниковий.

### АННОТАЦИЯ

**Братах М.И. Оценка гидравлического состояния промышленных газопроводов и разработка способа их очистки. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища.



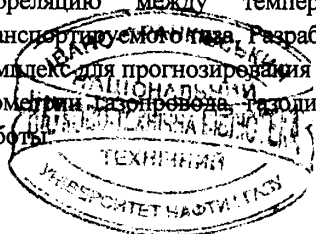
– Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2008.

Диссертационная работа посвящена решению актуального вопроса, связанного с разработкой моделей режимов работы газопроводов с наличием жидкостных загрязнений во внутренней полости и создания на их основе способов определения объема загрязнений в полости газопроводов системы "скважина – УКПГ – ДКС – МГ – потребитель" и прогнозирования залповых выбросов жидкости из их полости.

Систематизированы причины появления жидкостных загрязнений в полости газопровода, среди которых выделены основные: механический капельный вынос жидкости из сепарационного оборудования и осаждения ее под влиянием скоростного режима эксплуатации, конденсация жидкости с газового потока во время перекачивания по трубопроводу при благоприятных термодинамических условиях, некачественно проведенная очистка газопровода перед сдачей его в эксплуатацию.

Получено эмпирическую регрессивную модель процесса заполнения полости газопровода жидкостью, представляющую собою зависимость от коэффициента гидравлической эффективности газопровода и угла уклона восходящих участков. На основе модели создано способ определения объема загрязнений в полости газопровода и его динамики на протяжении года при благоприятных термодинамических и скоростных условиях для конденсации жидкости (влаги, тяжелые углеводородные фракции) с газового потока.

Благодаря разработанной математической модели, реализованной в программном обеспечении, проведен анализ каждого фактора на динамику формирования накоплений во внутренней полости газопровода. Доказано на основе анализа компонентного состава отобранных проб загрязнений с внутренней полости газопровода, что основной их частью является жидкость (содержание механических примесей не более 2,5 % общего объема). На основе спланированного экспериментального исследования получено аналитическую зависимость степени заполнения геометрического объема участка газопровода от режима его работы и особенностей профиля трассы. Проведен анализ уравнения методами математической статистики, доказана адекватность модели и возможность ее использования при инженерных расчетах. Выявлены сезонные тенденции изменения объема загрязнения полости газопровода, условий прохождения процесса залпового вынесения жидкости из полости газопровода, корреляцию между температурой газа и температурой точек росы транспортируемого газа. Разработан расчетный алгоритм и программно-расчетный комплекс для прогнозирования объема загрязнений в полости газопровода с учетом геометрии газопровода, газодинамических и термодинамических параметров его работы.



Усовершенствован способ вынесения жидкости с полости газопровода под влиянием газового потока или потока более легкой жидкости, которые текут над водяным или конденсатным «мешком», на основе которого получено математическую модель залпового вынесения жидкости из газопровода.

Результаты проведенных теоретических исследований дали возможность разработать способ прогнозирования залпового выноса жидкости из полости газопровода, суть которого в выполнении в определенный период года условия превышения величины критического объема загрязнений величиной объема загрязнений, определенной на основе анализа режима его работы. Критический объем загрязнений в застойной зоне газопровода являет собой функциональную зависимость от технической характеристики газопровода, рельефа местности, по территории которой проложена трасса газопровода, геометрии жидкостной пробки (критическая глубина залегания зеркала жидкости и его длина) и ее качественной характеристики, режима эксплуатации газопровода.

Создан способ очистки газопровода высокоскоростным потоком газа, дающий возможность подобрать скоростной режим эксплуатации газопровода, который отвечает вынесению критического объема загрязнений из полости газопровода. Способ предполагает точное определение показателей режима работы газопроводу, перепада давления, который следует создать на запорном органе газопровода, объема загрязнений, который будет выноситься к технологическом оборудованию компрессорных станций, установок комплексной подготовки газа, газораспределительных станций, и остаток жидкостных загрязнений в газопроводе.

**Ключевые слова:** газопровод магистральный, система сбора и добычи газа, загрязнения жидкостные, жидкость, объем загрязнения, коэффициент эффективности гидравлической, модель математическая, эксперимент факторный.

## ABSTRACT

**Bratakh M.I. Estimation of field gas pipelines' the hydraulic state and development of cleaning method.** – Manuscript.

The thesis for competition of a scientific degree of the candidate of technical science on a specialty 05.15.13 – Pipeline's transport, oil and gas storages. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2008.

The mathematical model of relief gas pipeline operating conditions is created, with definite degree of its cavity fullness by liquid.

The determination method of gas pipeline cavity contamination volume is offered, which is characterized by equation of degree of gas pipeline cavity section fullness' dependence from its operating conditions, what are characterized by hydraulic efficiency, and from dip angle of ascent sections.

The algorithm of cavity contamination volume's dynamics determination, for the gas pipeline which transport gas of own production from Ukraine fields, got further development, on the basis of conducted experimental investigations on stand laboratory unit and in field conditions during different seasons.

**Key words:** gas main, gas collection and production system, liquid contamination, liquid, contamination volume, hydraulic efficiency coefficient, mathematical model, factor experiment.