

## ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ ГАЗОРІДИННИХ СУМІШЕЙ У РЕЛЬЄФНОМУ ТРУБОПРОВОДІ

*Р.М. Кондрат, А.В. Угриновський*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,  
e-mail: public@nuing.edu.ua*

*Важливим аспектом підвищення ефективності нафтогазовидобувного комплексу є продовження стабільної роботи обводнених газових і газоконденсатних свердловин.*

*Це досягається забезпеченням якомога менших перепадів тиску по трасі газопроводу: чи це газопровід, яким рухається газ від промислу до споживачів, чи газопровід (шлейф), яким рухається газ до УКПГ.*

*Проведено огляд і аналіз робіт, що стосуються питань попередження і ліквідації рідинних скупчень у газопроводах. На основі експериментальних досліджень визначено вплив на роботу газопроводу рідинних скупчень під час руху чистого газу його пониженою ділянкою. Визначено швидкості газового потоку, необхідні для повного винесення рідини з пониженої ділянки трубопроводу. Проведено експериментальні дослідження щодо вибору оптимального режиму руху газорідинної суміші в рельєфному трубопроводі, виходячи з умов забезпечення мінімальних втрат тиску та мінімальної питомої енерговитратності.*

*Ключові слова: дослідження, вода, газ, трубопровід, швидкість, втрати тиску, енерговитратність*

*Важным аспектом повышения эффективности нефтегазодобывающего комплекса является продолжение стабильной работы обводненных газовых и газоконденсатных скважин.*

*Это достигается путем обеспечения как можно меньших перепадов давления по трассе газопровода: и для газопровода, по которому движется газ от промысла к потребителям, и для газопровода (шлейфа), по которому движется газ к УКПГ.*

*Проведен обзор и анализ работ, касающихся вопросов предупреждения и ликвидации жидкостных скоплений в газопроводах. По результатам экспериментальных исследований определено влияние на работу трубопровода жидкостных скоплений при движении чистого газа по его пониженному участку. Определены скорости газового потока, которые необходимы для полного вынесения жидкости с пониженной участка трубопровода. Проведены экспериментальные исследования по выбору оптимального режима движения газожидкостной смеси в рельефном трубопроводе исходя из условий обеспечения минимальных потерь давления и минимальной удельной энергозатратности.*

*Ключевые слова: исследования, вода, газ, трубопровод, скорость, потери давления, энергозатратность*

*The important aspect of improving the efficiency of oil and gas recovery complex is the continued stable operation of flooded gas and gas condensate wells.*

*It could be reached as a result of least pressure drop along pipeline: from gas preparation system to the customer, or from wells to the gas preparation system.*

*Review and analysis of works related to the prevention and elimination of fluid accumulation in the pipelines were conducted. Results of the experiments were used to determine the influence of fluid accumulation in the lowered section of the pipeline on its operation. Gas flow speed, which is necessary to complete the removal of fluid from the lowered section of the pipeline was detected. Experimental study on selecting the optimal regime of gas-liquid mixture movement in the relief pipeline based on the conditions of minimum pressure losses and minimum specific energy consumption was conducted.*

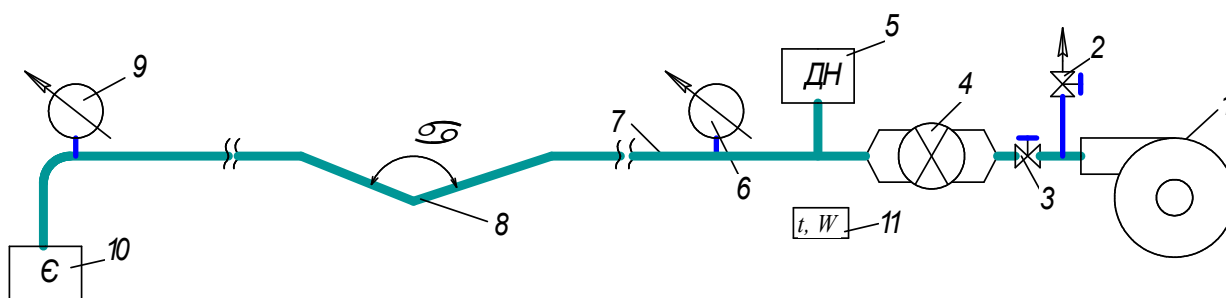
*Keywords: research, water, gas, pipeline, speed, pressure loss, energy consumption*

Більшість родовищ природних газів України вступила в період спадного видобутку газу і завершальну стадію розробки. До числа ускладнень, характерних для пізньої стадії розробки родовищ, відноситься скупчення рідини в понижених ділянках промислових трубопроводів внаслідок недостатніх швидкостей руху газу, що призводить до значних втрат тиску в системі збору газу і, відповідно, до зменшення видобутку газу. Тому актуальною є проблема боротьби з цим ускладненням у процесі видобування газу.

Питанням попередження і ліквідації рідинних скупчень у газопроводах присвячено ряд досліджень. Транспортований газ повинен відповідати вимогам галузевого стандарту за точками роси, за вологою і важкими вуглеводнями, тобто не продукувати випадіння з нього води і

газового конденсату. Але увагу більшої частини дослідників привертають саме магістральні газопроводи. Так, у більш ранніх публікаціях (1960-1970 рр.) наводяться дослідження щодо ефективності роботи газопроводів, які транспортують газ до очищення на установках комплексної підготовки газу або ж після його попереднього очищення. На той час для вилучення з трубопроводів накопиченої рідини застосовувались методи продування ділянок трубопроводу в атмосферу та врзання в трубопровід різноманітних пристроїв відведення рідини (дрипи різних конструкцій, дренажні трубки тощо), а для очищення газопроводів використовувались різноманітні поршні [1-10].

У 1980-1990 рр. минулого сторіччя значна увага приділяється дослідженням двофазного потоку, розробляються моделі руху газу і ріди-



1 – відцентровий компресор; 2,3 – сферичні крани; 4 – аналоговий давач витрати повітря AWM720P1; 5 – низьпродуктивний дозувальний насос Peripatr Electronic; 6, 9 – аналогові давачі диференційного перепаду тиску повітря MPX5010DP; 7 – скляний трубопровід 28×1,5 мм; 8 – ділянка пониженої частини трубопроводу; 10 – ємність для рідини; 11 – цифровий давач температури і відносної вологості повітря SHT15

**Рисунок 1 – Принципова схема експериментальної установки для дослідження процесу руху газорідного потоку в рельєфному трубопроводі**

ни в трубах, створюються нові способи вилучення рідини з газопроводу за допомогою високократних пін і шляхом створення імпульсного режиму робочого потоку газу, модернізуються пристрої для відведення рідини [11-16]. За кордоном на цей час приділяється значна увага очищенню внутрішньої порожнини газопроводу методом пропускання очисних пристроїв різних конструкцій, розроблюються методи очищення порожнини шлейфів і газопроводів гелевими поршнями та поверхнево-активними речовинами, вдосконалюються методи гідравлічних розрахунків гідравлічного стану [17-18].

Однак поршневі очисні і розділювальні пристрої здатні застрягати у трубопроводі, а інші з перелічених методів підвищення ефективності роботи трубопроводів доволі рідко застосовувались на практиці через складність реалізації і брак коштів.

Упродовж 2002-2004 рр. ДК "Укргазвидобування" збільшує видобування газу шляхом буріння додаткових свердловин, уведення в розробку нових родовищ, зниження тиску на усті свердловин до мінімально можливих значень, перерозподілу газових потоків в районах найбільшого споживання власного газу. Для ефективної реалізації двох останніх способів збільшення видобутку газу необхідно забезпечити якомога менші втрати тиску в промислових газопроводах, насамперед у викидних лініях свердловин.

Джерелом рідини, що накопичується у трубопроводі, може бути крапельна рідина (вода і конденсат), що надходить із свердловин разом з газом, а також конденсаційна вода і сконденсовані вуглеводні, що утворюються при зниженні температури і тиску.

Найбільший об'єм рідини накопичується на висхідних ділянках трубопроводу. Тут вона утворює гідравлічний затвор, який частково або повністю перекриває переріз труби, що збільшує гідравлічні опори і гідростатичний перепад тиску. Внаслідок цього загальний перепад тиску на висхідних ділянках трубопроводу може бути в десятки і сотні разів більшим, ніж перепад тиску при русі сухого газу.

Об'єктом дослідження є ділянка трубопроводу, режим роботи якої характеризується певними змінними чинниками. У зв'язку з цим проведено багатосерійні модельні дослідження для виявлення особливостей експлуатації рельєфних трубопроводів за наявності рідини в газовому потоці.

З цією метою розроблена експериментальна установка, що має вигляд скляного трубопроводу діаметром 28×1,5 мм довжиною 8,5 м. Принципова схема експериментальної установки зображена на рис. 1.

Як газова фаза в експерименті використовувалось повітря (враховуючи результати досліджень багатьох науковців про тотожність природного газу і повітря як робочих середовищ), як рідина – прісна вода.

Для зменшення пульсацій тиску і витрати повітря в експериментальній установці використано компресор 1 відцентрового типу.

Сферичний кран 2 призначений для перепускання надлишку повітря, що подається відцентровим компресором, в атмосферу. Це дає змогу регулювати необхідну витрату повітря на вході в аналоговий давач витрати повітря 4 і, відповідно, в скляний трубопровід 7.

Зміна режиму роботи трубопроводу здійснювалася шляхом дроселювання потоку повітря на крані 3. Це також дає змогу додатково регулювати величину витрати повітря, що подається в експериментальний трубопровід.

Для вимірювання витрати повітря в експериментальній установці використовується аналоговий давач витрати повітря AWM720P1, для визначення перепаду тиску повітря – аналоговий давач диференційного перепаду тиску повітря MPX5010DP, а для визначення температури повітря і його відносної вологості використовується цифровий давач температури і відносної вологості повітря SHT15.

Пелелача ланих із лавачів на комп'ютер здійснюється за допомогою мікроконтролерного блоку керування.

Для математичної обробки результатів експериментів з вивчення процесу руху газорідної суміші в рельєфному трубопроводі за різних кутів нахилу його висхідної ділянки до



Рисунок 2 – Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження процесу руху газорідного потоку в рельєфному трубопроводі

горизонтальної осі передбачено конвертування даних в середовище Microsoft Excel.

Подача і регулювання витрати води здійснюється за допомогою малопродуктивного дозувального насоса 5 – Peripamp Electronic (Угорщина).

Згідно з принциповою схемою (рис. 1) змонтовано експериментальну установку для дослідження процесу руху газорідного потоку в рельєфному трубопроводі, загальний вигляд якої зображено на рисунку 2.

Специфічною особливістю процесу руху газорідних сумішей в трубах є значна анізотропність досліджуваного середовища, складність і різноманітність форм руху, значна відмінність між фізичними властивостями компонентів суміші. Все це ускладнює умови проведення експериментів, тому дослідження проводились у два етапи.

На першому етапі понижену ділянку трубопроводу заповнювали рідиною, послідовно перекриваючи поперечний переріз труби на 25%, 50% та 75% (рис. 3). Після цього на вхід в установку подавали повітря із швидкістю потоку від 1 до 21 м/с. При покроковій зміні витрати робочого середовища фіксували температуру та відповідні значення тисків (на початку і в кінці досліджуваної ділянки) аж до повного винесення рідини з пониженої ділянки, що візуально спостерігали через скляну стінку тру-

бопроводу. Експеримент закінчували, коли із пониженої ділянки виносилась вся рідина.

У процесі проведення експериментів встановлено такі особливості досліджуваного процесу (рис. 4):

- утворення гребеня на поверхні дзеркала води – I область ;
- незначне крапельне винесення рідини з пониженої ділянки трубопроводу – II область;
- розподіл усєї рідини по довжині висхідної ділянки – III область;
- винесення усєї рідини з пониженої ділянки – IV область.

Із збільшенням ступеня заповнення рідиною поперечного перерізу труби в пониженій ділянці утворення гребеня на поверхні дзеркала води відбувалось за менших швидкостей руху повітря. Така ж тенденція спостерігалась при збільшенні кута нахилу висхідної ділянки трубопроводу до горизонтальної осі.

Зростання втрат тиску за постійної подачі газу на вхід трубопроводу свідчить про зменшення гідравлічної ефективності трубопроводу. Тобто збільшення втрат тиску за сталої швидкості руху газу вказує на наявність додаткового гідравлічного опору, який зумовлений накопиченням рідини в пониженій ділянці трубопроводу. Для аналізу цього процесу побудовано графічну залежність загального перепаду тиску в трубопроводі від швидкості руху повітря за



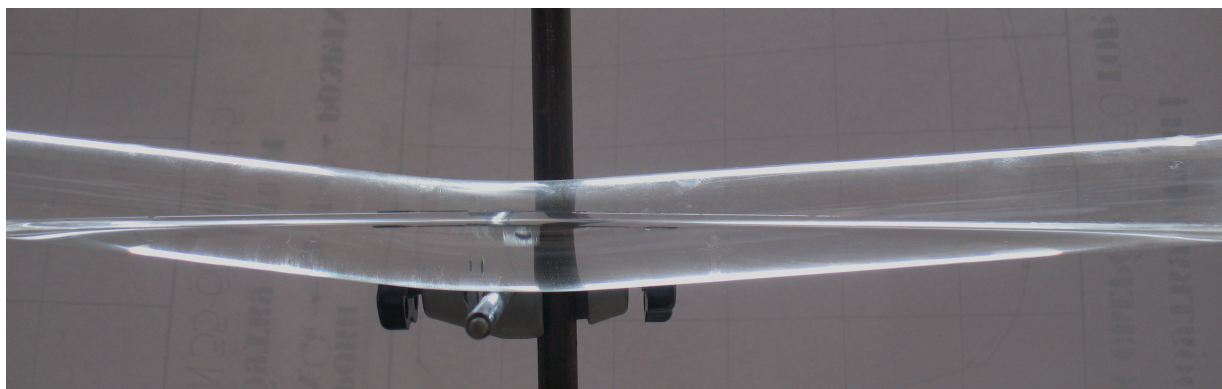
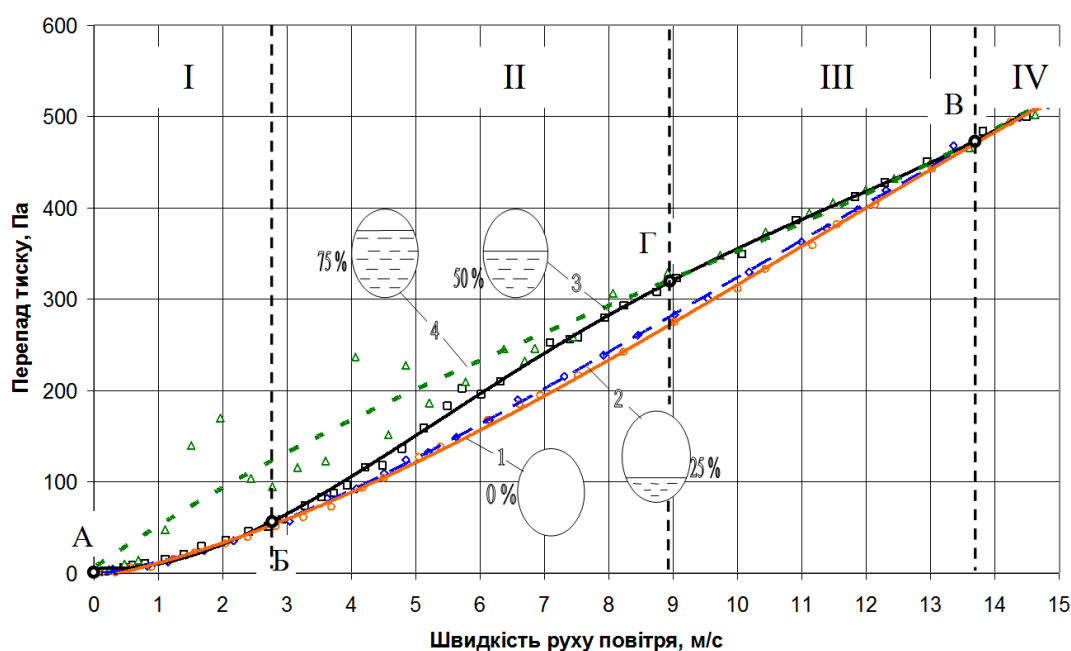


Рисунок 3 – Заповнення рідиною поперечного перерізу в пониженій на 75% ділянці трубопроводу (кут нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі – 5°)



1 – за відсутності рідини; 2 – ступінь заповнення рідиною – 25%;  
3 – ступінь заповнення рідиною – 50%; 4 – ступінь заповнення рідиною – 75%

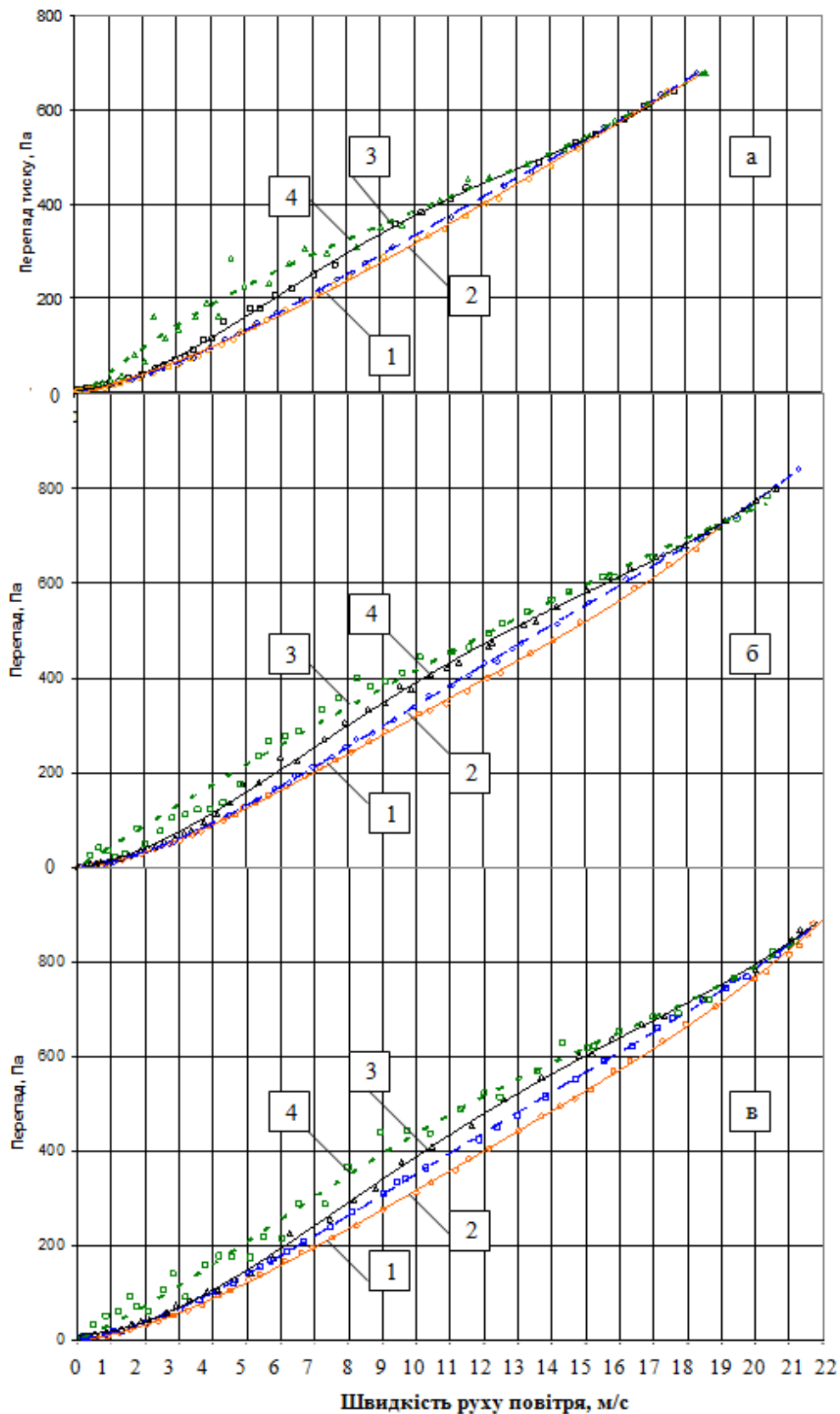
Рисунок 4 – Графічні залежності загального перепаду тиску в трубопроводі від швидкості руху повітря за різних значень ступеня заповнення пониженої ділянки трубопроводу рідиною для кута нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі 5°

різних значень ступеня заповнення пониженої ділянки трубопроводу рідиною для кута нахилу трубопроводу до горизонтальної осі 5° (рис. 4). Кожна точка цієї залежності відповідає тривалому пропусканню повітря, аж до стабілізації перепаду тиску по довжині трубопроводу.

Як бачимо, максимальний перепад тиску спостерігається при 75% заповненні пониженої ділянки трубопроводу рідиною (ділянка АГ), при 50% заповненні робота трубопроводу характеризуватиметься мінімальним підвищенням перепаду тиску лише на ділянці АБ. З подальшим збільшенням швидкості руху повітря втрати тиску спочатку зростають, сягаючи свого максимуму, а потім зменшуються, що пояснюється поступовим винесенням рідини із пониженої ділянки. Точка В є спільною для усіх чотирьох ліній і відповідає фактичному перепаду тиску в рельєфному трубопроводі з кутом

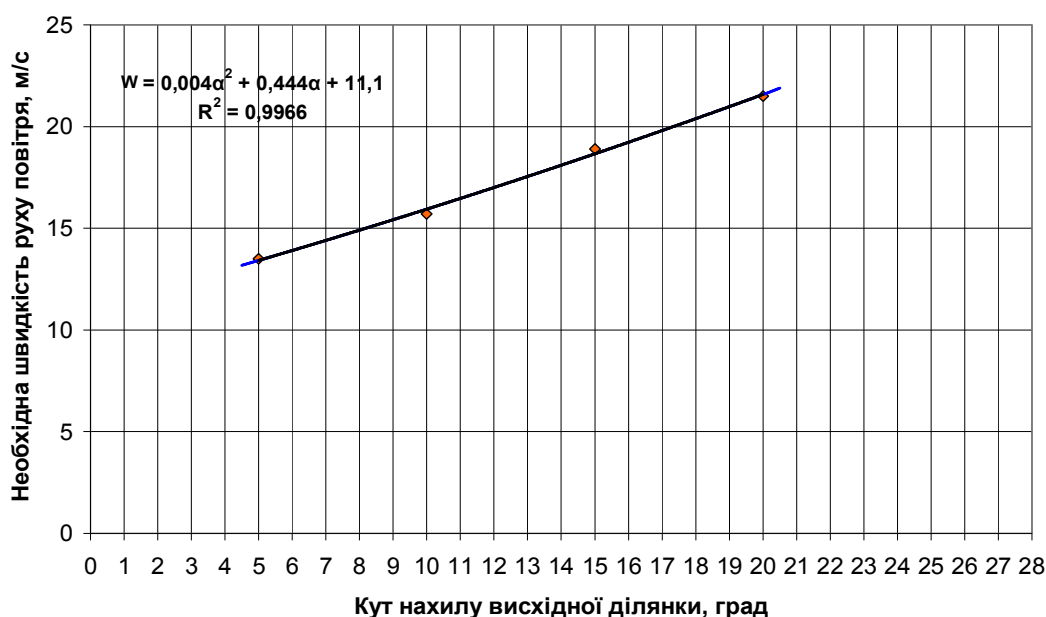
нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі 5° за відсутності рідини в пониженій ділянці.

Аналогічні графічні залежності були також побудовані для кутів нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі 10, 15 та 20° (рис. 5). Отримані дані дали змогу виконати математичне моделювання графічної залежності зміни необхідної швидкості руху повітря для повного винесення рідини із пониженої ділянки трубопроводу, яка відповідає точці В на рисунку 4, від кута нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі (рис. 6). З використанням програми Microsoft Excel одержано таку аналітичну залежність  $W=0,004 \cdot \alpha^2 + 0,444 \cdot \alpha + 11,1$ , де  $\alpha$  – кут нахилу трубопроводу до горизонтальної осі,  $W$  – необхідна швидкість руху повітря для повного винесення рідини із пониженої ділянки трубопроводу, м/с.



1 – за відсутності рідини; 2 – ступінь заповнення рідиною – 25%;  
 3 – ступінь заповнення рідиною – 50%; 4 – ступінь заповнення рідиною – 75%

**Рисунок 5 – Графічні залежності загального перепаду тиску в рельєфному трубопроводі від швидкості руху повітря за різних значень ступеня заповнення пониженої ділянки трубопроводу рідиною для кутів нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі 10° (а), 15° (б) та 20° (в)**



**Рисунок 6 – Узагальнені результати математичного моделювання необхідної швидкості руху повітря для винесення усієї рідини із пониженої ділянки трубопроводу за різних кутів нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі**

Експериментальні дані дозволяють оцінити необхідну швидкість руху робочого середовища для повного винесення рідини із пониженої ділянки трубопроводу за різних значень ступеня заповнення трубопроводу рідиною (рис. 6).

Таким чином, дослідні дані дали змогу одержати достовірні результати математичного моделювання необхідної швидкості руху повітря для винесення води, що накопичилась у пониженій ділянці трубопроводу в ході його роботи за різних значень кута нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі.

На другому етапі на вхід в установку одночасно подавали повітря та воду, тобто моделювався двофазний потік у трубопроводі.

Спільний рух газу і рідини трубопроводом характеризується наявністю різних форм течії, які визначаються, в основному, розподілом фаз по поперечному перерізу труби, що, у свою чергу, залежить від об'ємного вмісту рідкої фази в газорідному потоці, швидкості течії, фізичних властивостей обох фаз та інших факторів.

Різноманітні структури течії, характерні для спільного руху рідини і газу трубопроводом, наведені в роботі [18]. До них відносяться наступні основні структури руху газорідних потоків у горизонтальних трубах:

- роздільна (з гладкою і хвилювою поверхнями розділу);
- кільцева (плівкова, плівково-дисперсна);
- коркова (снарядна, чоткова);
- бульбашкова.

Крім наведених форм руху газорідних потоків у горизонтальних трубах, в багатьох роботах вказується на існування емульсійного, розпиленого і деяких інших видів потоків.

Попри розмаїття структур руху газорідних потоків особливістю течії газорідної суміші в трубі є значні пульсації тиску, викликані

наявністю двох фаз із різними фізичними властивостями, існуванням відносної швидкості руху компонентів, великою стисливістю газорідної суміші та іншими причинами.

За низьких швидкостей руху газу висхідні ділянки трубопроводу з часом практично повністю заповнюються рідиною, що зумовлює пульсації тиску.

Максимальні пульсації тиску виникають у так званих перехідних областях (понижені ділянки трубопроводу), де відбувається різка зміна структур, і потік з хвилювою поверхнею розділу течії (роздільна структура) переходить до коркової структури руху, як це зображено на рисунку 7. Через скупчення рідини в пониженій ділянці трубопроводу зменшується ефективний поперечний переріз труби для руху газового потоку. Тому в цьому місці зростає швидкість руху газу. Зростання швидкості руху газу, в свою чергу, призводить до турбулізації потоку і виникнення хаотичних пульсаційних збурень. Ці збурення спричиняють зміщення частинок рідини, в результаті чого поверхня рідини деформується і відхиляється від початкової форми. З рисунку 7 також видно, що до пониженої ділянки трубопроводу структура течії суміші є роздільною, а після пониженої ділянки відбувається різка зміна структури руху – перехід до коркової.

Згідно з дослідженнями, проведеними Мамасвим, Одішарією та ін., при русі повітряно-водяної суміші горизонтальною ділянці трубопроводу перехід від роздільної структури течії до коркової призводить до 2-3-х кратного збільшення середньої величини втрат напору на тертя [18].

Результати експериментів, проведених для різних швидкостей руху газу (1-21 м/с), довели, що для рельєфного трубопроводу існує така швидкість руху повітря (точка Б, рис. 8), при

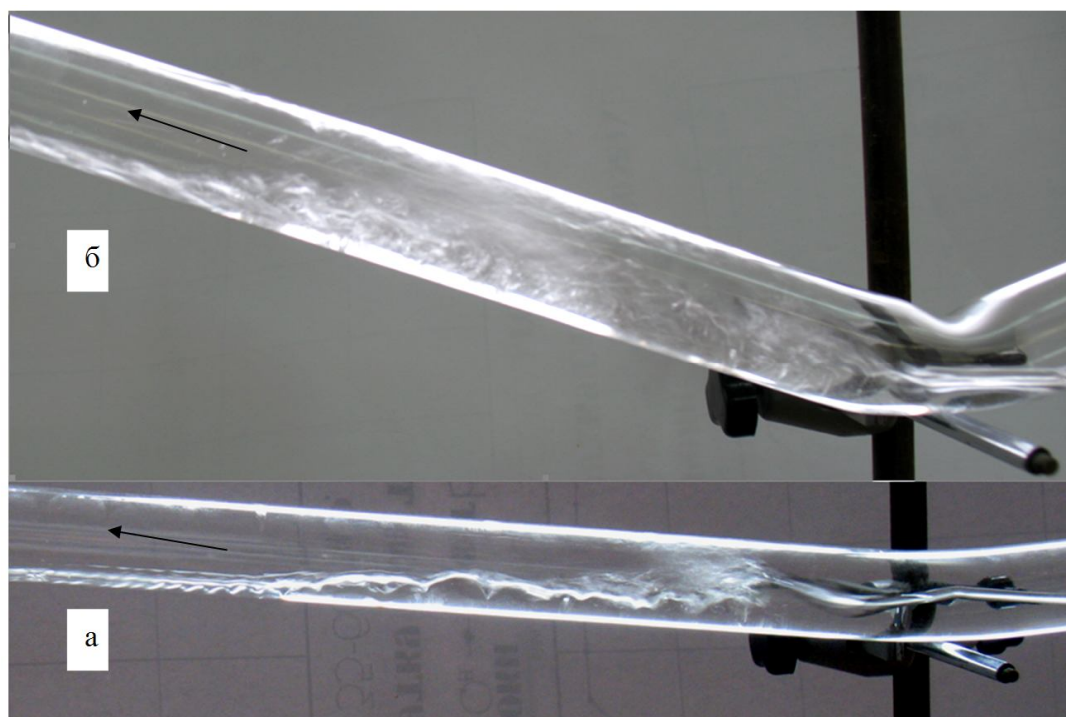
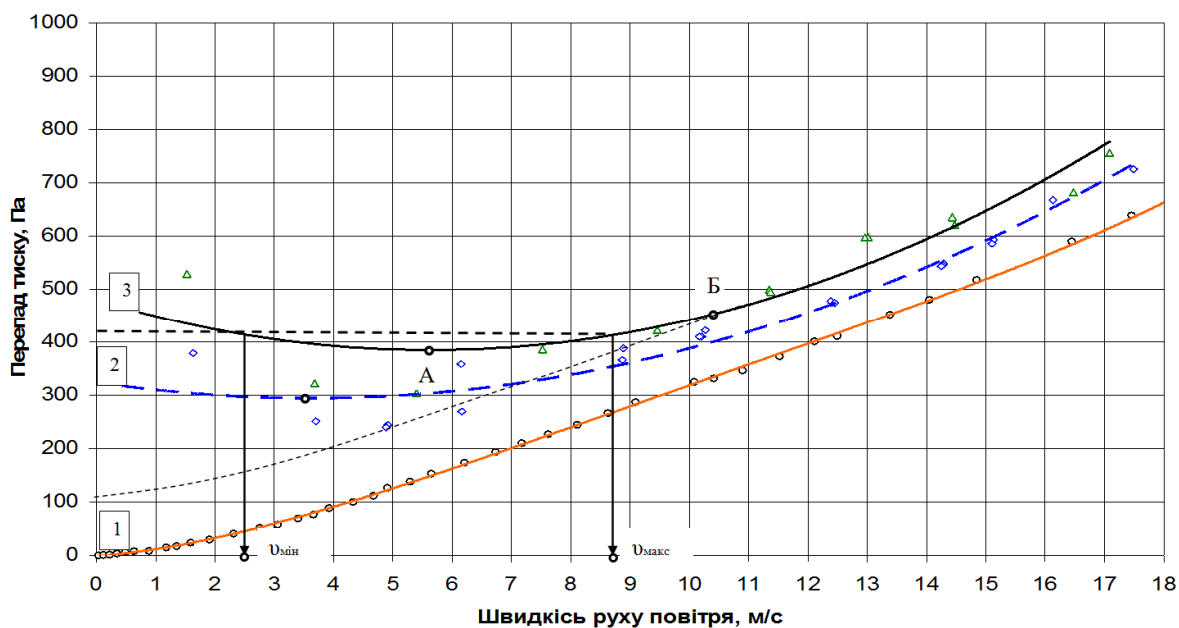


Рисунок 7 – Зміна структур руху потоків у трубопроводі з кутами нахилу висхідних ділянок до горизонтальної осі  $5^{\circ}$  (а) та  $20^{\circ}$  (б)



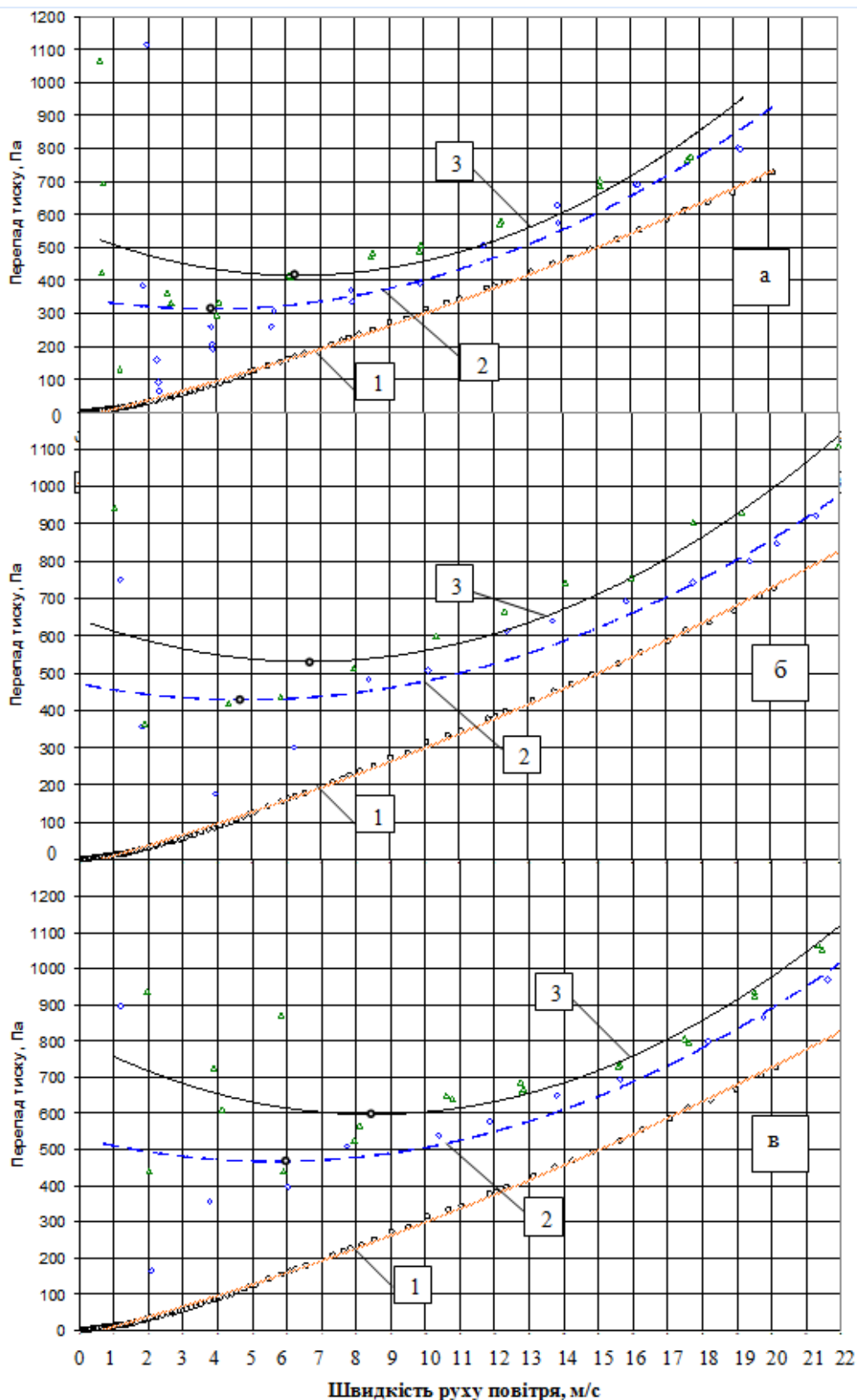
1 – за відсутності рідини в потоці; 2 – вміст рідини в потоці  $250 \text{ см}^3/\text{м}^3$ ;  
3 – вміст рідини в потоці  $500 \text{ см}^3/\text{м}^3$

Рисунок 8 – Графіки залежностей загального перепаду тиску в рельєфному трубопроводі ( $\alpha=5^{\circ}$ ) при русі газоріднинної суміші від швидкості руху повітря для різного вмісту рідини в потоці

перевищенні якої пульсації тиску в системі практично відсутні, що пояснюється роздільною структурою руху фаз.

Із аналізу графічної залежності (рис. 8) видно, що із збільшенням швидкості руху повітря загальний перепад тиску в рельєфному трубопроводі ( $\alpha=5^{\circ}$ ) зменшується, досягаючи свого мінімуму, а потім збільшується. Така специфічна поведінка загального перепаду тиску означає, що одному і тому ж перепаду тиску на до-

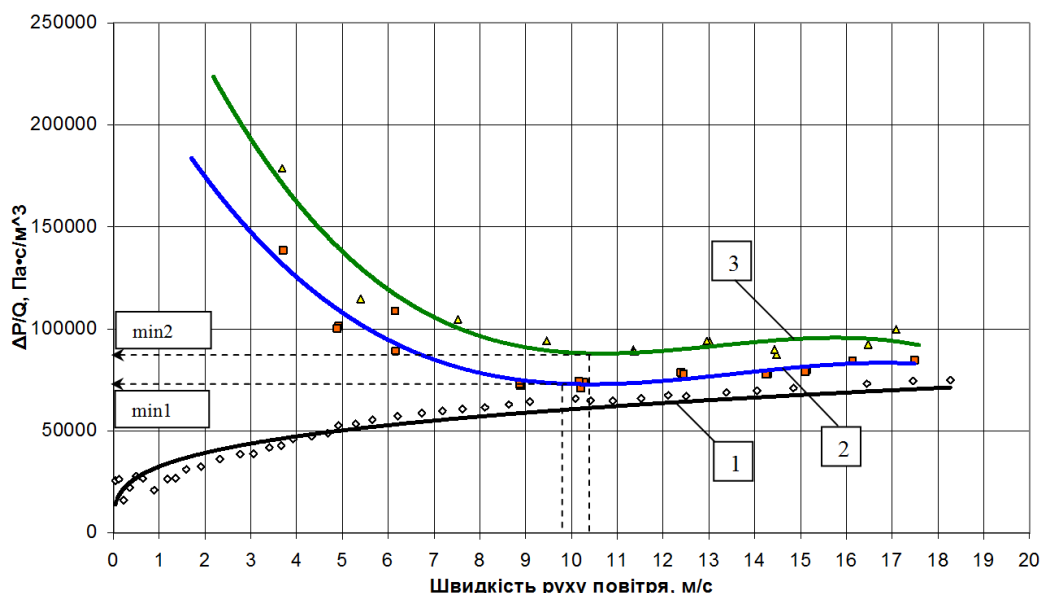
сліджуваній ділянці трубопроводу відповідають два значення швидкості руху повітря:  $v_{\text{мін}}$  і  $v_{\text{макс}}$  (витрати повітря  $Q_{\text{мін}}$  і  $Q_{\text{макс}}$ ). На кривій 3 можна також виділити дві характерні точки: точку А, яка відповідає мінімальному перепаду тиску, при якому можливий рух газоріднинної суміші трубопроводом заданого діаметра, і кута нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі  $\alpha=5^{\circ}$ , і точку Б (яка лежить на паралельній до кривої 1 пунктирній лінії, яка проходить з кін-



1 – за відсутності рідини; 2 – ступінь заповнення рідиною – 25%;  
 3 – ступінь заповнення рідиною – 50%; 4 – ступінь заповнення рідиною – 75%

**Рисунок 9 – Залежність загального перепаду тиску в рельєфному трубопроводі (а –  $\alpha=10^\circ$ , б –  $\alpha=15^\circ$ , в –  $\alpha=20^\circ$ ) під час руху газоріднинної суміші від швидкості руху повітря для різного вмісту рідини в потоці**





1 – за відсутності рідини в потоці; 2 – вміст рідини в потоці  $250 \text{ см}^3/\text{м}^3$ ;  
3 – вміст рідини в потоці  $500 \text{ см}^3/\text{м}^3$

**Рисунок 10 – Графік залежності питомої енерговитратності в рельєфному трубопроводі ( $\alpha=5^\circ$ ) при русі газорідинної суміші від швидкості руху повітря для різного вмісту рідини в потоці**

цевої ділянки кривої 3), що характеризує найменшу кількість питомої енерговитратності на одиницю об'єму або маси суміші. Під питомою енерговитратністю розуміють відношення втрат тиску на тертя по довжині трубопроводу до витрати газу [19].

Обидва режими руху газорідинної суміші мають практичне значення. Тож за необхідності забезпечити мінімальні втрати тиску при русі газорідинної суміші трасою трубопроводу, доцільно використати перший режим (точка А). Відповідно, пошук оптимального режиму руху газорідинної суміші в координатах  $\Delta P/Q = f(v)$ , які, по-суті, відображають питому енерговитратність, полягає у знаходженні на графіку (рис. 10) швидкості руху газу, починаючи з якої питома енерговитратність сягає свого мінімуму.

Для вибору оптимального режиму руху газорідинної суміші рельєфним трубопроводом, який відповідає абсолютному мінімуму втрат тиску, на рисунку 9 зображено графічні залежності загального перепаду тиску в рельєфному трубопроводі при русі газорідинної суміші від швидкості руху повітря для різного вмісту рідини в потоці, та кутів нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі 10, 15 та 20 градусів.

Для вибору оптимального режиму руху газорідинної суміші в рельєфному трубопроводі, який відповідає мінімальній питомій енерговитратності, на рисунку 11 зображено аналогічні графічні залежності для кутів нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі 10, 15 та 20 градусів.

Виходячи з умов забезпечення мінімальних втрат тиску та мінімальної питомої енерговитратності, узагальнені результати вибору оптимального режиму руху газорідинної суміші зведено до табл. 1.

### Висновки

Розроблено експериментальну установку для дослідження процесу руху газорідинного потоку в рельєфному трубопроводі.

Проведено експериментальні дослідження, які дозволяють оцінити вплив швидкості руху повітря при русі чистого газу на втрати тиску на тертя при різних значеннях ступеня заповнення трубопроводу рідиною.

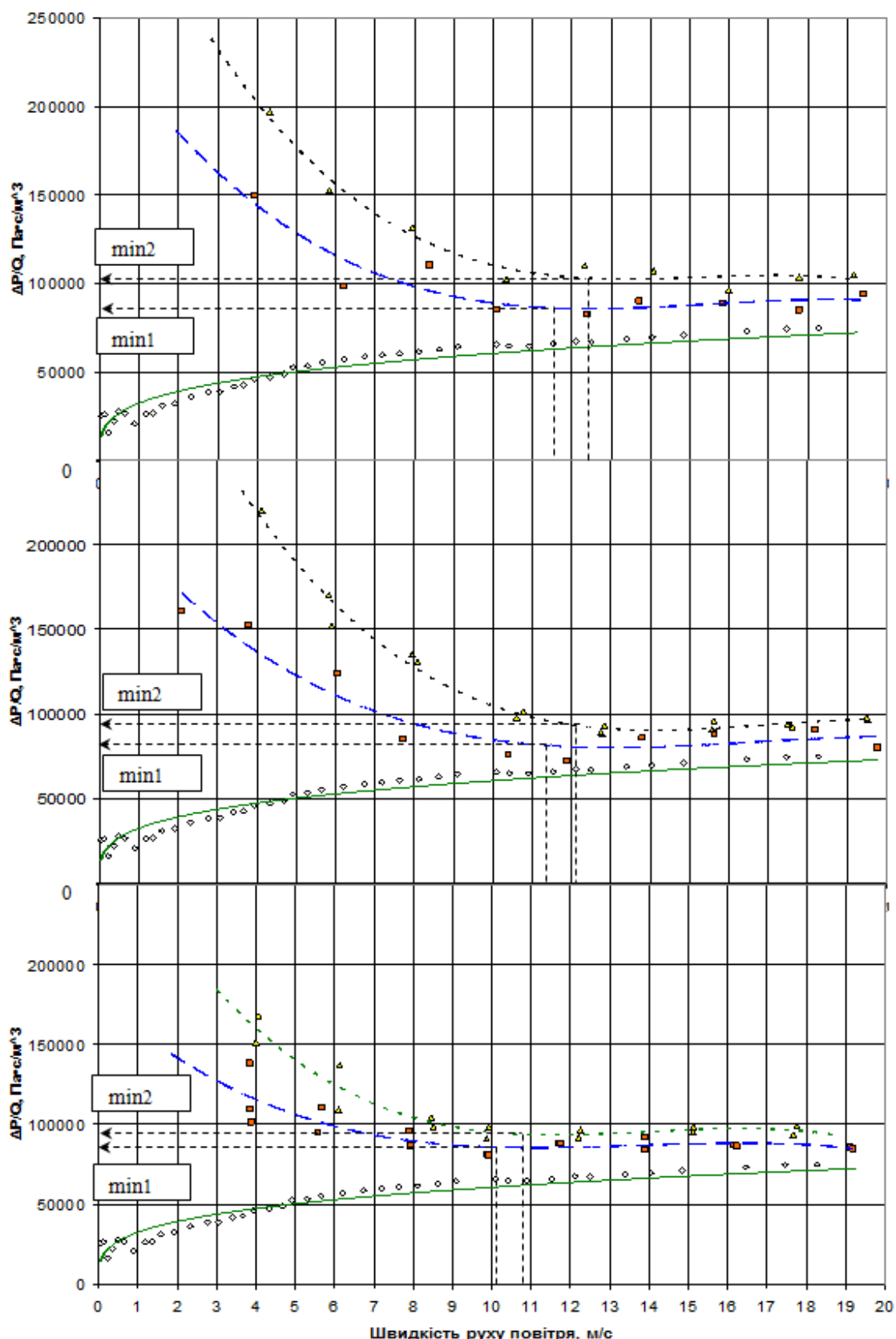
Отримано рівняння для визначення необхідної швидкості руху повітря для повного винесення рідини із пониженої ділянки трубопроводу від кута нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі:  $W = 0,004 \cdot \alpha^2 + 0,444 \cdot \alpha + 11,1$ .

Для значень кута нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі 5, 10, 15 і 20° швидкість руху повітря становить відповідно 13,5; 15,7; 18,9 і 21,5 м/с.

Проведено експериментальні дослідження щодо вибору оптимального режиму руху газорідинної суміші в рельєфному трубопроводі, виходячи з умов забезпечення мінімальних втрат тиску та мінімальної питомої енерговитратності. Для значень кута нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі 5, 10, 15 і 20° мінімальні втрати тиску досягаються для вмісту рідини в потоці  $250 \text{ см}^3/\text{м}^3$  за швидкостей руху повітря 3,5; 3,8; 4,7 і 6 м/с, для вмісту рідини в потоці  $500 \text{ см}^3/\text{м}^3$  для швидкості руху повітря 5,6; 6,3; 6,8 і 8,4 м/с.

### Література

1 А.с. 441046 СССР, МКИ В 08 В 9/02. Способ удаления жидкости из газопровода [Текст] / Э.М. Арутюнян, А.П. Сельващук (СССР). – 1725689/28-13 ; заявл. 17.12.71 ; опубл. 30.08.74, Бюл. №32.



1 – за відсутності рідини в потоці; 2 – вміст рідини в потоці  $250 \text{ см}^3/\text{м}^3$ ;  
 3 – вміст рідини в потоці  $500 \text{ см}^3/\text{м}^3$

Рисунок 11 – Залежність питомої енерговитратності в рельєфному трубопроводі ( $\alpha = 10^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ) під час руху газорідної суміші від швидкості руху повітря для різного вмісту рідини в потоці

**Таблиця 1 – Вибір оптимального режиму транспортування газорідинної суміші в рельєфному трубопроводі**

№	Кут нахилу висхідної ділянки до горизонтальної осі, град	Швидкість руху повітря, м/с			
		умова мінімальних втрат тиску		умова мінімальної питомої енерговитратності	
		вміст рідини в потоці 250 см <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	вміст рідини в потоці 500 см <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	вміст рідини в потоці 250 см <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	вміст рідини в потоці 500 см <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
1	5	3,5	5,6	9,7	10,4
2	10	3,8	6,3	10,1	10,8
3	15	4,7	6,8	11,3	12,1
4	20	6,0	8,4	11,6	12,5

2 Бурных В. Увеличение пропускной способности газопровода ШБКБ (на участке Шебелинка-Белгород) / В. Бурных, М. Ткаченко // Нефтяная и газовая промышленность. – 1964. – №4. – С. 57-60.

3 Кривошей Б. Анализ эффективности работы дрипов различных конструкций / Б. Кривошей // Новости нефтяной и газовой промышленности. – 1968. – №6. – С. 38-45.

4 Ильский О. Повышение эффективности работы конденсатосборника типа «расширительная камера» / О. Ильский // Газовая промышленность. – 1966. – № 12. – С. 24-28.

5 А.с. 671881 СССР, МКИ В 08 В 9/02. Устройство для очистки внутренней поверхности труб [Текст] / Б.П. Тимофеев, Н.М. Козлов, Е.Д. Андрушев, Н.Е. Егоров, С.Г. Гуров (СССР), – 2431601/22-12 ; заявл. 16.12.76; опубл. 05.07.79, Бюл. №25.

6 А.с. 444573 СССР, МКИ В 08 В 9/06. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопровода [Текст] / Е.М. Климовский, В.Г. Селиверстов, П.Д. Романов, А.Д. Седых, С.А. Бобровский (СССР), – 1747297/29-14; заявл. 14.02.72 ; опубл. 30.09.74, Бюл. №36.

7 А.с. 710678 СССР, МКИ В 08 В 9/04. Устройство для очистки внутренней поверхности труб [Текст] / В.Е. Бычков, В.А. Третьяков, К.В. Рыбаков (СССР), – 2557770/29-12; заявл. 22.12.77 ; опубл. 25.01.80, Бюл. №3.

8 А.с. 521033 СССР, МКИ В 08 В 9/04, В 08 В 3/04. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопровода [Текст] / Р.Ю. Акчурин (СССР), – 1984071/01; заявл. 04.01.74 ; опубл. 15.07.76, Бюл. №26.

9 А.с. 453205 СССР, МКИ В 08 В 9/04. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопроводов [Текст] / Р.Ю. Акчурин (СССР), – 1833581/28-13; заявл. 05.10.72 ; опубл. 15.12.74, Бюл. №46.

10 А.с. 420356 СССР, МКИ В 08 В 9/04. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопроводов [Текст] / Д.М. Мубинов, Ф.Г. Мансуров, Ю.А. Сквородников, А.Н. Тюпа (СССР), – 1813188/28-13; заявл. 26.07.72 ; опубл. 25.03.74, Бюл. №11.

11 Чисхолм Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках [Текст] / Д. Чисхолм; пер. с англ. пер. изд.: Великобритания, 1983. – М.: Недра, 1986. – 204 с.

12 А.с. 645715 СССР. МКИ В 08 В 9/02. Способ газожидкостной очистки газопроводов / Бурных В.С., Чистяков Б.Е., Агишев А.П. и др. - №2302118; Заявл. 19.12.1975; Опубл. 05.02.1979, Бюл. №5.

13 А.с. 1189457 СССР. МКИ А 62 С 5/04, В 08 В 9/00. Пеногенератор / Гончаров В.Н., Тихомиров В.К., Лещук Н.С., Капцов И.И. - №3714991; Заявл. 20.01.1984; Опубл. 07.11.1985, Бюл. №41.

14 А.с. 604567 СССР. МКИ В 01 D 19/02. Устройство для разрушения пены / Бурных В.С., Гончаров В.Н., Завадин В.И., Зинченко И.А. - №2429033; Заявл. 14.12.1976; Опубл. 30.04.1978, Бюл. №16.

15 Опытные промышленные испытания способа пенной очистки МГ [Текст] / В.И. Гончаров, И.И. Капцов, В.К. Тихомиров // Нефтяная и газовая промышленность. – 1988. – №4. – С. 42-44.

16 United States Patent N2 4473408. Cleaning pipeline interior with gelled pig: Purinton, Jr.. Publ. September 25, 1984/ Filed: January 12, 1982.

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

18 Гидродинамика газожидкостных смесей в трубах [Текст] / В. А.Мамаев, Г. Э. Одишария, Н. И. Семенов, А. А. Точигин. – М.: Недра, 1969. – 208 с.

19 Ксенич А.І. Прогнозування пропускної здатності та гідравлічної енерговитратності поліетиленових газових мереж [Текст]: дис. ...канд. техн. наук: 17.02.12 / Ксенич Андрій Іванович – Івано-Франківськ, 2012. – 185 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
29.10.12  
Рекомендована до друку професором  
Тарком Я.Б.