лит повысить достоверность и геологическую содержательность построений при решении широкого круга геологических задач, в том числе и угольной геологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Довбнич М.М. Нарушение геоизостазии и напряженное состояние тектоносферы // Геофиз. журн. – 2008. – 30, № 4. – С. 123 – 132.

2. Довбнич М.М. О возможности использования полей напряжений, обусловленных нарушением геоизостазии при прогнозе горно-геологических условий // Геотехнічна механіка – Дніпропетровськ, 2006.– Вип. 67. – С. 332 – 338.

3. Довбнич М.М. Применение спутниковой и наземной гравиметрии для оценки геоизостатических напряжений тектоносферы – дополнительного критерия прогноза геодинамических процессов // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 11. – С. 64 – 70.

4. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок / Турчанинов И.А., Марков Г.А., Иванов В.Н., Козырев А.А. – Л.: Наука, 1978. – 254 с.

5. Козлов Е.А. Модели среды в разведочной сейсмологии. – Тверь: ГЕРС, 2006. – 480 с.

6. Бобылев А.А., Гарт Э.Л. Применение многосеточного метода конечных элементов к решению контактных задач с идеальными односторонними связями // Техническая механика. Днепропетровск: ИТМ, 2003. – № 1. – С. 126 – 134.

7. Бобылев А.А. Гарт Э.Л. Исследование вычислительной эффективности проекционно-итерационного алгоритма решения контактных задач с идеальными односторонними связями // Вісник Дніпропетровського університету. Механіка. 2000. – Вип. 3, т. 2. – С. 3 – 11.

**УДК 622.276**

Канд. техн. наук В.Р. Возний
(Національний технічний університет нафти і газу)

## БУРІННЯ РОЗВІДУВАЛЬНИХ І ДЕГАЗАЦІЙНИХ СВЕРДЛОВИН З ВИКОРИСТАННЯМ КАВІТАЦІЙНО-ПУЛЬСАЦІЙНОГО ПРОМИВАННЯ ЇХ ВИБОЇВ

Разработана методика расчета и оптимизации действия кавитационных пузырьков на горные породы. Предварительные гидравлические расчеты позволили выделить энергию кавитации, на основании которой создана практическая методика расчета размеров кавитационных пузырьков.

## BORING OF RECONNAISSANCE AND DECONTAMINATION ACCESS BOREHOLES WITH THE USE OF THE CAVITATION-PULSATING WASHING OF THEIR BOTTOMHOLE

In the article the method of calculation and optimization of action of cavitation bubbles is developed on the mountain breed. Preliminary hydraulic calculations allowed to select energy of cavitation which in same queue allowed to create the practical method of calculation of sizes of cavitation bubbles.

З метою дегазації шахтних полів і подальшого промислового використання метану необхідно пробурити десятки тисяч свердловин глибиною від 500 до 1000 м. Для забезпечення необхідного рівня економії коштів потрібно максимально скоротити час буріння кожної свердловини. В цьому плані одним із найбільш перспективних способів є використання кавітаційно-пульсаційних технологій покращення процесу руйнування гірських порід.

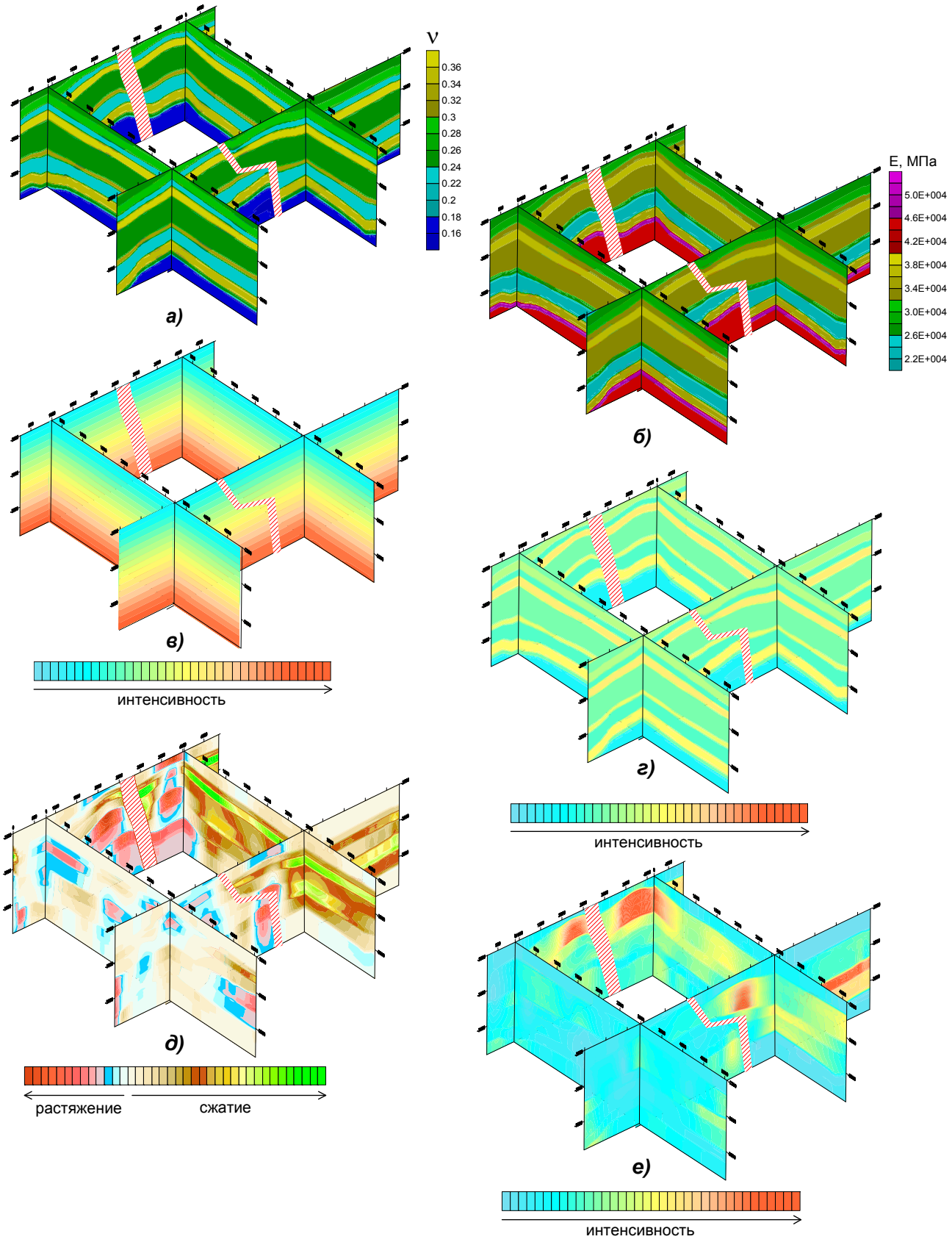
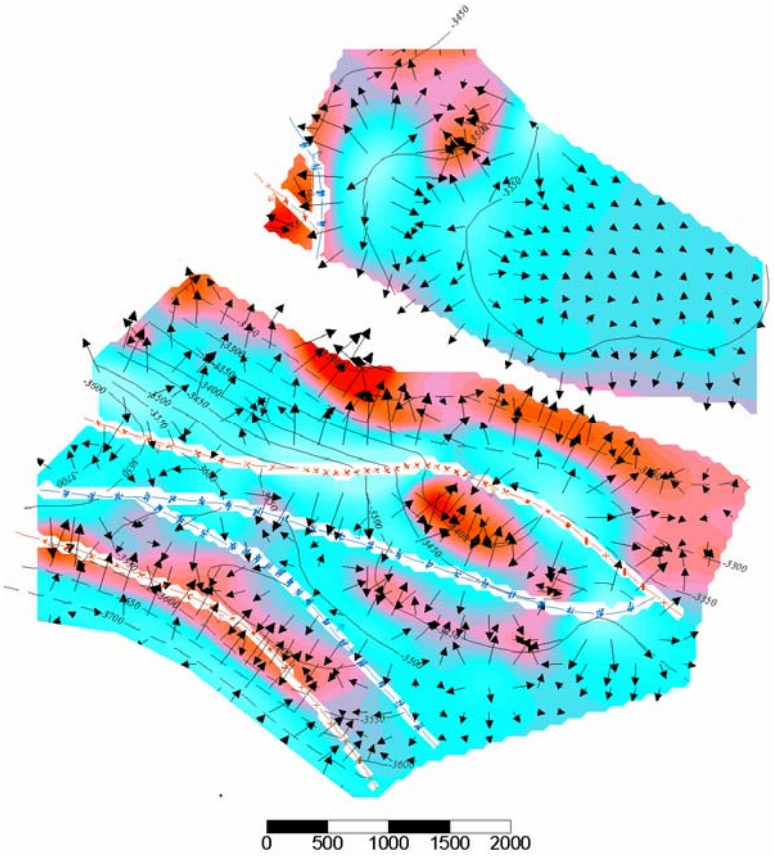



Рис. 1 – Сечения 3D геомеханической модели – коэффициент Пуассона (а) и модуль Юнга (б); 3D модели распределения литостатических – вертикальные напряжения (в) и горизонтальные напряжения (г); 3D модели распределения тектонических напряжений – сумма нормальных напряжений (д) и интенсивность касательных напряжений (е)




*а)*

1 – области действия растягивающих напряжений
2 – области действия высоких касательных напряжений
3 – области действия напряжений двух типов

*б)*

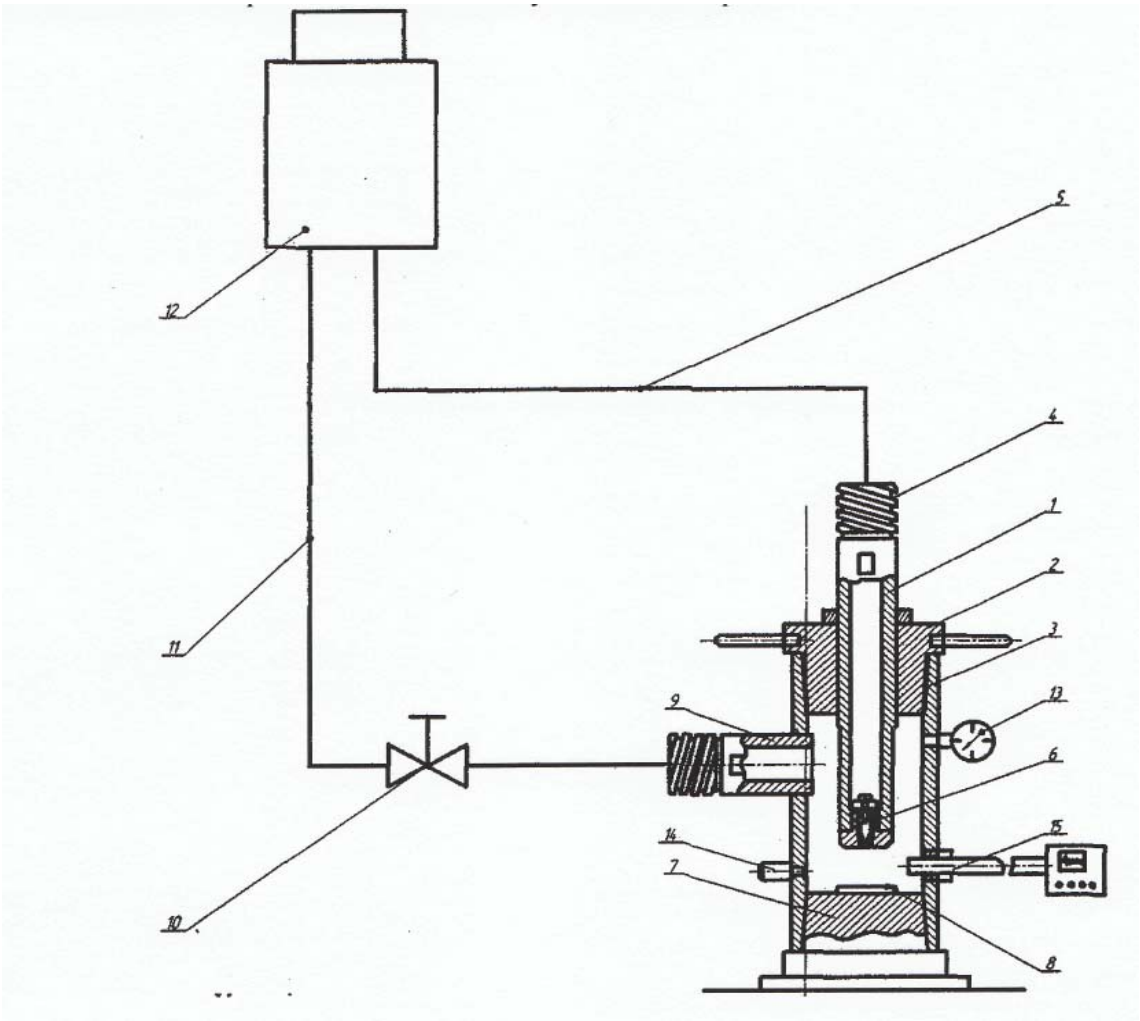
Рис. 2 – Схемы аномальной флюидодинамики (а) и районирования коллектора по увеличению фильтрационно-емкостных свойств (б), обусловленных тектоническими напряжениями

В роботах [1-3] показано, що при проходженні промивальної рідини через вихрову кавітаційну камеру відбувається виділення з неї пухирців газу (повітря) з наступним лусканням їх під впливом зовнішнього тиску. Експериментальними дослідженнями встановлено, що амплітуда коливань тиску змінюється від 1 до 3 МПа з частотою від 1 до 12 Гц. Цими дослідженнями встановлено, що при лусканні пухирців газу гідростатичний тиск зменшується на величину амплітуди тиску. В роботі [4] приводяться дані про роботу трилопатевого бурового долота діаметром 295,3 мм в промивні вузли якого вмонтовані кавітаційно-вихрові камери. Промислові випробування долота дозволили збільшити проходку у 1,5 – 2 рази та механічну швидкість буріння у 2 рази відповідно у порівнянні з такими ж долотами із звичайними гідромоніторними насадками.

Вивчення факторів, які знижують міцність рідин і допомагають інтенсифікації процесів пароутворення, дозволяють направлено конструювати кавітатори-пульсатори, будову і взаємодію їх основних робочих вузлів з метою вибору раціональних характеристик для регулювання інтенсивності і частоти ударних імпульсів і коливань тиску при використання в якості робочих рідин газорідинних сумішей різного складу.

Нами проведено комплекс експериментальних досліджень на стенді, який наведено нижче на рис. 1, з використанням насосного агрегату 4АН-700, кавітатора і зразків гірських порід – пісковику, вапняку, мармуру і доломіту.

Експериментальний стенд дає змогу створити у вихровій камері кавітатора високі тиски, домогтися миттєвого збільшення швидкості потоку промивальної рідини в місці розташування кавітатора-пульсатора шляхом подачі потоку робочої рідини через бокові тангенціально розміщені отвори по дотичній до поверхні кільцевої насадки, що забезпечує утворення пухирців і каверн. Промивальна рідина через вхідні тангенціальні отвори попадає в камеру завихрення, в якій набуває обертового руху з миттєвим збільшенням швидкості потоку. Завихрений у вихровій камері потік промивальної рідини під дією відцентрових сил і перепаду тиску безперервно витікає в кільцевий конфузорний канал (насадку). В насадці, яку виконано з кутом розкриття $\alpha$ від $6^{\circ}$ до $7^{\circ}$ досягається збільшення швидкості потоку промивальної рідини з виникненням її локального розриву, тобто утворення пухирців і каверн, що заповнені газом (повітрям). Рух потоку промивальної рідини в насадці пульсатора проходить з нарощуванням швидкості і відповідно зі створенням умов для відриву потоку від стінок насадки пульсатора та утворення нових пухирців і каверн, що призводить в кінцевому випадку до виникнення коливального процесу. З метою попередження передчасного руйнування вихрової камери від дії можливих гідроакустичних хвиль і коливань тиску в пристрої кавітаторі передбачено шпиль-відбивач, який кріпиться до головки камери завихрення. Слід зауважити, що у конструкції вихрової камери кавітатора-пульсатора основні робочі вузли виготовлені методами порошкової металургії з надтвердих матеріалів.




1 - циліндричний корпус; 2 – герметизуючи кришка; 3 – шток; 4 – швидкороз'ємне з'єднання; 5 – нагнітальна лінія; 6 – кавітатор-пульсатор; 7 – дно; 8 – зразок гірської породи; 9 – канал під вихідну лінію; 10 – засувка; 11 – вихідна лінія; 12 – насосний агрегат; 13 – манометр; 14 – запобіжний клапан; 15 – датчик тиску

Рис. 1 – Схема обв'язки експериментального стенду

Винесення кавітаційних пухирців за межі пристрою регулюють шляхом зміни тиску нагнітання та швидкості подачі робочої рідини насосним агрегатом. Насосний агрегат, який використовується у якості джерела подачі промивальної рідини направляє її по нагнітальній лінії на шток, пройшовши крізь який рідина поступає в кавітатор-пульсатор. Після пульсатора кавітаційний потік ударяється об взірець гірської породи, що розміщений на дні установки, після чого поступає у викидну лінію, що з'єднана з насосним агрегатом. В процесі досліджень проводяться заміри тисків на вході в пульсатор $P_1$ та після пульсатора $P_2$ в автономному режимі через американські датчики високих тисків типу "Viatran Model 5093 BPG AW200", зняті значення показників яких через кожні 2 с записуються на комп'ютері. Тиск на вході в пульсатор регулюється агрегатом виходячи з врахування його робочих можливостей, а тиск в середині уста-

новки дросельною засувкою, яку вмонтовано на викидній лінії. Проводиться замір та запис показів датчиків тиску при послідовній зміні тиску на вході при різних режимах роботи насосного агрегату (від 30 до 20 МПа), а також при переході з відкритої до наполовину закритої дросельної засувки.

Експериментальні дослідження проводились у чотири етапи. В якості робочої рідини було використано глинисту промивальну рідину з такими параметрами: $\rho = 1200\ кг/м^3$; УВ=70 с; СНЗ=98/134 дПа; рН=8; К=1 мм; В=7 $см^3$/30 хв.

На першому етапі на дно експериментальної установки встановили зразок гірської породи – пісковик на віддалі 25 мм від вихідного перерізу насадки пульсатора. Прокачування робочої рідини через кавітатор-пульсатор здійснювали протягом 20 хв. При робочому тиску 5 – 6 МПа. Після зупинки процесу було виявлено на поверхні пісковику ерозійну лунку об'ємом 4 $см^3$.

Аналогічні дослідження проводилися на зразках мармуру, вапняку і доломіту. Основні результати досліджень наведені в табл. 1.

Експериментальними дослідженнями підтверджено можливість кавітаційного руйнування наведених вище зразків гірських порід без взаємодії індентора з породою. Величина об'єму ерозійного руйнування під впливом кавітаційних потоків склала від 1,5 $см^3$ до 4 $см^3$.

Характер, витягнутої за напрямком до центру ерозійного впливу, лунки вказує на те, що частинки породи відривалися від зразків дрібними долями. При цьому у центральній частині зони впливу кавітаційного потоку на зразок, утворився виступ, який підтверджує кільцеподібний процес руйнування порід.

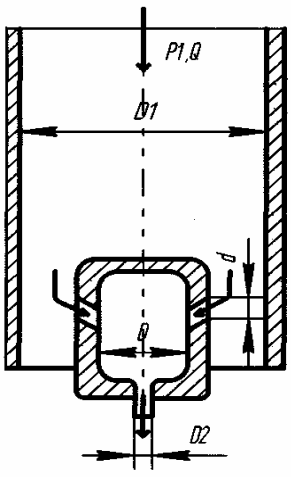
Таблиця 1 – Основні результати досліджень руйнування зразків гірських порід у кавітуючому потоці

| Тип породи | Твердість, $МН/м^2$ | Час дії кавітуючого потоку на зразок, хв. | Відстань від торця насадки кавітатора до поверхні зразка породи, м | Тиск насосного агрегату, МПа | Об'єм ерозійної лунки, $см^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Пісковик | 1337 | 20 | 0,025 | 5 – 6 | 4,0 |
| Мармур | 1504 | 20 | 0,025 | 5 – 6 | 2,0 |
| Вапняк | 839 | 15 | 0,030 | 4 – 5 | 1,5 |
| Доломіт | 783 | 15 | 0,030 | 4 - 5 | 2,5 |

Невирішеними на даний момент залишаються питання практичного розрахунку оптимізаційних параметрів кавітаційного впливу на гірську породу.

Одним з основних оптимізаційних параметрів під час розрахунку кавітаційного впливу на породу є розміри кавітаційних бульбашок, а саме їх радіуси. Очевидно, що зміною геометричних параметрів даних утворень можна збільшувати або зменшувати інтенсивність дії кавітації.

Кавітатор-пульсатор, конструкція якого описана в роботі [5], у першому наближенні можемо звести до гідравлічної схеми, яку показано на рис. 2.




$Q$ – витрата рідини, м$^3$/хв;
$D_1$ – діаметр корпуса пульсатора, мм;
$D_2$ – діаметр вихідного отвору, мм;
$d$ – діаметр вхідного отвору кавітаційної камери

Рис. 2 – Гідравлічна схема гідродинамічного пульсатора

В такому випадку розрахунок параметрів потоку рідини можна звести до гідравлічного. Тому радіус кавітаційної бульбашки можна визначити за формулою:

$$r = \frac{2\sigma}{P_{\text{п}} - \left[\frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g} + h_{1,2} + h_{ін}\right] \cdot \rho g + \frac{\Gamma^2 \rho}{8\pi \bar{r}^2}},$$

де $\Gamma$ – циркуляція швидкості, м$^2$/с ($\Gamma$=0,000141 м$^2$/с); $\bar{r}$ –радіус-вектор розглянутого збурення рідини, м ($\bar{r}$=0,0175 м); $\sigma$ – поверхневий натяг рідини на межі з газом (паром), Н/м; $r$ – радіус бульбашки, м; $\rho$ – густина рідини, кг/м$^3$; $\alpha_1, \alpha_2$ – коефіцієнт Кориоліса відповідно на вході і виході з кавітатора-пульсатора; $V_1$, $V_2$ – швидкість на вході і виході з насадки кавітатора, м/с; $h_{1,2}$ – перепад напору за першим та другим діаметрами пульсатора, м; $h_{ін}$ – інерційний напір, м.

Оскільки радіус кавітаційної бульбашки виступає як оптимізаційний фактор під час проведення обробки вибою свердловини наведеним пульсатором, розрахуємо залежність радіуса кавітаційної бульбашки від: зміни перепаду тиску та густини промивальної рідини; співвідношення розмірів насадок кавітатора. Діаграми залежності радіуса кавітаційної бульбашки від перелічених чинників, зображено на рис. 3, 4.

Проведені дослідження дали змогу визначити оптимальні розміри кавітаційних бульбашок як основного оптимізаційного параметра під час проведення обробки вибою свердловини за допомогою розробленого кавітатора-пульсатора. Визначено, що оптимальний перепад тиску для рідин будь-якої густини знаходиться в межах 4 – 4,5 МПа (рис. 3) і оптимальне співвідношення діаметрів насадки не повинно перевищувати 1,67 (рис. 4), оскільки інакше проходить розрив рідини з внутрішнім гідроударом.

Рисунок 3 – Залежність радіуса кавітаційної букльбашки від зміни перепаду тиску та густини рідини

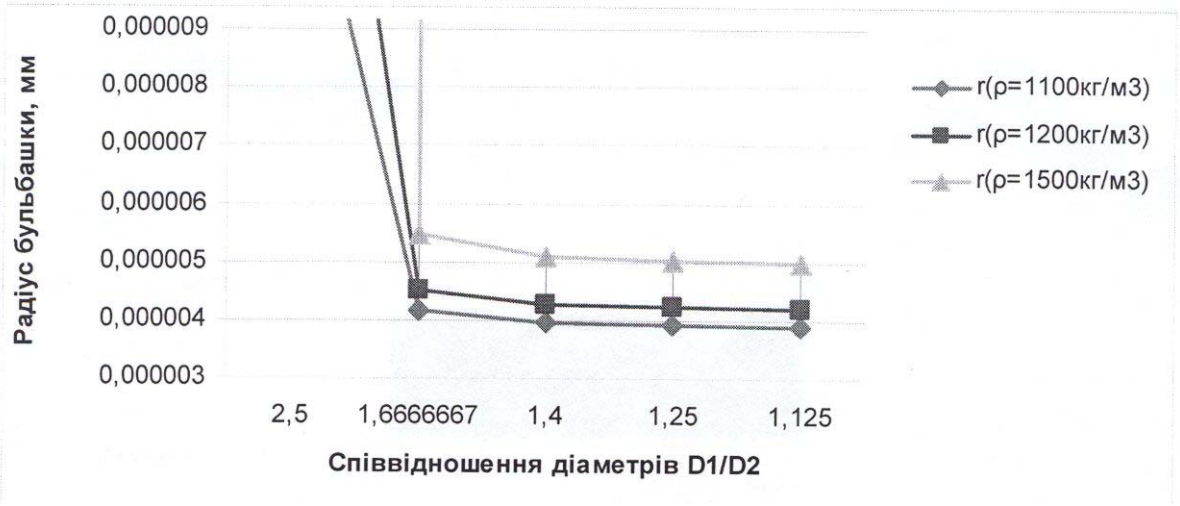



Рисунок 3 – Залежність радіуса кавітаційної букльбашки від співвідношення діаметрів насадок кавітатора

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучернюк А.В., Кучернюк В.А., Давыденко С.М., Сова В.М., Максимчук М.Ю. Технология ударно-волнового воздействия на призабойную зону нефтяных и газовых скважин // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі». – К.: ВАТ „УкрНГІ”. - 2006. - С. 47 - 48.

2. Ибрагимов Л.Х. Интенсификация добычи нефти с применением генераторов затопленных турбулентных струй и адиабатных двухфазных потоков // Нефтегазопромысловое дело. - 1996. - №6. – С. 44 - 49.

3. Яремійчук Р.С., Возний В.Р., Фем’як Я.М., Якимечко Я.Я. Методика і аналіз експериментальних даних досліджень роботи вихрового гідродинамічного пульсатора // Нафтова і газова промисловість. – 2008. - №1. – С. 19 – 21.

4. Фем’як Я.М. Підвищення ефективності руйнування гірських порід при бурінні свердловин за рахунок енергії пульсуючих потоків. Автореферат дисертації канд. техн. наук. – Івано-Франківськ, 2007. – 19 с.

5. Деклараційний патент України, № 43637А, МКИ Е21В10/42. Бурове трилопатеве долото / Р.С. Яремійчук, О.М. Расторгуєв, М.В. Баранецький, Я.М. Фем’як, Т.Р. Шандровський. - Заявл. 18.04.2001; Опубл. 17.12.2001, Бюл. №11. – 4 с. іл.