

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

На правах рукопису

ДУБЕИ НАТАЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

ГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВІ ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ
ПІДЗЕМНИХ ГАЗОСХОВИЩ У ВИСНАЖЕНИХ ГАЗОВИХ
РОДОВИЩАХ, ПОВ'ЯЗАНИХ З НЕОДНОРІДНИМИ
КОЛЕКТОРАМИ (НА ПРИКЛАДІ ПСГ ПРИКАРПАТТЯ)

Спеціальність 04.00.17 - Геологія, пошук та розвідка
нафтових і газових родовищ

АВТОРЕФРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геолого-мінералогічних наук

Івано-Франківськ - 1996

AB 34.050

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу

Науковий керівник: доктор геолого-мінералогічних наук, професор Орлов Олександр Олександрович

Офіційні опоненти: 1. Доктор геолого-мінералогічних наук, професор Іванюта Мирослав Максимович (Український державний геологорозвідувальний інститут, м. Львів)

2. Доктор геолого-мінералогічних наук Гунька Нестор Никодимович (Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, м. Львів)

Провідна організація: Львівський комплексний науково-дослідний відділ УкрНДІГазу (м. Львів)

Захист відбудеться "18" березня 1996 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К.09.02.04 при Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу
Адреса: 284019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розіслано "16" лютого 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, доктор геолого-мінералогічних наук

Б.І. Мазевський

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00740061 (1)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Структура споживання природного газу нерівномірна. З метою збалансування роботи газової промисловості та інших галузей економіки, забезпечення необхідного резерву газу на випадок аварій і ускладнень в системі магістральних газопроводів та довготермінового резерву на випадок недопоставок газу з країн-експортерів в Україні створена і продовжує розвиватись система підземних сховищ газу (ПСГ).

Ефективний її розвиток сьогодні пов'язаний в основному із спорудженням газосховищ у виснажених газових і газоконденсатних родовищах.

Методика проектування таких ПСГ базується на результатах аналізу розробки газових покладів на виснаження з розрахунком укрупнених технологічних показників для однорідного за своїми геолого-промисловими властивостями пласта.

Проте практика проектування та створення ПСГ в умовах неоднорідних за проникністю колекторів показує, що відсутність врахування особливостей геологічної будови газових покладів та зміни колекторських властивостей порід по площі і розрізу призводить до завищення об'єму активного газу і значних перевитрат капітальних вкладень.

В той же час, детальний аналіз процесу розробки газового покладу і результатів промислово-геофізичних досліджень свердловин з використанням методів математичного моделювання дає змогу кількісно оцінити вплив неоднорідності пластів-колекторів на газодинамічний стан газосховища ще на стадії його проектування і розрахувати реальні технологічні показники його роботи.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню впливу геологічних факторів, а саме неоднорідності колекторських властивостей пласта на технологічні показники експлуатації ПСГ, вдосконаленню методів проектування створення і експлуатації газосховищ, приурочених до неоднорідних пластів-колекторів, а також розвитку методики підрахунку запасів газу для умов розробки неоднорідних колекторів.

Мета роботи полягає у вивченні впливу неоднорідності колекторів на характер циклічної роботи газосховищ, створених у виснажених покладах і розробці методів проектування створення і експлуатації ПСГ в умовах нерівномірного дренажу газового покладу.

Основні завдання роботи:

- дослідити геолого-промислові особливості Угерського, Опарського, Богородчанського ПСГ і провести аналіз характеру неоднорідності колекторів по площі і розрізу в межах продуктивного горизонту;
- провести аналіз розробки Угерського, Опарського, Богородчанського газових родовищ, а також їх експлуатації в режимі ПСГ з метою вивчення характеру дренавання порід-колекторів;
- розробити методику математичного моделювання процесу розробки газових покладів на виснаження в умовах неоднорідних колекторів та процесу їх циклічної експлуатації в режимі підземного зберігання газу;
- на основі математичного моделювання дослідити причини невідповідності фактичних і проектних технологічних показників експлуатації ПСГ, створених у неоднорідних колекторах;
- розробити методику проектування ПСГ у виснаженому газовому покладі в умовах неоднорідних колекторів.

Фактичний матеріал і методи досліджень. В основу дисертаційної роботи покладено результати детального аналізу геолого-промислових матеріалів експлуатації підземних газосховищ Прикарпаття та результати математичного моделювання процесу розробки газових покладів в неоднорідних колекторах та їх циклічної експлуатації в режимі ПСГ. Теоретичні розрахунки базувались на використанні математичних і статистичних методів оцінки неоднорідності колекторів, а також методики прогнозування основних показників розробки газових родовищ та циклічної експлуатації ПСГ. В роботі автор опирається на фондові матеріали ДП "Львівтрансгаз" і "Прикарпаттрансгаз".

Наукова новизна:

1. Розроблена методику математичного моделювання розробки газового родовища в умовах різко вираженої неоднорідності пластів-колекторів.
2. Розроблена методику математичного моделювання процесу циклічної експлуатації підземного газосховища в умовах неоднорідних колекторів.
3. На основі математичного моделювання проведено уточнення методики підрахунку запасів газу за методом падіння пластового тиску для умов розробки неоднорідних колекторів.
4. Встановлено, що пластовий тиск, який визначається з метою контролю за розробкою газових покладів і експлуатацією ПСГ в умовах

неоднорідних колекторів, не відповідає середньому пластовому тиску продуктивного горизонту; його величина залежить від характеру міжпластових перетоків у зупиненій свердловині і близька до пластового тиску високопроникного пласта.

5. В результаті математичного моделювання підтверджено, що основною причиною відхилення фактичних показників експлуатації ПСГ (активний і буферний об'єми газу, продуктивність ПСГ) від проектних є низький ступінь дренавання низькопроникних колекторів.

6. Розроблена методика проектування створення нових підземних сховищ газу в умовах різкої диференціації колекторських властивостей породи по площі і розрізу продуктивного горизонту.

Положення, що виносяться на захист:

1. Різка диференціація колекторських властивостей порід по площі і розрізу продуктивних горизонтів підземних газосховищ Прикарпаття зумовлює значну нерівномірність дренавання пласта: в процесі циклу закачки-відбору темп зміни пластового тиску від мінімальної до максимальної величин в низькопроникних пластах в 6-8 разів нижчий, ніж у високопроникних, внаслідок чого утворюються слабодреновані малоактивні зони, які спричинюють зменшення активного об'єму газу ПСГ на 20-40 % і збільшення буферного об'єму газу.

2. Геолого-математична модель пласта, яка враховує зональну і шарову неоднорідність порід-колекторів, а також методика прогнозування основних показників розробки газових родовищ і експлуатації ПСГ в умовах різко вираженої неоднорідності пластів-колекторів дають змогу кількісно оцінити величину малоактивних зон в низькопроникних пластах, визначити ступінь відхилення фактичних показників розробки покладів газу і експлуатації підземних газосховищ від проектних величин.

3. При проектуванні ПСГ в неоднорідних колекторах в основу технологічних проектів слід закладати не повний газонасичений поровий об'єм, як це робиться на практиці, а тільки активний, визначений за запропонованою методикою математичного моделювання, виключивши об'єм "застійних" зон.

Практична цінність роботи. Впровадження в практику методики математичного моделювання циклічної роботи ПСГ, методики їх проектування та поетапного створення дає змогу більш достовірно визначити оптимальні технологічні показники експлуатації газосховищ, які

закладаються в основу технологічних проектів, виключити можливі непродуктивні витрати, що в цілому підвищить ефективність роботи ПСГ.

Теоретичні положення, практичні висновки та методики, розроблені в дисертаційній роботі, реалізуються в ДП "Львівтрансгаз" при проведенні аналізу експлуатації ПСГ, коректуванні діючих технологічних проектів і можуть бути використані при складанні технологічних проектів нових ПСГ.

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи доповідались і обговорювались на науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу інституту нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 1992 р.), на науково-практичній конференції "Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України" (м. Львів, березень 1995 р.), на науково-практичній конференції "Проблеми і перспективи науково-технічного прогресу АТ "Укрнафта" в умовах ринку" (м. Івано-Франківськ, вересень 1995 р.), на науковому семінарі кафедри геології та розвідки нафтових і газових родовищ (м. Івано-Франківськ, червень 1995 р.).

Основні положення дисертаційної роботи викладені в 5 опублікованих роботах.

Об'єм та структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 8 розділів, висновків і рекомендацій; включає в себе 162 сторінки машинописного тексту, 32 рисунки і 15 таблиць. Список використаної літератури складається із 117 найменувань.

Автор висловлює щиру вдячність за всебічну підтримку і цінні поради науковому керівнику доктору геолого-мінералогічних наук, професору О.О. Орлову, доктору геолого-мінералогічних наук, професору Б.Й. Маєвському, кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту Л.С. Мончаку, доценту О.Є. Лозинському, а також спеціалістам геологічної служби ДП "Львівтрансгаз", "Прикарпаттрансгаз", Львівського КНДВ УкрНДІГазу.

ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі розглядається стан досліджень з теорії і практики проектування та експлуатації підземних сховищ газу в виснажених газових родовищах в умовах неоднорідних колекторів.

Теоретичні основи проектування та експлуатації газосховищ в виснажених газових родовищах були закладені в працях С.Н. Бузінова, Ю.П. Коротаєва, А.Л. Хейна, А.І. Ширковського. Значний вклад в теорію і практику створення підземних газосховищ в виснажених пластах, в тому числі і в умовах Прикарпаття, зробили А.В. Баранов, Н.М. Бачуріна, В.П. Войціцький, Р.Ф. Гімер, О.М. Грачова, О.І. Іщенко, М.Ф. Карімов, М.Р. Ковальчук, Н.Є. Котляр, І.Д. Лебедев, Л.М. Мітрофанова, В.І. Олексюк, Й.С. Павлох, Б.Л. Савків, М.В. Сидоренко, О.В. Солецький, Г.І. Солдаткін, А.І. Ткачук, А.М. Федутенко та інші. Важливими є основні положенні стосовно початкових пластових тисків у природних резервуарах під час зберігання у них газу, викладені в роботах О.О. Орлова.

При проектуванні газосховищ у виснажених газових родовищах за основу приймалися матеріали, одержані при аналізі розробки газових покладів, а гідродинамічні розрахунки проводились за тією ж методикою, що і при проектуванні самої розробки. При цьому не враховувались темпи і характер дренавання пласта-колектора, особливо в умовах неоднорідних різнопроникних колекторів. За даними досліджень В.П. Войціцького, Р.Ф. Гімера, Й.С. Павлоха, О.В. Солецького за рахунок цього активний об'єм газу по Угерському, Опарському та Північно-Сохському (Узбекистан) ПСГ порівняно з проектною величиною зменшився на 20-40 %. Відповідно збільшився буферний об'єм газу і знизилась ефективність роботи газосховища. Така картина має місце і по рядку інших ПСГ, створених в аналогічних геологічних умовах.

Проте в опублікованій літературі і фондових матеріалах ця проблема зводиться лише до фіксації самих фактів, після того як ПСГ вже виведено на циклічний режим роботи. Методичні розробки по врахуванню неоднорідності пласта на стадії проектування ПСГ відсутні.

В другому розділі за останніми даними геолого-промислових досліджень описані основні риси геологічної будови і літологічна характеристика Угерського, Опарського та Богородчанського підземних сховищ газу, які створені на базі однойменних виснажених газових родовищ і вибрані в даній роботі об'єктами досліджень.

Підземні газосховища розташовані в межах Зовнішньої зони Передкарпатсько прогину.

Пласти-колектори на перших двох газосховищах складені пісковиками і алевролітами сарматських відкладів, колекторські властивості яких змінюються в дуже широких межах, зокрема діапазон зміни величини проникності — $0,1 \cdot 10^{-15}$ - $1170 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$.

На Богородчанському ПСГ продуктивний горизонт складений пісковиками і, в певній мірі, алевролітами тортонських відкладів. Колекторські властивості їх більш витримані. Проникність пласта в межах покладу в основному складає $20 \cdot 10^{-15}$ - $100 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. Продуктивність свердловин визначається ефективною товщиною порід-колекторів, яка коливається від 12 до 60 м.

Третій розділ присвячений аналізу неоднорідності пластів-колекторів підземних газосховищ Прикарпаття.

В розділі дається огляд досліджень і методик по вивченню неоднорідності пластів, в тому числі для газових родовищ Зовнішньої зони Передкарпатського прогину.

Ефективна товщина, піщанистість, пористість і проникність — найважливіші параметри, які визначають продуктивність експлуатаційного об'єкту. Характер мінливості цих показників по розрізу і площі продуктивних горизонтів вивчався для Угерського та Сарського газосховищ, де неоднорідність пластів-колекторів виражена найбільш чітко. Перші три параметри приймалися за матеріалами промислової геофізики. В зв'язку з тим, що керновий матеріал, за яким визначалась проникність, відбирався лише із окремих свердловин і при цьому не зі всього продуктивного розрізу, значень проникності для проведення аналізу виявилось недостатньо.

Для цього була використана графічна функціональна залежність між пористістю і проникністю ($\lg k = f(m)$), побудована автором для горизонтів НД-5 — НД-8 нижньої сармату (в яких або вже створені ПСГ, або є передумови для їх створення) на основі матеріалів лабораторних досліджень, що ввійшли в підрахунок запасів газу для Залужанського, Хідновичського, Угерського, Дашавського та Опарського газових родовищ. В інтервалі проникності $1-1000 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ ця залежність має вигляд прямої лінії. Коефіцієнт кореляції досить високий — 0,868. Виведене в роботі рівняння регресії має вигляд:

$$\lg k = 0,2m - 2,73 \quad (1)$$

Для Угерського ПСГ в межах продуктивного розрізу ефективна товщина окремих пропластків змінюється від 0,7 до 10 м, значення пористості — від 16 до 26 %, проникності — від $1.5 \cdot 10^{15}$ до $400 \cdot 10^{15}$ м². Для Опарського ПСГ в розрізі горизонту НД-7, по якому проводився детальний аналіз, встановлені такі межі основних показників: ефективної товщини — 2,6-8 м, пористості — 16-27 %, проникності $3 \cdot 10 \cdot 10^{15}$ — $700 \cdot 10^{15}$ м². Встановлено, що суттєва неоднорідність пластів-колекторів по розрізу є характерною ознакою для обох ПСГ, проте дещо в більшій мірі вона виражена на Опарському ПСГ.

З метою вивчення мінливості параметрів пласта по площі для Угерського і Опарського ПСГ автором побудовані графіки зміни ефективної товщини пісковиків і алевролітів та карти піщанистості, пористості і проникності. В результаті проведеного детального аналізу можна стверджувати, що значення перелічених параметрів для обох ПСГ змінюються по площі в широких межах, тобто чітко виражена зональна неоднорідність, причому більший діапазон зміни цих параметрів має місце на Угерському газосховищі.

Для наочного зображення характеру мінливості пористості і проникності продуктивних пластів для Угерського і Опарського ПСГ побудовані частотні графіки у вигляді полігонів розподілу даних параметрів.

З метою порівняння геолого-фізичних властивостей пласта і оцінки ступеня його неоднорідності використаний ряд статистичних характеристик і показників, таких як середня величина параметрів, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, а також коефіцієнт варіації, який є відносною мірою мінливості параметра. Для даного випадку величини коефіцієнта варіації пористості підтверджують, що продуктивні горизонти Угерської та Опарської площ, для яких даний показник становить відповідно 29 і 25 % більш неоднорідні порівняно із продуктивним горизонтом Богородчанського ПСГ з коефіцієнтом варіації 10 %.

В четвертому розділі розглядаються геолого-промислові особливості розробки газових покладів Угерського, Опарського та Богородчанського газових родовищ. При цьому основна увага зосереджена на вивченню умов дренавання покладів газу та режиму їх роботи.

Газові поклади в горизонтах НД-8 і НД-9 Угерського родовища складають єдину гідродинамічну систему з однаковим початковим пластовим тиском 7,23 МПа і єдиним початковим контактом ГВК.

За час розробки з родовища видобуто 76,3 % від початкових запасів. Кінцевий пластовий тиск для горизонту НД-8 склав 2,10 МПа, для горизонту НД-9 — 2,77 МПа.

Розробка родовища проводилась за допомогою 13 свердловин. При цьому ні одна із свердловин не обводнилась. ГВК по окремих свердловинах піднявся на 2-5 м. Обводненість родовища оцінюється не більше ніж на 2 %.

Як видно з рис. 1, залежність $\frac{P_{pl}}{z} = f(\Sigma Q)$ до відбору 1300 млн. м³ має вигляд прямої лінії, характерної для газового режиму роботи пласта, після чого починає відхилятися вгору, що на практиці інтерпретується як проявлення пружно-водонапірного режиму. Підрахована за графіком обводненість пласта повинна скласти 14,6 %, що суперечить фактичним даним.

Для Опарського ПСГ детально розглянуто умови розробки горизонту НД-7, який характеризується значною неоднорідністю пластів-колекторів.

За період розробки з допомогою 6 свердловин відібрано 89,0 % від початкових запасів при зниженні пластового тиску з 7,04 до 2,11 МПа. Під кінець розробки дві приконтурні свердловини обводнились.

Згідно з рис. 1, залежність $\frac{P_{pl}}{z} = f(\Sigma Q)$ для даного об'єкту до видобутку 900 млн. м³ мала характер близький до лінійного, після чого почала суттєво виположуватися. Якщо припустити, що це пов'язано із обводненням пласта, то для даних умов вона повинна скласти 61,5 %, що суперечить матеріалам розробки, оскільки ГВК піднявся лише на 1-4 м. За даними досліджень О.В. Солецького, Й.С. Павлоха обводненість пласта не повинна перевищувати 5 %.

По Богородчанському родовищу за період розробки видобуто 66 % від початкових запасів газу, при цьому пластовий тиск понизився з 10,15 до 3,74 МПа. Ні одна із 7 свердловин не обводнилась.

Графік залежності $\frac{P_{pl}}{z} = f(\Sigma Q)$ має вигляд прямої лінії, що говорить про газовий режим роботи пласта і практично повне дренування газового покладу в процесі розробки.

Проведеним аналізом встановлено, що чим більша неоднорідність пластів-колекторів, чим більше в розрізі свердловини низькопроникних пластів і пропластків, тим більший ступінь відхилення залежності $\frac{P_{pl}}{z} = f(\Sigma Q)$ від прямої лінії.

ГРАФІКИ ЗАЛЕЖНОСТІ $P_{пл}/Z$ ВІД ΣQ

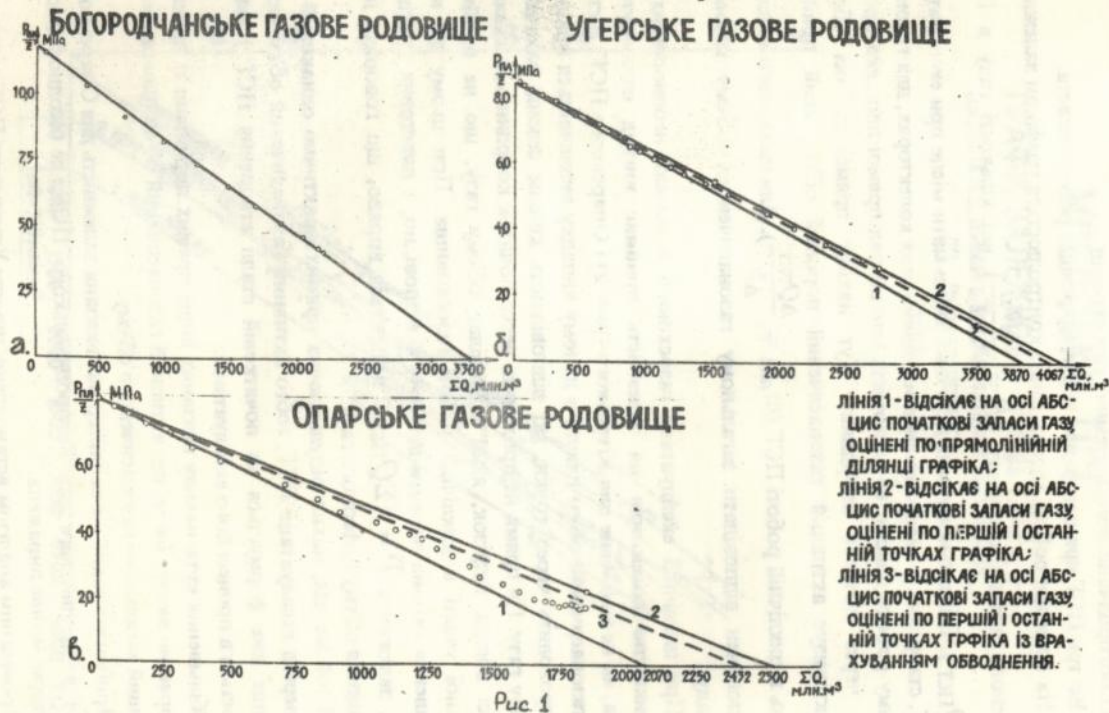


Рис 1

В п'ятому розділі проведений аналіз експлуатації Угерського, Опарського і Богородчанського підземних газосховищ.

Всі три ПСГ працюють при газовому режимі роботи пласта.

На практиці робота газосховища контролюється графіком залежності зведеного пластового тиску ($\bar{P} = \frac{P_{pl} T_{st}}{P_{at} z T_{pl}}$) від кількості газу в ПСГ ($\Sigma Q_{\text{ПСГ}}$). В ідеальному випадку, який може мати місце при експлуатації ПСГ, створених у високопроникних однорідних колекторах, для газового режиму роботи пласта, ця залежність має вигляд прямої лінії, яка проходить через початок координат. Кут нахилу прямої до осі абсцис характеризує активний газонасичений поровий об'єм, який приймає участь в циклічній роботі ПСГ ($\omega_{akt} = \frac{\Delta Q_{\text{ПСГ}}}{\Delta \bar{P}}$). Для ідеального випадку він повинен відповідати загальному газонасиченому об'єму газового покладу.

При циклічній експлуатації газосховищ в умовах неоднорідних за проникністю колекторів ця залежність приймає вигляд сплюсненого еліпса, як це має місце для Угерського (рис. 2) і Опарського ПСГ. Активний газонасичений об'єм пласта в даному випадку визначається прямою, що проходить через точки, які відповідають кінцям сезонів закачки і відбору газу. Ця пряма не проходить через початок координат, а відсікає на осі абсцис відрізок, який відповідає об'єму газу, що не приймає активної участі в циклічній роботі газосховища. При цьому по мірі збільшення об'ємів закачки-відбору, а відповідно, і пластових тисків в ПСГ, залежність $\bar{P} = f(\Sigma Q_{\text{ПСГ}})$ зміщується вправо, що говорить про збільшення об'єму буферного газу.

В той же час, нахил результуючих прямих практично однаковий за весь період експлуатації ПСГ, тобто активний газонасичений об'єм газосховища вже формується на початковій стадії створення ПСГ і мало змінюється в процесі його експлуатації.

Збільшення кута нахилу вказаних вище прямих порівняно із проектною прямою вказує на те, що активний газонасичений об'єм пласта значно нищий загального газонасиченого об'єму.

Приблизно такий же характер має вказана залежність для Опарського ПСГ і в меншій мірі для Богородчанського ПСГ, де неоднорідність колекторів менше виражена.

Проведенням аналізом встановлено, що для Угерського ПСГ активний газонасичений об'єм пласта склав 71 %, для Опарського — 46 %, для Богородчанського — 89 % від загального газонасиченого об'єму покладу.

УГЕРСЬКЕ ПСГ

ГРАФІК ЗАЛЕЖНОСТІ \bar{P} ВІД $\Sigma Q_{\text{ПСГ}}$

(СКЛАЛА Н.В.ДУБЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕРІАЛУ
ДП „ЛьВІВТРАНСГАЗ“)

1995р.

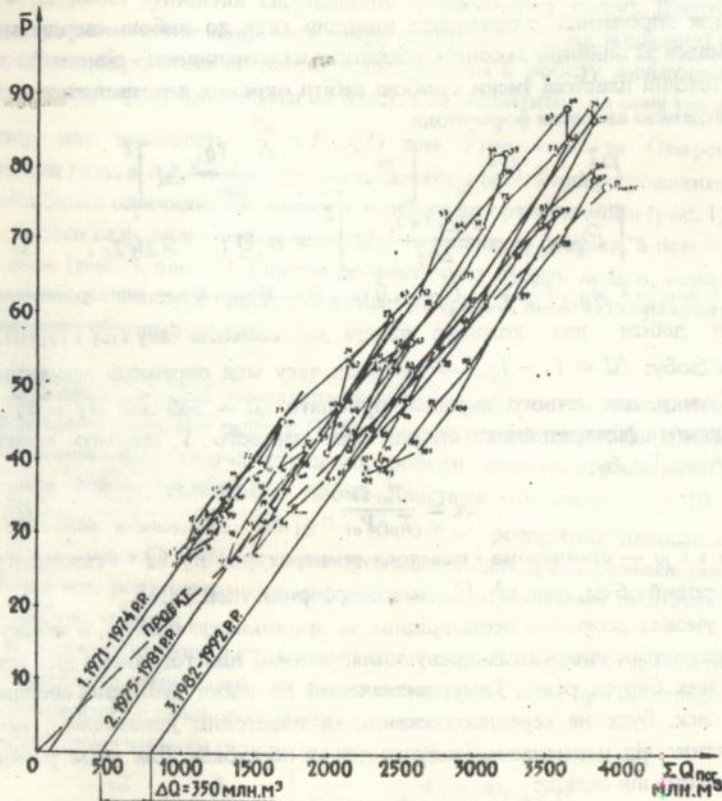


Рис. 2

Відповідно зменшився активний об'єм газу в пласті і збільшився буферний об'єм газу.

В шостому розділі викладена методика математичного моделювання процесу розробки газового покладу в умовах неоднорідних колекторів.

Розрахунки проводились з допомогою персонального комп'ютера для умов елемента покладу радіусом 1000 м, складеного двома пластами товщиною по 10 м і проникністю, відповідно, $100 \cdot 10^{-15}$ і $10 \cdot 10^{-15}$ м², розділених непроникним глинистим пластом. Умовна свердловина знаходиться в центрі елемента.

Для спрощення розрахунків приплив газу до вибою свердловини приймався за лінійним законом, коефіцієнт надстисливості - рівним 1.

Поточні пластові тиски і робочі дебіти окремих пластів визначались за введеною автором формулою:

$$P_{pl,i}^2 - P_{pl,2i}^2 = \left[P_{pl,i-1} - \frac{q_{1,i-1} + q_{1,i}}{2\alpha_1} \Delta t \right]^2 - \left[P_{pl,2i-1} - \frac{q_{2,i-1} + q_{2,i}}{2\alpha_2} \Delta t \right]^2 = a_1 q_{1,i} - a_2 q_{2,i}, \quad 12/$$

де $P_{pl,i-1}$, $P_{pl,i}$, $P_{pl,2i-1}$, $P_{pl,2i}$, $q_{1,i-1}$, $q_{1,i}$, $q_{2,i-1}$, $q_{2,i}$ - пластові тиски і робочі дебіти для кожного пласта для моментів часу t_{i-1} і t_i , МПа, тис. м³/добу; $\Delta t = t_i - t_{i-1}$ - інтервал часу між окремими моментами розрахунку, для нашого варіанта прийнято $\Delta t \approx 365$ дб; a_1 і a_2 - коефіцієнти фільтраційних опорів для першого і другого пласта, МПа²/тис.м³/добу;

$$\alpha = \frac{T_{st} \cdot \Omega}{T_{pl} \cdot P_{at}} \quad 13/$$

де T_{st} і T_{pl} - стандартна і пластова температури, °К; Ω - газонасичений поровий об'єм, млн. м³; P_{at} - атмосферний тиск, МПа.

В умовах розробки неоднорідних за проникністю пластів, в зв'язку з неодинаковими умовами їх дренавання, поточні пластові тиски для кожного з них будуть різні. Тому, визначений на вибої зупиненої свердловини тиск, буде не середньозваженим, а пластовим динамічним, який залежатиме від інтенсивності міжпластових перетоків. Для умов роботи двох пластів він складе:

$$P_{pl,dyn,i} = \sqrt{P_{pl,i}^2 - a_1 \Delta g_i}, \quad 14/$$

де Δg_i - величина міжпластових перетоків, викликаних різницею тисків в окремих пластах, яка визначається за формулою:

$$\Delta g_i = \frac{P_{pl.1i}^2 - P_{pl.2i}^2}{a_1 + a_2} \quad (5)$$

Умови дренування покладу задавались близькими до реальних. Зокрема, для перших 10 років розробки прийнято режим постійного робочого дебіту $Q = 200$ тис. м³/добу з подальшим його зниженням щорічно на 20 %.

Результати розрахунків зображені на рис. 3. Лінія 1 характеризує залежність істинного середнього пластового тиску від відбору газу в покладі, лінія 2 — залежність від відбору газу пластового тиску, визначеного на вибої зупиненої свердловини (динамічного тиску). Відхилення розрахункових точок залежності вгору від прямої лінії на заключній стадії розробки пояснюється активним підключенням в роботу низькопроникних пластів за рахунок депресії на пласт. Слід відмітити, що саме такий характер має залежність $\frac{P_{pl}}{z} = f(\Sigma Q)$ для Угерського та Опарського родовищ газу, в той же час, для Богородчанського газового родовища, де пласти більш однорідні, ця залежність близька до прямолінійної (рис. 1).

Запаси газу, визначені за початковою ділянкою графіка, в певній мірі занижені (рис. 3, лінія 3). Близьче до фактичних будуть запаси, оцінені за початковим і кінцевим пластовими тисками (рис. 3, лінія 4) із врахуванням можливого обводнення пласта.

В сьомому розділі викладена методика і результати математичного моделювання циклічної роботи ПСГ в умовах неоднорідних колекторів.

Вирішувалась задача циклічної роботи окремого елемента ПСГ радіусом 300 м, складеного двома пластами товщиною по 10 м і проникністю, відповідно, $100 \cdot 10^{15}$ і $10 \cdot 10^{15}$ м², розділених непроникним глинистим пластом. Моделювання проводилось для трьох режимів роботи свердловини, розташованої в центрі елемента з робочими дебітами 100, 200 і 300 тис. м³/добу.

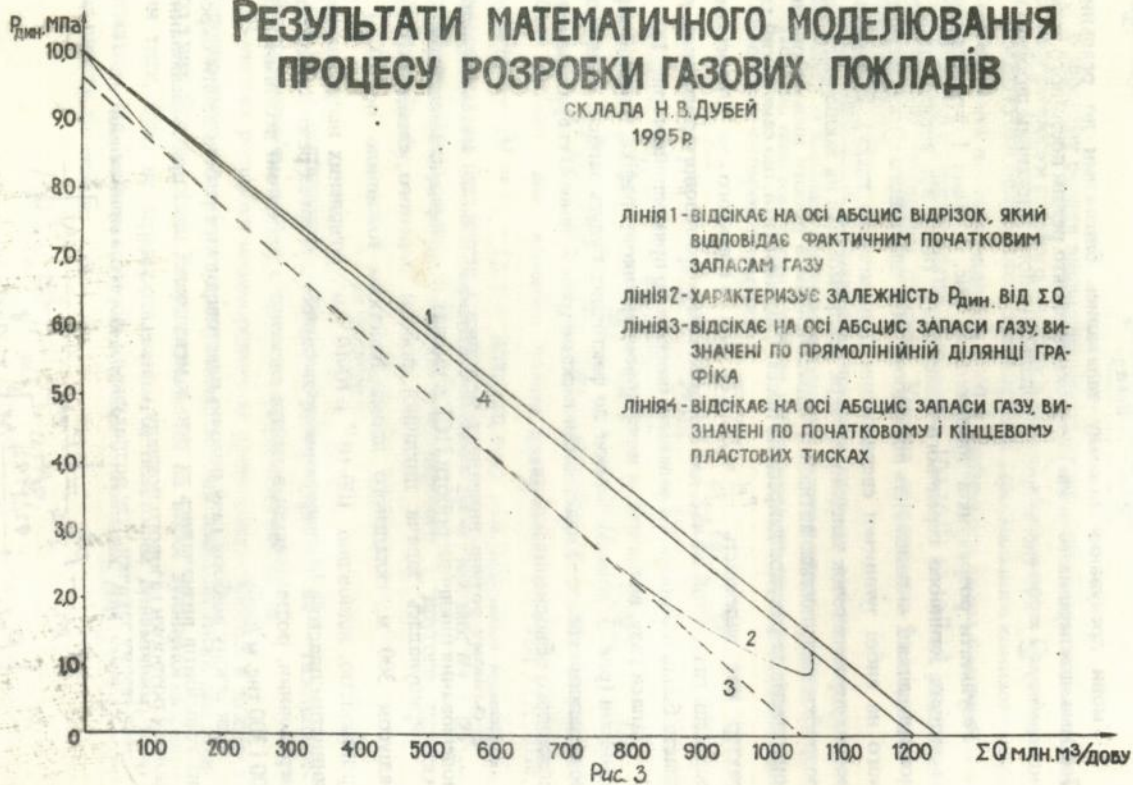
Для сезону відбору газу поточні пластові тиски і робочі дебіти окремих горизонтів визначались за тією ж методикою, що і при моделюванні процесу розробки газового покладу.

Для сезону закачки газу розрахункова формула прийме вид:

$$P_{pl1i}^2 - P_{pl2i}^2 = \left[P_{pl1_{i-1}} + \frac{q_{1_{i-1}} + q_{1i}}{2\alpha_1} \Delta t \right]^2 - \left[P_{pl2_{i-1}} + \frac{q_{2_{i-1}} + q_{2i}}{2\alpha_2} \Delta t \right]^2 = a_2 q_{2i} - a_1 q_{1i} \quad (6)$$

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ГАЗОВИХ ПОКЛАДІВ

СКЛАЛА Н. В. ДУБЕЙ
1995Р.



лінія 1 - відсікає на осі абсцис відрізок, який відповідає фактичним початковим запасам газу

лінія 2 - характеризує залежність $P_{дин}$ від ΣQ

лінія 3 - відсікає на осі абсцис запаси газу, визначені по прямолінійній ділянці графіка

лінія 4 - відсікає на осі абсцис запаси газу, визначені по початковому і кінцевому пластових тисках

Динамічний пластовий тиск та величина перетоку газу між пластами для умов закачки газу визначаються за формулами (4, 5).

Розрахунки проводились за допомогою персонального комп'ютера, їх результати зображені на рис. 4. Залежність зведеного пластового тиску від кількості газу в ПСГ має вигляд сплюсненого еліпса з тими ж властивостями, які були встановлені при аналізі ПСГ Прикарпаття.

Активний газонасичений об'єм пласта, який контролюється динамічним пластовим тиском в зупиненій свердловині, для прийнятих умов складає 62-65 % від загального газонасиченого об'єму. Відповідно, активний об'єм газу в пласті зменшується на 35-38 %. Об'єм буферного газу збільшується в залежності від режиму роботи на 8-25 %. При цьому із збільшенням об'ємів закачки газу, а, відповідно, і максимального пластового тиску, ефективність роботи ПСГ децю покращується.

Отримані при математичному моделюванні результати, в цілому відповідають фактичним даним, одержаним при аналізі експлуатації Угерського, Опарського і Богородчанського ПСГ, що підтверджує наявність "застійних" зон в низькопроникних колекторах в процесі циклічної експлуатації ПСГ.

В восьмому розділі на основі проведених аналізів експлуатації ПСГ і математичного моделювання запропонована методика проектування нових підземних газосховищ, пов'язаних із виснаженими газовими покладами в умовах неоднорідних за проникністю колекторів.

Суть її зводиться до наступного:

1. За відомими значеннями пористості, одержаними в результаті інтерпретації промислово-геофізичних досліджень в свердловинах, пробурених в межах газового покладу, використовуючи графічну функціональну залежність $\lg k = f(m)$, для кожного пласта визначаються значення проникності.

За величиною проникності пласти групуються в дві, а при необхідності і в три групи. Для кожної групи по окремих свердловинах знаходяться середньозважені по ефективній товщині значення проникності. За побудованими картами рівних товщин і рівних проникностей визначаються середньозважені їх величини по площі покладу.

2. Одержавши середні значення товщини і проникності для кожної групи колекторів, для заданих умов експлуатації (загальний газонасичений об'єм пласта, максимальні і мінімальні пластові тиски, робочі дебіти, віддаль між свердловинами тощо) за методикою, викладеною в розділі 7,

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЦИКЛІЧНОЇ РОБОТИ ПСГ

(СКЛАЛА Н.В.ДУБЕЇ)

1995р.

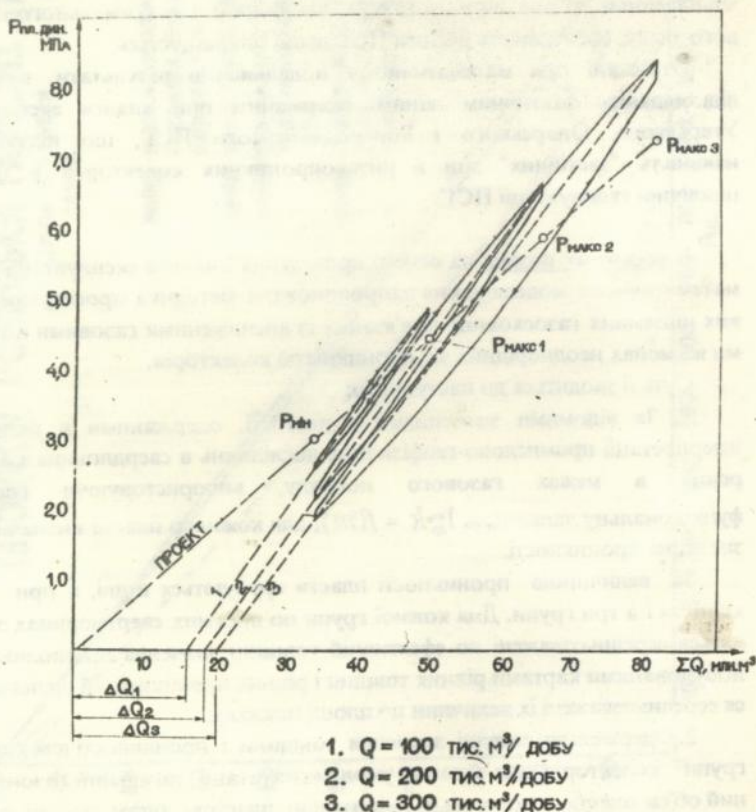


Рис. 4

проводиться математичне моделювання процесу циклічної експлуатації газосховища.

За результатами моделювання визначається відношення активного газонасиченого об'єму пласта, який приймає участь в циклічній роботі ПСГ (ω_{akt}) до загального газонасиченого об'єму покладу (Ω):

$$k = \frac{\omega_{akt}}{\Omega} \quad (1)$$

За значенням k визначаються активний і буферний об'єми газу в ПСГ:

$$Q_{akt} = k\Omega(\bar{P}_{max} - \bar{P}_{min}) \quad (8)$$

$$Q_{buf} = k\Omega\bar{P}_{min} + \Omega(1 - k)\bar{P}_{zz}, \quad (9)$$

де \bar{P}_{max} і \bar{P}_{min} — задані зведені максимальний і мінімальний пластові тиски; \bar{P}_{zz} — зведений пластовий тиск "застійних" зон, величина якого визначається в процесі моделювання.

3. Складається проект створення підземного сховища газу з врахуванням результатів математичного моделювання його циклічної експлуатації. При цьому необхідно виділити два етапи створення ПСГ.

1 етап — дослідно-промислова експлуатація (ДПЕ) на протязі 2-3 циклів закачки-відбору з використанням фонду свердловин, які залишилися від розробки, а також існуючих промислових комунікацій. При необхідності можуть бути пробурені додаткові свердловини по розрідженій експлуатаційній сітці.

За даними ДПЕ уточняється визначений за результатами моделювання активний газонасичений об'єм, об'єм "застійних" зон і буферний об'єм газу, режим компресорної станції та інші технологічні параметри експлуатації ПСГ.

Одночасно з ДПЕ слід проводити експлуатаційне буріння по розрідженій сітці з метою уточнення геологічної будови газового покладу, продуктивної характеристики і необхідної кількості експлуатаційних свердловин.

2 етап включає доведення експлуатаційного фонду свердловин до величини, одержаної в результаті корегування технологічного проекту, оббудову родовища і вивід ПСГ на проектний режим.

Висновки і рекомендації

1. На основі вивчення характеру неоднорідності пластів-колекторів по розрізу і площі покладів, в яких створені підземні сховища газу Прикарпаття, встановлено, що продуктивні пласти Угерського і Опарського ПСГ в значній мірі неоднорідні, причому для Угерського підземного

газосховища в більшій мірі виражена мінливість колекторських властивостей по площі, а для Опарського ПСГ — по продуктивному розрізі.

2. Створена методика математичного моделювання процесу розробки неоднорідних за проникністю газових покладів та процесу їх циклічної експлуатації в режимі підземного газосховища.

3. Аналіз розробки газових покладів, пов'язаних з неоднорідними колекторами, аналіз їх експлуатації в режимі ПСГ та матеріали математичного моделювання показали, що:

— при розробці газових покладів характер дренування окремих пластів визначається їх проникністю: в перший період в роботу включаються в основному високопроникні пласти; по мірі збільшення пластової депресії активність дренування низькопроникних пластів поступово збільшується і на кінцевій стадії розробки можливий переток газу з низькопроникних пластів у високопроникні;

— при циклічній експлуатації ПСГ за рахунок значно вищих темпів зміни тиску, порівняно з процесом розробки газового покладу, та періодичності зміни напрямку руху газу в пласті диференціація пластових тисків по окремих пластах носить більш виражений характер: в процесі циклу закачки-відбору газу зміна тиску від мінімальної до максимальної величини у низькопроникних пластах в 6-8 раз нижча, ніж у високопроникних, створюється так званий ефект "застійних" зон, який спричинює зменшення активного об'єму газу на 20-40 % і більше;

— пластовий тиск, який заміряється в свердловинах з метою контролю за розробкою газових покладів і контролю за роботою підземних газосховищ, не відповідає середньому пластовому тиску по продуктивному горизонту; його величина залежить від ступеня дренування окремих пластів та величини міжпластових перетоків і близька до пластового тиску найбільш проникних пластів;

4. Підрахунок запасів газу за методом падіння пластового тиску на стадії проектування ПСГ рекомендується проводити за початковою і кінцевою точками залежності зведеного пластового тиску від сумарного об'єму газу, відібраного із покладу з врахуванням можливого обводнення.

5. При проектуванні ПСГ в умовах неоднорідних колекторів в основу технологічних проектів рекомендується закладати не повний газонасичений поровий об'єм, як це робиться на практиці, а тільки активний, визначений за запропонованою методикою математичного моделювання, виключивши об'єм "застійних" зон, що дасть змогу досягти максимального наближення проектних показників до реальних.

6. Рекомендується розроблена нова методика проектування підземних газосховищ в умовах неоднорідних колекторів. Суть її полягає в попередньому математичному моделюванні процесу циклічної роботи ПСГ для конкретних промислово-геологічних умов даного об'єкту з наступним проведенням його дослідно-промислової експлуатації. Така система проектування скорочує термін вводу ПСГ в експлуатацію, дозволяє більш об'єктивно оцінити його потенційні можливості, виключити непродуктивні витрати та підвищити ефективність зберігання газу.

По темі дисертації опубліковано такі роботи:

1. Волкова М.А., Дубей Н.В., Старосельський Є.М. Про проведені дослідження загазованості верхніх відкладів осадкової товщі Богородчанського ПСГ // Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу ін-ту нафти і газу: Тези доповідей, Івано-Франківськ, 1992. — Івано-Франківськ, 1992. — С. 59.

2. Войціцький В.П., Дубей Н.В. Особливості створення і експлуатації газорегульовального комплексу підземних газосховищ у Прикарпатті // Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України: Тези доп. і пов. наук.-практ. конф., Львів, 28-30 березня 1995. — Львів, 1995. — С. 174.

3. Охорона навколишнього середовища в районі Богородчанського підземного сховища газу / Ю.О. Орлов, М.А. Волкова, Н.В. Дубей, В.Г. Омельченко // Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України: Тези доп. і пов. наук.-практ. конф., Львів, 28-30 березня 1995. — Львів, 1995. — С. 180.

4. Дубей Н.В. Математичне моделювання процесу розробки газових покладів в умовах неоднорідних колекторів / Івано-Франк. держ. техн. ун-т нафти і газу. — Івано-Франківськ, 1995. — 6с. Деп. в ГНТБ України, №2357 — Ук. 95 від 2.11.95.

5. Дубей Н.В. Математичне моделювання циклічної роботи підземних газосховищ в умовах неоднорідних колекторів / Івано-Франк. держ. техн. ун-т нафти і газу. — Івано-Франківськ, 1995. — 7с. Деп. в ГНТБ України, №2358 — Ук. 95 від 2.11.95.

ofms

Дубей Н.В. Геолого-промысловые особенности создания подземных газохранилищ в истощенных газовых месторождениях, связанных с неоднородными коллекторами (на примере ПХГ Прикарпатья).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 04.00.17 - геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений, Ивано-Франковский гос. тех. университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 1996.

Защищается рукопись диссертации, которая содержит результаты изучения характера изменения коллекторских свойств пород по площади и разрезу газовых залежей Угерского, Опарского и Богородчанского ПХГ, детального анализа их разработки на истощение и эксплуатации в режиме газохранилища, а также математического моделирования процесса циклической эксплуатации ПХГ, проведенных с целью установления причины несоответствия проектных и фактических показателей эксплуатации ПХГ. Доказано, что таковой является низкая степень дренирования низкопроницаемых пластов и образование в них малоактивных зон. Предложена новая методика проектирования ПХГ, создаваемых в условиях неоднородных коллекторов.

Dubei N.V. Geological and industrial peculiarities of the forming of underground gas storages (UGS) in exhausted gas fields, connected with nonuniform reservoirs (on the example of UGS in Precarpathia).

Dissertation for a scientific degree of a Candidate of geological and mineralogical sciences in major 04.00.17 - geology and prospecting for oil and gas, Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 1996.

The manuscript of the dissertation which includes the results of the investigation of the character of rock properties changes along the area and section of gas deposits of Uhersko, Opary and Bohorodchany UGS is submitted for defense. It presents a detailed analysis of their development for exhaustion and their operation as a gas storage as well as mathematic simulation of the process of UGS cyclic operation which have been carried out to determine why anticipated and real indexes of UGS operation do not coincide. It has been proved that it is due to insufficient drainage of layers with low permeability and formation of the zones of low activity. A new methodology of the planning of UGS formed in the conditions of nonuniform reservoirs is developed.

Ключові слова: неоднорідність пластів-колекторів, малоактивні зони, запаси газу, проектування підземних газосховищ.

Підписано до друку 14.02.96 р., Ф. 60 х 84,
1/16, зрм. 34, др. зрм. 1, тираж 100 прим.
Івано-Франківський державний технічний
університет нафти і газу,
Дільниця оперативної поліграфії, Карпатська 15.

442962

AB 34.050