

РОЗРОБКА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ РОДОВИЩ

УДК 622.276.6

ДЕЯКІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ НАФТОГАЗОВИДОБУТКУ ШЛЯХОМ ВПЛИВУ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ ПЛАСТІВ

*Я. Б. Тарко**ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195
e-mail: jart@ukr.net*

Приведены основные причины снижения проницаемости пластов. Обосновано ряд направлений развития методов восстановления и увеличения производительности скважин. Изложено особенности некоторых технологий гидроимпульсного и термохимического воздействия на призабойную зону скважин. Рассчитано повышение температуры в реакционной среде и горной породе в результате проведения экзотермических реакций между предложенными реагентами в зависимости от изменения их концентраций. Показано целесообразность комплексного применения этих технологий в условиях многопластовых неоднородных объектов эксплуатации и наличия в разрезе обводненных пластов.

Однією з причин зниження видобутку нафти і газу є кольматація привибійної зони, яка відбувається внаслідок проявлення багатьох різноманітних процесів, котрі супроводжують будівництво свердловин та їх експлуатацію [1]. Під час буріння на пласти діють значні статичні та динамічні репресії тиску, які нерідко перевищують допустимі величини в 5-10 разів, причому протягом однієї спуско-підіймальної операції бурового інструменту гідродинамічні імпульси можуть повторюватися до сотні разів. Розкриття продуктивних пластів в таких умовах супроводжується проникненням у них фільтрату та дисперсної фази бурового розчину, що призводить до закупорювання фільтраційних каналів, як привнесеним ззовні матеріалом, так і за рахунок набухання глинистих компонентів гірських порід.

В даний час у промисловій розробці знаходиться достатньо значна кількість покладів, які містять високов'язкі та високопарафіністі нафти і навіть на багатьох родовищах легких нафт та газових покладах в районі ВНК є облямівка високов'язкої окисленої нафти. Експлуатація свердловин в таких умовах пов'язана зі значними труднощами, оскільки при видобуванні

There has been given the main causes of layer's permeability decrease. There have been grounded the number of ways for further method development for renewal and increase of well productivity. Some features of hydro-impulse and thermo-chemical treatment of bottomhole formation zone have been given in the article. There has been calculated the temperature increase in reaction zone and in the rock after exothermal reaction between proposed reagents depending on their concentrations. There has been given the appropriateness of complex application of these technologies in case of multilayer heterogeneous production objects and presence of watered layers.

нафти в привибійній зоні пласта різко змінюються термобаричні умови, що погіршує фільтраційні властивості породи та реологічні характеристики флюїду.

Підвищений вміст високомолекулярних парафінових вуглеводнів обумовлює близькість пластової температури та температури кристалізації твердої фази парафінів, що призводить до утворення органічного кольматанту та закупорення ним привибійної зони пласта.

Охолодження привибійної зони відбувається вже під час циркуляції в свердловині бурового розчину на стадії первинного розкриття пласта і продовжується при нагнітанні в пласт різноманітних технологічних рідин в процесі експлуатації. Іншим чинником є високий газоміст нафти внаслідок низьких вибійних та пластових тисків. Для багатьох покладів за робочих депресій тиску 6-10 МПа газові фактори свердловин сягають 500-1500 м³/м³, а пластова температура через дроселювання вільного нафтового газу знижується на 10-20°C [2]. Це призводить до того, що за незначних депресій тиску радіус зони кристалізації парафіну сягає 1-2 м, а при високих – до 30 і більше метрів, при цьому підвищується і в'язкість нафти.

Збільшують кольматацию і адсорбція на поверхні фільтраційних каналів полярних компонентів нафти – смол та асфальтенів, різноманітні осадки, які утворюються при змішуванні пластових вод із закачаними розчинами, а також продукти корозії підземного обладнання, які попадають у пласт під час глушіння свердловин.

Всі ці чинники призводять до зниження проникності привибійної зони пласта, що проявляється в кінцевому вигляді у збільшенні фільтраційного опору. Розрахунки та промисловий досвід показують, що для якісного освоєння продуктивних пластів у багатьох свердловинах необхідно створювати депресії тиску величиною до 20-30 МПа.

У зв'язку з цим, набувають особливої актуальності дослідження і розробка нових ефективних технологій та технічних засобів відновлення та збільшення продуктивності свердловин шляхом гідроімпульсного впливу на привибійну зону пласта [1, 4].

Розроблено технологію, суть якої полягає в очищенні привибійної зони пласта від кольматанту створенням високих миттєвих депресій та репресій тиску. Гідравлічні імпульси здійснюються після витіснення стисненим газом рідини з обладнаного пакером затрубного простору та стравлення в ньому надлишкового тиску періодичним сполученням і роз'єднанням привибійної зони з затрубним та трубним просторами. Під дією високих миттєвих депресій тиску пластова рідина з великою швидкістю фільтрується з пласта у свердловину, виносячи продукти забруднення, а створення репресій тиску сприяє відкриттю тріщин у породі та руйнуванню кольматанту, полегшуючи його винесення з пласта.

Конструктивні особливості устаткування для реалізації технології дають змогу зняти гідростатичне навантаження та швидкісний напір рідини на рухомі елементи пристрою, що забезпечує можливість створення багаторазових циклів депресій та репресій тиску і, крім того, виключає під час пониження рівня рідини її фільтрацію у продуктивний пласт.

Амплітуда та тривалість гідродинамічних імпульсів зумовлюються величинами пластового та гідростатичного тисків, ступенем кольматції пласта, швидкістю поширення гідродинамічних хвиль і часом вилучення фільтрату та кольматанту з пласта.

В той же час у багатьох свердловинах створення великих депресій та репресій тиску обмежено конструкцією і технічним станом експлуатаційних колон, недостатньою якістю цементного кільця в за колонному просторі, нестійкими породами-колекторами, відсутністю необхідної спеціальної техніки та деякими іншими факторами.

У зв'язку з цим, рекомендується проводити комплексні оброблення привибійної зони пласта, які поєднують гідроімпульсні, теплові та реагентні методи впливу. Розрахунки показують, що в результаті нагрівання нафти та зниження її в'язкості за лінійним законом, напри-

клад, у 2-2,5 рази в привибійній зоні на глибину 1 м, фільтраційний опір цієї зони пласта зменшиться на 18-22%. Підвищення температури у привибійній зоні пласта під час теплових оброблень призведе також до розплавлення твердих органічних кольматантів та інтенсифікує взаємодію різноманітних реагентів між собою та породами. Ці чинники в комплексі значно знизять фільтраційний опір і збільшать швидкість фільтрації, що дасть змогу зменшити величину гідродинамічних імпульсів, необхідних для подальшого очищення пласта.

З іншого боку, здійснення після реагентних оброблень депресійно-репресійного впливу на пласти підвищить ефективність цих методів. Промисловий досвід свідчить, що однією з основних передумов досягнення позитивних результатів є своєчасне видалення продуктів реакції з пласта. Незначна затримка в цьому призводить до повторного випадання їх в осад і ще більшого зниження проникності породи. Тому поєднання термохімічних та інших реагентних оброблень пласта з депресійно-репресійним впливом за рахунок своєчасного і повного видалення продуктів реакції та кольматанту, а також зниження необхідних величин гідродинамічних імпульсів значно підвищить ефективність цих методів порівняно з їх окремих використанням.

Найбільш простими у технологічному відношенні є способи підвищення температури в привибійній зоні, основані на закачуванні у пласт нагрітих рідин, переважно, легких нафт і конденсату, а також насиченої пари. В останньому випадку використовують пересувні парогенератори. Однак розрахунки та промислові дослідження показують, що ефективність застосування цих технологій обмежується глибиною свердловин до 500-800 м. З її збільшенням, внаслідок великих втрат тепла у металевих конструкціях свердловин та масиві гірських порід, теплоагенти приходять на вибір з температурою, яка не відрізняється від пластової.

Застосування з цією метою теплових оброблень з використанням вибійних електронагрівачів більш ефективно, однак і тут мають місце значні втрати тепла, оскільки нагрівання відбувається у свердловині і передача тепла здійснюється через експлуатаційну колону та цементне кільце, які мають велику теплоємність і поглинають більшу частину теплової енергії. Окрім того, існуючі конструкції електронагрівачів не завжди надійно працюють в умовах високих вибійних тисків і контакту з пластовими та робочими рідинами. В основному, по цій причині електронагрівачі в даний час на вітчизняних промислах практично не застосовуються.

Одними з найбільш перспективних є методи теплової дії здійсненням термохімічного впливу на пористе середовище та пластовий флюїд. В основу технологій даного напрямку покладено використання екзотермічних реакцій між різноманітними реагентами. Ці технології можна розділити на дві групи: власне термохімічної та термодисперсійної дії. У першому випадку взаємодія реагентів відбувається з отри-

манням теплового ефекту, який направлений на розплавлення кристалізованого парафіну та асфальто-смолистих речовин, а також зниження в'язкості нафти, у другому – в результаті того, що серед продуктів реагування є кислотні розчини з концентрацією, достатньою для розчинення карбонатних та силікатних компонентів гірських порід, а також привнесених ззовні в пласт механічних домішок, поряд з тепловим ефектом, досягається хімічне розчинення вказаних компонентів. Оскільки кислотний розчин під час таких обробок має високу температуру, то інтенсивність розчинення порід та продуктів забруднення значно зростає.

Найбільш технологічним та ефективним виявився метод, який ґрунтується на взаємодії магнію та соляної кислоти, реакція між якими проходить з екзотермічним ефектом 460,1 кДж/г-моль або 18,9 МДж на 1 кг магнію. Перевагою цього способу є те, що продукти реакції повністю розчиняються у кислоті та не утворюють солей в твердому чи колоїдному стані при взаємодії між собою, породою та пластовими флюїдами.

Застосовується в основному термокислотний варіант цього способу, тобто кількість солянокислотного розчину береться з відповідним надлишком по відношенню до необхідної кількості, визначеної за стехіометричним рівнянням реакції. Розрахунки та експериментальні дані показують, що оптимальна кількість 15% солянокислотного розчину становить в середньому 70-80 л на 1 кг магнію, при цьому температура розчину збільшується на 75-85°C, а концентрація знижується з 15 до 11,0-11,4%. На першому етапі застосування цієї технології використовувались реакційні наконечники, в яких містився прутковий магній, а після встановлення цього устаткування навпроти продуктивного пласта, через наконечник з магнієм прокачували солянокислотний розчин.

Подальший розвиток термохімічних технологій пов'язаний з розробкою способів внутрішньопластових обробок, суть яких полягає в тому, що в процесі гідророзриву в тріщини пласта вводять дрібнодисперсний (порошковий або гранульований) магній з наступним закачуванням солянокислотного розчину [2, 5, 6]. Ці технології мають незаперечну перевагу в тому, що екзотермічна реакція відбувається безпосередньо у пласті, завдяки чому виключаються непродуктивні витрати тепла на нагрів металевих конструкцій вибою свердловини та цементного кільця, а також корозія труб. Крім того, позитивний ефект має і гідророзрив пласта.

В даний час розроблено нові більш ефективні технології, в яких використовуються магній та розбавлена азотна кислота, взаємодія між якими супроводжується ще більшим екзотермічним ефектом (від 552,5 до 722,3 кДж/моль магнію в залежності від умов проходження реакції) [5].

Важливою проблемою в цій технології є висока корозійна активність азотнокислотного розчину. Розбавлена азотна кислота інтенсивно кородує метал, а азотнокисле залізо, що утво-

рюється, гідролізується з випаданням нерозчинної у воді солі. Тому за реалізації цієї технології рекомендується використовувати нейтральні по відношенню до металу реагенти, які взаємодіють у пласті з утворенням відповідних синтезованих кислот. Для утворення, наприклад, соляної кислоти використовують хлорид амонію та формалін, а азотної кислоти – азотнокислий амоній та формалін. Продуктом вказаних реакцій синтезу кислот є також уротропін, який має властивості інгібітора корозії, а також уповільнює швидкість реагування кислот з породою.

Однак технології, які ґрунтуються на використанні дисперсних реагентів, мають суттєвий недолік, який значно звужує область їх застосування. Він полягає в тому, що дисперсні матеріали проникають тільки в тріщини гірських порід, тому реалізація даних технологій можлива лише при проведенні гідророзриву пласта, а це значить, що значна кількість свердловин з геологічних та технічних причин не можуть бути об'єктами для застосування цих технологій. Іншим недоліком внутрішньопластової обробки з застосуванням дрібнодисперсного магнію є складність і значна трудоемкість робіт, притаманні технології гідророзриву пласта.

Враховуючи цей та деякі інші чинники, важливим напрямком розвитку термохімічних методів є розробка технологій з використанням рідких реагентів, перевагою яких є відсутність необхідності здійснення гідророзриву пласта і можливість значно збільшити охоплення обробленням пластів.

Найпростіші технології даного напрямку ґрунтуються на проведенні в продуктивному пласті екзотермічних реакцій між розчинами кислот та лугів [7], однак ці реакції мають незначний питомий тепловий ефект. Технологія, в якій використовується хлорсульфонова кислота [8] дає змогу отримати лише 192,05 кДж/моль тепла і навіть з врахуванням подальшого екзотермічного розчинення у воді утвореної сірчаної кислоти, загальна кількість тепла становить 274,1 кДж/моль. Технологія, в якій використовується реакція між аміаком та хлористим воднем, дає змогу отримати екзотермічний ефект 177 кДж/моль тепла, в іншій запропонованій реакції між аміаком та формаліном, виділяється 368 кДж/моль тепла [3].

Нами розроблено новий технологічний процес з застосуванням рідких реагентів, в якому збільшена кількість тепла і проводиться двократна теплова дія. В основу технології поставлено використання на першому етапі екзотермічної реакції між розчинами реагенту ВН-1 та реагенту ОК-1 і на другому етапі – екзотермічної реакції між продуктом першої реакції – реагентом ВН-2 та реагентом ОК-2.

Реагент ОК-1 у водному розчині – сильний окисник, а реагент ВН-1 володіє відновними властивостями. Він дуже добре розчиняється у воді і випускається промисловістю у вигляді 25% водного розчину. Перша реакція реалізується нагнітанням у свердловину водних розчинів реагентів ВН-1 та ОК-1, які під час змі-

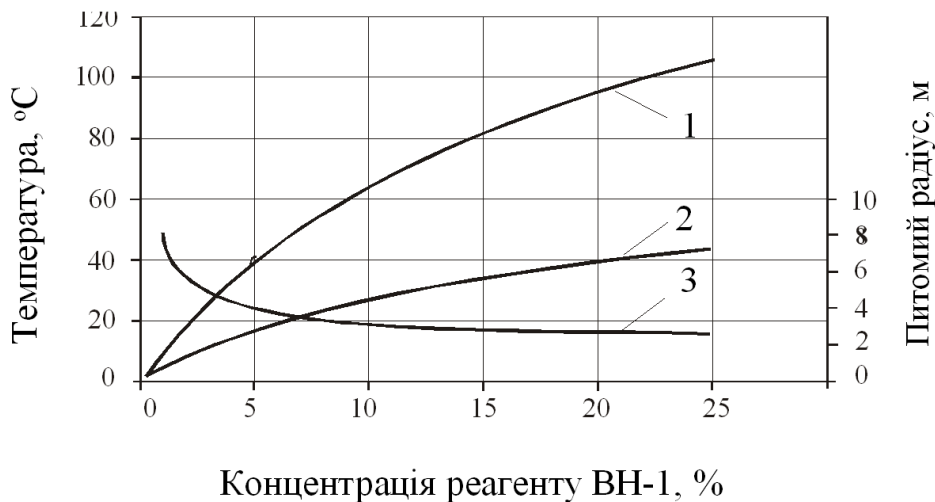


Рисунок 1 — Залежність температури розчину (1) і пласта (2) та питомого радіусу зони оброблення (3) від концентрації реагенту ВН-1 при його реакції з реагентом ОК-1

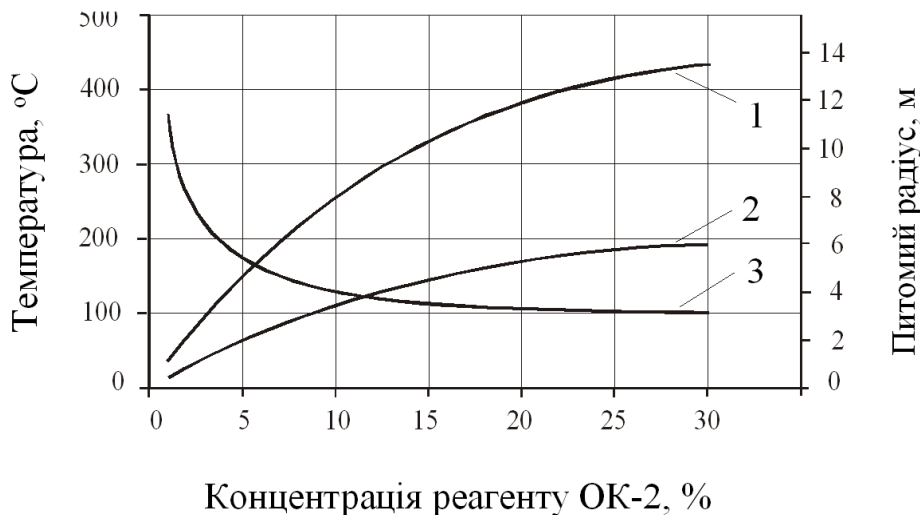


Рисунок 2 — Залежність температури розчину (1) і пласта (2) та питомого радіусу зони оброблення (3) від концентрації реагенту ОК-2 в реакції з реагентом ВН-2

шування на вибої чи в пласті реагують між собою з тепловим ефектом 156,1 кДж/моль. У результаті даної реакції утворюється новий продукт ВН-2, який є сильним відновником. Другу реакцію здійснюють нагнітанням у свердловину реагенту ОК-2, який реагує з реагентом ВН-2, утвореним у результаті першої реакції. Тепловий ефект другої реакції 819,8 кДж/моль, а сумарний ефект обох реакцій 975,9 кДж/моль.

Підвищення температури реакційного середовища на першому етапі за максимальної концентрації реагенту ВН-1 25% становить 105,9°C, а породи – 42,7°C, при цьому питомий радіус оброблення досягне 2,4 м (рис. 1). Другий етап технології супроводжується значно більшим тепловим ефектом і після реагування утвореного реагенту ВН-2 з 30% розчином реагенту ОК-2 температура розчину і пласта підвищиться відповідно на 433,5 та 192,5°C за питомого радіусу впливу 3,2 м (рис. 2). Величину нагрівання пласта, яка визначається для конкретних умов родовища, регулюють зміною концентрації реагентів. Наведені дані одержано

в результаті термохімічних та термодинамічних розрахунків і вони представляють собою теоретично можливі величини.

Лабораторні дослідження на моделі насипного керну, в якому попередньо було утворено парафінові відклади, показали, що після нагнітання реагентів на першому етапі температура у керні підвищилася до 92°C, а після другого етапу – до 176°C і його проникність в подальшому відновилася на 96%.

Переваги розробленої технології двостадійної теплової дії полягають в отриманні значно більшого теплового ефекту і в тому, що відновлення після першого етапу проникності у ближній зоні дає змогу за знижених тисків запомповувати реагенти у віддалену зону кольматації по всій товщині пластів.

Промисловий досвід застосування технології інтенсифікації дебітів нафти і газу в різних нафтопромислових регіонах свідчить, що необхідно детально аналізувати літологофізичні властивості пласта та характер його кольматації в кожній конкретній свердловині.

Тому що високі результати цих робіт забезпечуються не тільки особливостями технологій інтенсифікації, але і ретельним вибором об'єктів впливу. Більшість свердловин розробляють багатопластові об'єкти експлуатації і послідовне закачування реагентів в пласт не гарантує повної їх взаємодії. Ще одним негативним фактором, що має місце при внутрішньопластових обробленнях є те, що реагенти, які закачують в пласт, проникають в основному у найбільш проникні в розрізі інтервали і подальше збільшення їх фільтраційних характеристик призводить до нерівномірного вироблення об'єкту експлуатації, наслідком чого є передчасне обводнення пластів і свердловин. Крім того, враховуючи подорожчання хімічних реагентів, потрібно забезпечувати економне і цілеспрямоване їх використання.

У таких умовах, тобто в багатопластовому експлуатаційному об'єкті, який характеризується значною неоднорідністю порід за проникністю, для направленої дії доцільно використовувати спеціальні вибієнні контейнери-реактори, які встановлюють напроти вибраних інтервалів продуктивного пласта. Конструкція такого вибієнного контейнера-реактора розроблена нами для оброблень багатопластових неоднорідних об'єктів експлуатації [6]. Переваги технології з використанням даного устаткування в тому, що за її реалізації повністю виключаються втрати магнезії за рахунок його гідролізу в свердловинній рідині, а також те, що обробку можна проводити не безпосередньо після спуску контейнеру в свердловину, а пізніше через будь-який час при зниженні продуктивності свердловини. Це означає, що пристрій необхідно опускати в свердловину під час різних ремонтних та профілактичних робіт, пов'язаних зі спуско-підіймальними операціями НКТ, тобто тоді, коли термокислотне або термoxiмічне оброблення на час поточного ремонту не є необхідними, однак їх доцільно буде провести в майбутньому. Під час реалізації даної технології таке оброблення можна буде здійснити без встановлення підіймальних агрегатів і проведення спуско-підіймальних операцій з трубами.

Комплексний підхід необхідний і в процесі проектування та здійснення інтенсифікаційних робіт в обводнених свердловинах. У випадках, коли вміст води в продукції свердловин сягає 60-70% роботи зі збільшення проникності привибійної зони пластів з використанням гідроімпульсних та термoxiмічних методів необхідно проводити, використовуючи технології селективної дії з тимчасовою або постійною ізоляцією високообводнених інтервалів. У цих умовах високу перспективність мають технології, які дають змогу зменшити проникність обводнених інтервалів та одночасно збільшити її в нафтонасичених ділянках пласта. Необхідно відмітити надзвичайно малу кількість відомих технологій, які відповідають поставленій задачі. В якості прикладу можна навести спосіб, в якому використовується екзотермічний ефект взаємодії соляної кислоти з магнезієм в нафтонасичених

пластах і здатність останнього взаємодіяти з пластовою водою з утворенням важкорозчинного осаду гідроксиду магнезії у водонасичених пластах. Подальший напрям удосконалення цієї технології можна пов'язувати з забезпеченням умов для утворення магнезійного цементу, як структури з кращими водоізолюючими властивостями.

Технології комплексної дії на привибійну зону пласта мають суттєві переваги, які полягають не тільки у збільшенні поточних дебітів нафти і газу свердловин, але й у вирівнюванні проникності пластів по вертикальному розрізу об'єкта експлуатації, підвищенні ефективності розробки покладів та нафтовилучення і саме такий підхід доцільно застосовувати в процесі проектування і здійснення інтенсифікаційних робіт у свердловинах, особливо на родовищах, які перебувають на пізній стадії розробки.

Література

- 1 Єгер Д.О. Упорядковане використання методів дії на привибійну зону пластів у процесах нафтогазовидобутку. – К.: Техніка, 2003. – 162 с.
- 2 Бойко В.С., Савенков Г.Д., Дорошенко В.М. Технологические основы и опыт применения внутривластовых термoxiмических обработок // Нефтяная и газовая промышленность. – 1982. – №2. – С. 35-38.
- 3 Патра В.Д., Акульшин О.І., Зарубін Ю.О. Деякі результати впровадження технології термoxiмічної обробки привибійної зони пласта // Нафтова і газова промисловість. – 1998. – №3. – С. 29-31.
- 4 Тарко Я.Б. Аналіз гідродинамічних методів впливу на привибійну зону пласта // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ / ІФТУНГ. – 2001. – Вип. 38. – С. 128-133.
- 5 Тарко Я.Б. Деякі хіміко-технологічні аспекти проведення термокислотних оброблень продуктивних пластів // Вісник Національного технічного університету України „КПІ”. Серія: Гірництво. – 2004. – С. 32-38.
- 6 Тарко Я.Б. Термокислотні та термoxiмічні обробки пласта з застосуванням реакційних контейнерів // Зб. наукових праць УкрНДІгазу. – 2001. – Вип. XXIX. – С. 10-13.
- 7 А.с. 1513988 СССР, МКИ Е 21 В 43/27 Способ термoxiмической обработки призабойной зоны скважины / О.А.Морозов, М.К.Чернов, С.В. Шелемей (СССР). – № 4301232/23; Заявл.16.03.87. ДСП.
8. А.с. 968355 СССР, МКИ Е 21 В 43/27 Способ термoxiмической обработки пласта / С.Б.Шафран, А.П. Шарманов, Н.В. Серебренникова, Л.С. Шафран (СССР). – №3278853/22; Заявл.23.04.81; Опубл. 23.10.82, Бюл. № 39.