

ӨОЖ 622.276.66

ГТАХР 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108652>

Қабылданды: 23.05.2023.

Мақұлданды: 22.06.2023.

Жарияланды: 30.06.2023.

Ғылыми шолу

Мұнайдың қайнау температурасы жоғары фракциясын жару сұйықтығы ретінде қолданып қабатты гидравликалық жару

М.Ә. Машрапова¹, Н. Тілеуберді¹, Д.Ж. Абделі², С.М. Оздоев¹, А.С. Ысқақ²

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институты, Алматы қаласы, Қазақстан

²Сәтбаев Университеті, Алматы қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Негіздеу. Соңғы жылдары Қазақстандағы кенорындардың игерілмеген қорларының құрылымы нашарлап бара жатыр. Қорлардың көп бөлігі өткізгіштігі төмен қабаттар мен сумен ығыстырылмаған аймақтарда орналасқан. Игерудің өнімділігі мен тиімділігіне кері әсер ететін негізгі фактор – мұнай қабаттарының біркелкі еместігі.

Мұнайға қаныққан қабаттар – бұл мұнайға қаныққан құм немесе әктас және су өткізбейтін саз немесе доломит қабаттарының, линзалардың және аралық қабаттардың кезектесуінен тұрады. Қабаттың шегінде 10–20 қабатшалар кездесуі мүмкін, бұл қабаттардың айтарлықтай тілімденгендігін байқатады. Мұнай шоғырларының күрделілігіне байланысты оны толық игеріп алу және айдау ұңғылары арқылы өндіруші ұңғыларға қарай мұнайды сумен толық итеру өту қиын немесе мүмкін емес.

Мақсат. Экономикалық тиімді әдісті пайдаланып, қабаттың мұнайбергiштігін арттыру.

Материалдар мен тәсілдер. Мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерімен қабаттың түбіне әсер ету процестеріне эксперименттік зерттеулер алмас бұрғылауға арналған зертханалық машина, сұйықтың және газдың өткізгіштігін анықтауға арналған қондырғылар, мұнайдың тұтқырлығын анықтауға арналған қондырғылар, сондай-ақ, қабат модельіне жару сұйықтығын айдау қондырғылары арқылы жүргізілді.

Нәтижелер. Мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін қолданып қабатты гидравликалық жару әдісін қолданудың нәтижесінде өткізгіштігі төмен қабаттардың өткізгіштігін арттырып, мұнай өнімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Мұнай кенорындарының геологиялық құрылысына байланысты ұңғы түбіне мұнай ағынының келуін интенсификациялау мақсатында су негізіндегі гельді сұйықтықпен қабатты гидравликалық жару әдісін қолдану тиімсіз болып саналады. Себебі қабат қуыстарында ұзына бойлы молекулалары бар гелдер адсорбцияланады және су негізіндегі жару сұйықтығы коллектордың сазды бөлшектерімен байланысқанда олардың ісінуіне алып келеді.

Негізгі сөздер: қабатты гидравликалық жару, жару сұйықтығы, мұнайдың қайнағыштығы жоғары фракциясы, қабаттың өткізгіштігі, қанығу.

Дәйексөз келтіру үшін:

Машрапова М.Ә., Тілеуберді Н., Абделі Д.Ж., Оздоев С.М., Ысқақ А.С. Мұнайдың қайнау температурасы жоғары фракциясын жару сұйықтығы ретінде қолданып қабатты гидравликалық жару // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2023. 5 том, № 2, 69–80 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108652>.

UDC 622.276.66

CSCSTI 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108652>

Received: 23.05.2023.

Accepted: 22.06.2023.

Published: 30.06.2023.

Review article

Hydraulic fracturing using high-boiling fraction of oil as a fracturing fluid

Moldir A. Mashrapova¹, Nurbol Tileuberdi¹, Dayrabay Zh. Abdeli²,
Sultan M. Ozdoyev¹, Ardak S. Iskak²

¹*Institute of geological sciences of K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan*

²*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

ABSTRACT

Background: In recent years, there has been a trend towards deterioration in the structure of residual reserves at the fields of Kazakhstan. A significant part of the reserves is located in low-permeability reservoirs and in the zones not covered by flooding. The main factor negatively affecting the productivity and efficiency of development is the heterogeneity of oil reservoirs.

Oil-saturated formations are an alternation of permeable oil-saturated sand or limestone and impermeable clay or dolomite layers, lenses and interlayers. Up to 10–20 interlayers can be distinguished within the reservoir, which indicates a strong compartmentalization of the reservoirs. Due to the complexity of the structure of oil deposits, it is very difficult or impossible to ensure complete drainage of the entire volume of the deposit and complete coverage of oil displacement by water into production wells through injection wells.

Aim: Increasing oil recovery in a cost-effective way.

Materials and methods: Experimental studies of the processes of impact on the bottomhole formation zone with high-boiling oil components were carried out using a laboratory machine for diamond drilling, an installation for determining the permeability of a rock in terms of liquid and gas, an installation for determining oil viscosity, and an installation for pumping fracturing fluid into the reservoir model.

Results: As a result of applying the hydraulic fracturing method using high-boiling oil components, it is possible to increase the permeability of low-permeability formations and significantly increase oil recovery.

Conclusion: Due to the geological structure of multi-layer oilfields, water-based gel fracturing fluids to increase oil flow to wells are considered ineffective due to the adsorption of gels with long molecules in the pores of the formation and swelling of the clay particles of the reservoir when they interact with the water-based fluid.

Keywords: *hydraulic fracturing, fracturing fluid, oil fraction with increased boiling-off, formation permeability, saturation.*

To cite this article:

Mashrapova MA, Tileuberdi N, Abdeli DZ, Ozdoyev SM, Iskak AS. Hydraulic fracturing using high-boiling fraction of oil as a fracturing fluid. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2023;5(2):69–80.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108652>.

УДК 622.276.66
МРНТИ 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108652>

Получена: 23.05.2023.

Одобрена: 22.06.2023.

Опубликована: 30.06.2023.

Научный обзор

Гидравлический разрыв пласта с использованием высококипящих компонентов нефти в качестве жидкости разрыва

М.А. Машрапова¹, Н. Тилеуберди¹, Д.Ж. Абдели², С.М. Оздоев¹, А.С. Искак²

¹Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

²Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Обоснование. За последние годы на месторождениях Казахстана наметилась тенденция к ухудшению структуры остаточных запасов. Значительная часть запасов находится в слабопроницаемых коллекторах и в зонах, не охваченных заводнением. Основным фактором, негативно влияющим на продуктивность и эффективность разработки, является неоднородность нефтяных пластов.

Нефтенасыщенные пласты представляют собой чередование проницаемых нефтенасыщенных песчаных или известняковых и непроницаемых глинистых или доломитовых слоев, линз и пропластков. В пределах пласта может выделяться до 10–20 пропластков, что указывает на сильную расчлененность пластов. В связи со сложностью строения нефтяных залежей, очень трудно или невозможно обеспечить полное дренирование всего объема залежи и полный охват вытеснением нефти водой в добывающие скважины через нагнетательные скважины.

Цель. Увеличение нефтеотдачи пласта экономически эффективным способом.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования процессов воздействия на призабойную зону пластов высококипящими компонентами нефти проведены с применением лабораторной машины для алмазного бурения, установки для определения проницаемости горной породы по жидкости и газу, установки для определения вязкости нефти, а также установки для закачки жидкости разрыва в модели пласта.

Результаты. В результате применения метода гидроразрыва пластов с использованием высококипящих компонентов нефти можно повысить проницаемость пластов с низкой проницаемостью и значительно повысить нефтеотдачу.

Заключение. Из-за геологической структуры многопластовых нефтяных месторождений гелевые жидкости гидроразрыва на водной основе с целью увеличения притока нефти к скважинам считаются неэффективными из-за адсорбции гелей с длинными молекулами в порах пласта и набухания глинистых частиц коллектора при взаимодействии их с водной частью.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта, жидкость разрыва, фракция нефти повышенного выкипания, проницаемость пласта, насыщенность.

Как цитировать:

Машрапова М.А., Тилеуберди Н., Абдели Д.Ж., Оздоев С.М., Искак А.С. Гидравлический разрыв пласта с использованием высококипящих компонентов нефти в качестве жидкости разрыва // *Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана*. 2023. Том 5, № 2. С. 69–80.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108652>.

Кіріспе

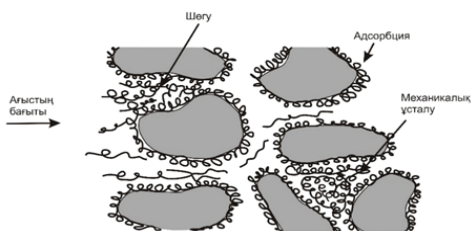
Қабатты гидравликалық жару бүгінгі күні қабаттың мұнай бергіштігін арттырудың ең танымал әдістерінің біріне айналды, бұл әдісті қолдану өткен ғасырдың ортасынан басталды. Бірақ ұзақ уақыт бойы бұл әдіс тәжірибеден бұрын теориялық есептеулерде көбірек қолданылды. Жеңіл өндіріліп алатын мұнай заманында бұл әдіске деген сұраныс болмады. Жағдай өткен ғасырдың соңына қарай өзгерді, яғни қабаттың фильтрациялық-сүзгіштік қасиеті төмен және коллекторы карбонатты кенорындарды игеру барысында белсенді қолдана бастады.

Қабаттардың макробіртекті болмауы өндіруші ұңғыларға қарай мұнайды интенсификациялауға өз әсерін тигізеді. Бұндай жағдайда көбінесе қабатты гидравликалық жару және ұңғыны қышқылмен өңдеу әдістері қолданылады. Қабатты гидравликалық жару технологиясы өндірілетін сұйықтықтың ұңғы түбіне келуін қамтамасыз ету үшін жоғарғы қысымда қабатқа сұйықтық айдай отырып жарықшақтардың жоғары өткізгіштігін туындату болып табылады. Өткізгіштігі төмен қабаттың кенжар аймағында гидравликалық жару жүргізіледі, әрбір қабат үшін жарықшақтардың өлшемдерін олардың өткізгіштіктеріне кері пропорционалды етіп туындатады. Яғни, қабаттардың өткізгіштігі қаншалықты төмен болған сайын жарықшақтардың ені мен тереңдігі соғұрлым жоғары және керісінше болады. Су негізіндегі жару сұйықтығы қабаттағы сазды бөлшектермен әрекеттескенде олардың ісінуіне алып келетіні мәлім.

Қазіргі уақыттағы қолданылатын су негізіндегі сұйықтық рецептурасы қолданылатын судың сапасына, әсіресе, судың құрамындағы темір, кальций және магний иондарына өте сезімтал [1]. Осының әсерінен процессті жүргізу кезінде тауарлық минералданған суды қолдану мүмкін болмайды. Сондықтан, кейбір кезде бірнеше километрден тұщы су тасылады. Қолданылатын тұщы су саздардың ісінуі мен миграциялануына алып келетіндіктен қабатты гидравликалық жару процесінің тиімділігін төмендетеді. Саздарды тұрақтандыру үшін тұщы судың құрамына катионбелсенді беттік-белсенді заттар мен калий хлоридін қосады және ол қосымша шығынды талап етеді.

Суға қанығуы жоғары қабаттарда қабатты гидравликалық жаруды жүргізу қиындық тудырады. Қабатты гидравликалық жаруды жүргізу кезінде материалдық шығындардың жоғары болуы себебінен ұңғы өнімінің сулануы экономикалық жағынан тиімсіз.

Қабатты гидравликалық жаруды жүргізгеннен кейінгі ұңғының сулануының тағы бір себебі, ол өнімді қабаттың қалыңдығының аз болуы және суға қаныққан қабатшалардың жақын орналасуы. Сонымен қоса, жарықшақтарды туындату кезінде өнімді қабатты суға қаныққан қабаттан бөліп тұратын экранның тұтастығы жойылуы мүмкін және судың қозғалысы жоғары болғандықтан ұңғы өнімінің сулануына алып келетін сулану конусының пайда болуы мүмкін.



Сурет 1. Су негізіндегі гельді сұйықтықтың қабаттағы әрекеті

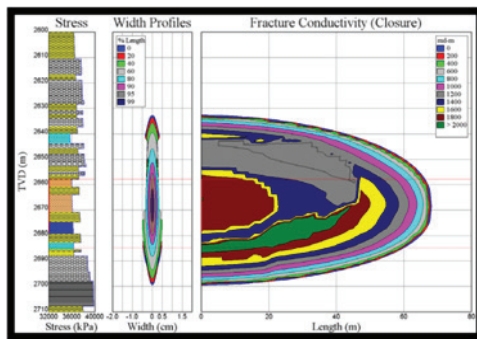
Figure 1. Action of water-based gel fluid in the reservoir

Ұңғының сулануын болдырмау үшін қазіргі кезде қабатты гидравликалық жаруды жүргізу кезінде және жүргізуден бұрын да сукелімін оқшаулау технологиясы өңделіп жатыр және қолданылады. Бірақ, қолданылатын технология қабатты гидравликалық жаруды жүргізудің алдында оқшаулайтын материалдың көп бөлігін айдауды талап етеді. Бұл экономикалық жағынан тиімсіз, іріктеп алуды қамтамасыз етпейді (цементті ерітінді) немесе қолдану үшін өте күрделі болып табылады [1].

Бұл жұмыста [2] Батыс Сібір ұңғымаларында қабаттың гидравликалық жарылуы қарастырылған. Гидравликалық жару су негізінде де, мұнай негізінде де жүргізілген. Көп жағдайда қосымша өндірілген өнімнің көлемі су негізіндегі өңдеуге қарағанда, мұнай негізіндегі өңдеуден кейін көп болған. Қабатты гидравликалық жару кезінде жару сұйықтықтарын қолдану жарықшақтардың

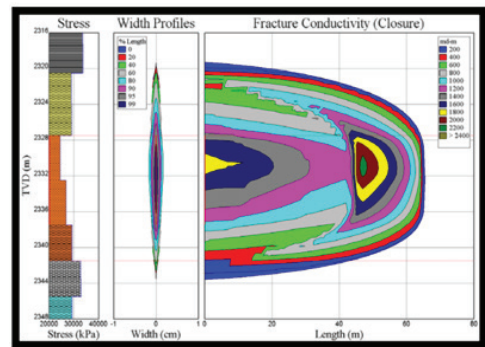
геометриясын бақылауға мүмкіндік берген және қабаттың сұйықтықтарға деген сезімталдығы мәселесін жойған. Мұнаймен өңдеуден кейін жарықшақтардың биіктігінің сақталуына байланысты суланудың айтарлықтай төмендеуіне қол жеткізілген.

2-суретте гидравликалық жаруды модельдеудің нәтижесінде су негізіндегі жару сұйықтықтарын қолданып қабатты гидравликалық жарудан кейінгі пайда болған жарықшақтар BP-11-1 зонасының сыртына шығып кеткені көрсетілген. 2659 және 2680 м тереңдіктегі саздар



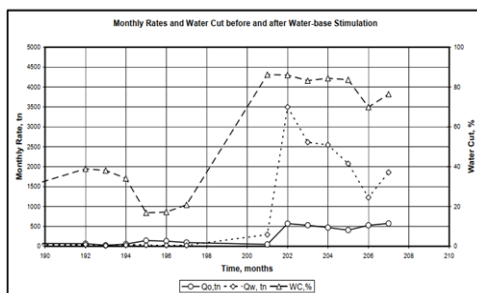
Сурет 2. BP-11-1 зонасында су негізіндегі сұйықтықпен жару кезіндегі жарықшақтардың өткізу қабілеті мен кернеу қимасы

Figure 2. Fracture flow capacity and stress cross section during explosion with the use of a water-based liquid in zone BP-11-1



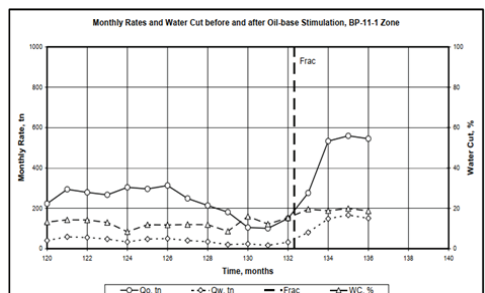
Сурет 3. BP-11-1 зонасында мұнай негізіндегі сұйықтықпен жару кезіндегі жарықшақтардың өткізу қабілеті мен кернеу қимасы

Figure 3. Fracture flow capacity and stress cross section during explosion with the use of an oil-based liquid in zone BP-11-1



Сурет 4. BP-11-1 зонасында су негізіндегі сұйықтықпен жаруға дейінгі және кейінгі мұнай мен судың дебиті және сулануы Figure 4. Production rate and wetting of oil and water before and after the explosion with the use of a water-based liquid in zone BP-11-1

Мұнай негізіндегі жару сұйықтығын пайдалана отырып қабатты гидравликалық жару кезінде судың таралу қаупін азайту үшін Сібір шикі мұнайындағы асфальтендер мен судың жоғары деңгейіне төтеп бере



Сурет 5. BP-11-1 зонасында мұнай негізіндегі сұйықтықпен жаруға дейінгі және кейінгі мұнай мен судың дебиті және сулануы Figure 5. Production rate and wetting of oil and water before and after the explosion with the use of an oil-based liquid in zone BP-11-1

алатын, проппантты біркелкі тасымалдауға қабілетті, тұтқырлығы әдеттегіден төмен болатын негізгі сұйықтықты қолдану арқылы арнайы жасалды. 4-суретте BP-11-1 бор қабатында жүргізілген

гидравликалық жаруды модельдеудің нәтижесі көрсетілген. Жарықшақтың профилі жарықшақтың аймақ ішінде екенін көрсетті. Ұңғыманы стимуляциялауға дейін және одан кейін мұнай мен судың орташа айлық шығыны мен ұңғыманың сулануы 5-суретте көрсетілген. Стимуляциялаудан кейін судың аздап өсуі байқалған. Мұнай өндіру орташа есеппен айына 400 т-ға артқан.

Базалық сұйықтықтың құнын есептемегенде, мұнай негізіндегі өңдеу операторға жұмыс құнының орта есеппен 35% үнемдеді. Бұл негізінен жұмыс көлемінің азаюына және судың азаюына байланысты болады.

Көмірсутекті гелдердің реологиялық сипаттамалары көмірсутектердің құрылысына, ал жару сұйықтығының қасиетін бастапқы шикізаттың құрамын өзгерту арқылы алуға болады. Алайда, қазіргі уақытта гидравликалық жаруды жүзеге асырмас бұрын, өндіруші ұңғымалардың түбіне судың келуін шектеу үшін су келімін оқшаулау шаралары жүргізілмейді. Сонымен қатар, ұзын молекулалары бар гел түзуші композициялар негізіндегі жару сұйықтары пайда болған жарықшақтарға пропант-бекітушіні айдағаннан кейін жыныстың кеуектерін бекітіп тастауы және ұңғы түбі аймағының өткізгіштігін айтарлықтай төмендетуі мүмкін.

Мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттері негізінде қабатты гидравликалық жару процестерінің заңдылықтары

Қабаттардың макробіртекті болмауы өндіруші ұңғыларға қарай мұнайды интенсификациялауға өз әсерін тигізеді. Бұндай жағдайда көбінесе қабатты гидравликалық жару және ұңғыны қышқылмен өңдеу әдістері қолданылады. Қабатты гидравликалық жару технологиясы өндірілетін сұйықтықтың ұңғы түбіне келуін қамтамасыз ету үшін жоғарғы қысымда қабатқа сұйықтық айдай отырып жарықшақтардың жоғары өткізгіштігін туындату болып табылады. Өткізгіштігі төмен қабаттың кенжар аймағында гидравликалық жару жүргізіледі, әрбір қабат үшін жарықшақтардың өлшемдерін олардың өткізгіштіктеріне кері пропорционалды етіп туындатады. Яғни, қабаттардың өткізгіштігі қаншалықты төмен болған сайын жарықшақтардың ені мен тереңдігі соғұрлым жоғары және

керісінше болады. Су негізіндегі жару сұйықтығы қабаттағы сазды бөлшектермен әрекеттескенде олардың ісінуіне алып келетіні мәлім.

Су негізіндегі гелді жару сұйықтығы ретінде қолданудың мынадай бірнеше кемшіліктері бар:

1) Өзіндік құны жоғары гелді қоспаларды қосуды қажет етеді;

2) Айдалатын судың құрамына байланысты қабат суының және мұнайының физикалық-химиялық қасиеттеріне қарай тазартуды немесе тұщы суды басқа жақтан тасымалдауды талап етеді;

3) Қабаттың температурасының жоғары болуына байланысты жару сұйықтығының құрамындағы гел өз қасиетін жоғалтып, тиімділігі төмендеуі мүмкін;

4) Жоғары қысымда айдалған су тармақталған жарықшақтарды тудырмай, кернеуі аз бағытпен ұзына бойлы бір ғана жарықшақ тудыруы мүмкін;

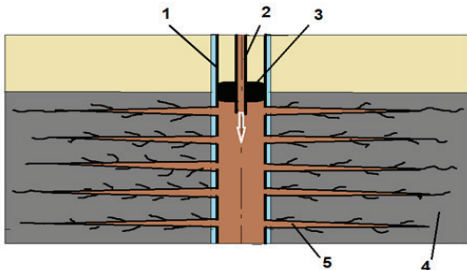
5) Жару сұйықтығын ұңғыдан шығару кезінде су негізіндегі жару сұйықтығының құрамындағы гел қабатта қалып қойып, өткізгіштікті нашарлатуы мүмкін [3–5].

Біз көміртегі молекуласында атомдар саны ≥ 8 қайнау температурасы жоғары мұнайдың компоненттері және қышқыл қоспасы негізіндегі жару сұйықтығын қолданып қабатты гидравликалық жарудың жаңа әдісін ұсынып отырмыз. Мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттері негізіндегі жару сұйықтығы өндірістік жағдайда қымбат емес құрылғылар арқылы алынған кенорнының газсыздандырылған мұнайынан алынатындықтан өзіндік құны төмен болады. Су негізіндегі жару сұйықтығына қосылатын өзіндік құны жоғары ешқандай қоспаларды қосуды қажет етпейді. Су негізіндегі жару сұйықтығы мұнайлы қабаттағы жоғары температурада өз қасиетін жоюы мүмкін, ал мұнайды қайнау температурасы жоғары компоненттері негізіндегі жару сұйықтығы жоғары температураға тұрақты келеді. Су негізіндегі жару сұйықтығына қарағанда фильтрациялану қасиеті төмен болғандықтан, коллекторлы жыныстардағы қуыстар мен капиллярлы түтікшелерге еніп, оларды біртекті жаруға қабілетті болады [6, 7].

Сонымен қатар, көміртегі негізіндегі гидрожару сұйықтығы бар екендігі бәріне аян. Гидрожару сұйықтығының бұл типіне қоюлатылған мұнай, инвертті

эмульсиялар, мицеллярлы ерітінділер және көлденең біріктірілген гельдер жатады. Көміртегі негізіндегі жару сұйықтықтарының тұтқырлығын арттыру үшін карбонатты қышқылдардың алюминді тұздары қолданылды. Соңғы жылдары мұнай негізіндегі гелді алу үшін оларды алюминий фосфатының эфирімен алмастырды. Алайда, оларды дайындау қиын және тиімділігі төмен болғандықтан сирек қолданады [8].

Көміртегі молекуласында атомдар саны $\geq C8$ қайнау температурасы жоғары мұнайдың компоненттері және қышқыл қоспасы негізіндегі жару сұйықтығын қолданып қабатты гидравликалық жаруды жүргізудің технологиясы келесідей. Дайындау жұмыстарынан кейін гидро-жаруды жүргізбес бұрын алдымен ұңғыны басу үшін құбыр аралық кеңістігіне 1 (сурет 6) ұңғының 2–2,5 көлеміндегі болатын сұйықтық толтырылады. Ұңғыға насосы-компрессорлы құбыр 2 түсіріледі және кенжар аймақтың жоғарғы бөлігіне пакер 3 орнатылады. Процесс кезінде технологиялық сұйықтықтар мұнайлы қабатқа 4 келесідей реттілікпен айдалады – жару сұйықтығы (көміртегі молекуласында атомдар саны $\geq C8$ мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттері), қышқыл ерітіндісі және басу сұйықтығы (газсыздандырылған мұнай).



Сурет 6. Көміртегі молекуласында атомдар мөлшері $\geq C8$ болатын мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін және қышқыл қоспаларын қолданып қабатты гидравликалық жару технологиясын жүргізудің сызбасы

Figure 6. The scheme of hydraulic fracturing technology using components with a high boiling point of oil and acid mixtures with a content of atoms $\geq C8$ in a carbon molecule

Ұңғыға мұнайдың қайнау температурасы мен тұтқырлығы жоғары ком-

поненттерін қабатқа жоғары қысыммен айдағаннан кейін жаңа жарықшақтар (5) пайда болады және қабаттағы бұл әдісті жүргізуден бұрын бар болған жарықшақтар мен қуыстар кеңейеді. Жарықшақтар мен қуыстардың пайда болуы және қабат болған жарықшақтардың кеңеюі ұңғыға жару сұйықтығын жер беттік жағдайда айдағанда қабаттағы қысым жергілікті тау қысымынан жоғары болған жағдайда мүмкін болады. Ұңғының кенжарындағы ҚГЖ қысымы келесі формуламен анықталады:

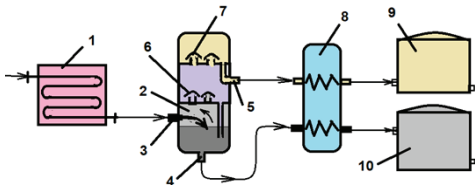
$$P_{\text{кенж}} = p_{\text{тау}} + \sigma_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}}gh + \sigma_{\text{ж}} \quad (1)$$

мұндағы $\sigma_{\text{ж}}$ – өнімді қабат жыныстарының жарылуға беріктік шегі, МПа; $p_{\text{тау}}$ – тау қысымының шамасы, $\rho_{\text{ж}}$ – тау жыныстарының тығыздығы, h – қабаттың тереңдігі.

Мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін қарапайым бір сатылы бөліп алу тәсілі

Мұнай сапасының маңызды көрсеткіші оның фракциялық құрамы болып табылады. Әрбір фракция қайнаудың басталу және аяқталу температураларымен сипатталады. Біз, компоненттерінің қайнау температурасының айырмашылығына негізделген, газсыздандырылған мұнайды бір сатылы айдау арқылы алудың қарапайым әдісін жасадық [9]. Әдіс келесідей жүзеге асырылады.

Газсыздандырылған мұнай құбырлы пешке келіп түседі де (сурет 7) 200–220°C дейін қыздырылады және екі фракцияға, яғни сұйық және газды фракцияларға бөлінуі үшін 2 құрылғыға бағытталады. Құрылғыда кіретін 3 және шығатын 4 және 5 келте құбырлар және мұнай фракциясының конденсациясы жүретін отверстиялармен бірге екі қатарлы горизонтальды кедергілер – тарелкалар 6 және 7 бар. Жоғарыда орналасқан тарелкаларда қайнау температурасы 200°C төмен және көміртегі молекуласында атомдар саны $< C8$ болатын жеңіл фракциялар, ал төменгі тарелкаларда – қайнау температурасы 200°C жоғары және көміртегі молекуласында атомдар саны $\geq C8$ болатын компоненттер жинақталады. Бұл екі фракция конденсаторға 8 келіп түседі де, онда суытылады және одан ары резервуарларға 9 және 10 бағытталады.



Сурет 7. Көміртек молекуласында атомдар мөлшері ≥ 8 болатын мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін бөліп алудың технологиялық сызбасы

Figure 7. Technological scheme for the separation of high-temperature oil components with a content of atoms ≥ 8 in a carbon molecule

1 – құбырлы пеш / tubular furnace; 2 – қыздырылған мұнайды сұйық және газды фракцияларға бөлетін құрылғы / installation for separating heated oil into liquid and gas fractions; 3 – қыздырылған мұнайды технологиялық құрылғыға өткізетін келте құбыр / a pipe for introducing heated oil into the technological installation; 4 – мұнайдың қайнау температурасы төмен компоненттерін шығаруға арналған келте құбыр / a pipe for outputting low-boiling components of oil; 5 – мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін шығаруға арналған келте құбыр / a pipe for outputting high-boiling components of oil; 6 – төменгі тарелкалар / lower plates; 7 – жоғарғы тарелкалар / upper plates; 8 – конденсатор / condenser; 9, 10 – резервуарлар / tanks

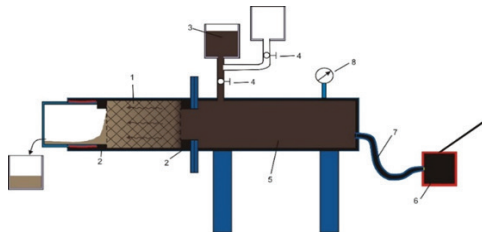
Сондықтан, қабатты гидрожару кезіндегі ең тиімді жару сұйықтығы көміртек молекуласында атомдар мөлшері ≥ 8 болатын мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттері болып табылады. Бұл сұйықтықты өндірістік жағдайда газ-сыздандырылған мұнайдан алуға болады.

Эксперименталды талдаулар

Лабораториялық жағдайда қабатты мұнай негізіндегі сұйықтықпен жару барысы мынадай кезеңдермен жасалынады. Бірінші кезекте арнайы алмазды коронка арқылы экспериментке қажетті керн дайындалып алынады. Алынған керннің қуыстарындағы шаң-тозаңды тазарту үшін кернді арнайы құрылғыға салып, компрессордың көмегімен жоғарғы қысымда ауа жіберу арқылы тазартады. Тазартылған керннің салмағы аналитикалық лабораториялық таразы арқылы өлшеніп алынады.

Қондырғыға салынған керн резбалы трубамен мықтап бекітіледі. Қондырғының бас жағында орналасқан мұнай құятын ыдысқа (3) жеңіл мұнай толтырылып, ашып-жабылатын кран арқылы (4)

мұнайды төмен қарай ағызамыз. Сол арқылы мұнай жиналатын кеңістік (5) мұнаймен толтырылады. Керн (1) мен мұнаймен толтырылған кеңістіктің (5) арасында шектеу болмайды. Одан кейін, қол насосының көмегімен (6) мұнай толтырылған кеңістіктің арасындағы түтікше (7) арқылы жоғары қысымда жеңіл мұнайды кернге қарай итереді. Қол насосы арқылы берілген жоғары қысым мұнай толтырылған кеңістіктің үстінде орналасқан манометр (8) арқылы өлшенеді.



Сурет 8. Лабораториялық жағдайда кернді қою мұнаймен жару қондырғысының сызбасы

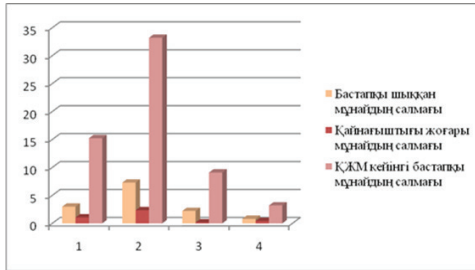
Figure 8. Scheme of installation for core blasting with thick oil in laboratory conditions

1 – керн / core; 2 – кернді қысып ұстап тұратын резинке / core support rubber; 3 – мұнай құятын ыдыс / oil tank; 4 – ашып-жабылатын кран / ball valve; 5 – мұнай жиналатын кеңістік / oil filled; 6 – қол насосы / hand pump; 7 – мұнай толтырылған кеңістіктің арасындағы түтікше / pipe; 8 – манометр / manometer

Кернге жеңіл мұнайды жоғары қысымда итеру уақыты және керннен шыққан мұнайдың салмағы арнайы журналға жазылып алынады, сонымен қатар, жұмыс аяқталғаннан кейін қондырғыдағы кернді шешіп алып арнайы аналитикалық зертханалық таразыда өлшеп, мәліметтері арнайы журналға жазылып алынады. Алынған мәліметтерді есептеу арқылы керннің кеуекті қуыстарындағы жеңіл мұнаймен итеру нәтижесінде алынған мұнайдың салмағы анықталады. Жеңіл мұнаймен итеру жұмысы аяқталған соң, дәл осындай ретпен кернді қайнау температурасы жоғары мұнаймен, одан кейін жеңіл мұнайды қайта итеру жұмыстары жүргізіледі.

Жүргізілген эксперименталды зерттеулер нәтижелері бойынша бастапқы шыққан мұнайдың салмағы әрқайсы керндер бойынша сәйкесінше 3, 7,3, 2,23, 0,82 болады, мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерінің

салмақтары сәйкесінше 1,06, 2,36, 0,18, 0,42 болады, ал ҚЖМ-дан кейінгі бастапқы мұнайдың салмағы 15,24, 33,21, 9,10, 3,21 болады (сурет 9).



Сурет 9. ҚЖЖ жүргізу барысындағы шыққан мұнайдың көлемдері

Figure 9. Waste oil volumes during hydraulic fracturing

Мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін айдауға дейінгі және айдаудан кейінгі керннің өткізгіштік коэффициенті 1-кестеде көрсетілген және келесі формуламен анықталды:

$$K_{\text{пр}} = \frac{QML}{[10F(P_1 - P_2)]} \quad (2)$$

Кесте 1. Керннің өткізгіштік коэффициенті
Table 1. Core conductivity coefficient

Керннің № Core No.	Бастапқы мұнайды айдағаннан кейінгі өткізгіштік коэффициенті, мкм ² Permeability coefficient after primary oil pumping, μm ²	Мұнайдың қайн. темп. жоғ. компонент айдағаннан кейінгі өткізгіштік коэффициенті, мкм ² Permeability coefficient after pumping components with high oil boiling point, μm ²
1	1,71	8,59
2	4,17	18,96
3	1,27	5,03
4	0,44	1,77

Жасалған эксперименталды зерттеулер нәтижелерінен керннің өткізгіштігін бастапқыға қарағанда қабатты минигидравликалық жарудан кейін бірнеше есеге арттырғандығын көруге болады. Демек, қабаттық жағдайда мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін қолданып минигидравликалық жару әдісі жүргізуге болады.

Эксперименталды зерттеулер жүргізу арқылы алынған мәліметтердің нәтижесі мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін қолданып қабатты жару тәсілін Арыстан кенорнының қабаттық жағдайында қолданып, қабаттың мұнай бергіштігін және ұңғының өнімділігін арттыруға зор мүмкіндік береді. Арыстан кенорнының мұнайының қабаттағы тұтқырлығы 4–12 мПа*с болса, эксперименталды алынған мұнайдың ауыр фракциясының қабаттық температурадағы тұтқырлығы 57 мПа*с құрайды. Бұл жару сұйықтығы ретінде мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін қолдану тиімді екенін көрсетеді [10, 11].

Қорытынды

Өткізгіштігі біркелкі емес және өткізгіштігі бойынша айтарлықтай ерекшеленетін көпқабатты кенорындарындағы мұнайдың біркелкі ығысуын қамтамасыз ету, сондай-ақ қабаттарды бір объектіге біріктіру үшін өткізгіштігі төмен қабаттардан ұңғыларға қарай мұнайдың жылжуын интенсификациялаудың заманауи әдістерін таңдамалы түрде жүргізуге болады.

Құрамында көміртегі атомы $\geq C8$ болатын мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерінің қайнау температураларының айырмашылығы негізінде газсыздандырылған мұнайды бір сатылы айдауға арналған екі секциялы қондырғыны пайдалану арқылы алудың жаңа әдісі әзірленді. Көміртегі атомдары $\geq C8$ мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттері кенорнында газсыздандырылған мұнайдан алуға болатын ең тиімді гидравликалық жару сұйықтығы болып табылады. Себебі бұл жару сұйықтығы арқылы сумен жару кемшіліктері жойылады.

Мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттерін қолданып, гидрожаруды жүргізу ұңғылардың өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл ығысуды тездетуге септігін тигізеді. Жоғары қысыммен тұтқырлығы жоғары мұнайдың қайнау температурасы жоғары компоненттері өткізгіштігі төмен қабаттардың тереңдігінде жеткілікті ұзына бойлы жарықшақтар тудыруы мүмкін.

ҚОСЫМША

Қаржыландыру көзі. Авторлар зерттеуге сыртқы қаржыландыру жоқ екенін мәлімдейді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар осы мақаланы жариялауға байланысты айқын және ықтимал мүдделер қақтығысының жоқтығын жариялайды.

Авторлардың қосқан үлесі. Барлық авторлар өздерінің авторлығының ICMJE халықаралық критерийлеріне сәйкестігін растайды (барлық авторлар тұжырымдаманы әзірлеуге, зерттеу жүргізуге және мақаланы дайындауға айтарлықтай үлес қосты, жарияланғанға дейін соңғы нұсқасын оқып, мақұлдады). Ең үлкен үлес келесідей бөлінді: Машрапова М.Ә. – зерттеу тұжырымдамасы, оны жүргізу және қолжазбаны редакциялау, Тілеуберді Н., Абделі Д.Ж. – тампонаждық материалдардың соққыға төзімділігін соққы тұтқырлығының шамасы бойынша бағалау әдістемесі, Оздоев С.М., Ысқақ А.С. – зерттеу деректерін жинау, талдау, түсіндіру.

ADDITIONAL INFORMATION

Source of funding. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication). The greatest contribution is distributed as follows: Moidir A. Mashrapova – the concept of the study, its conduct and editing of the manuscript; Nurbol Tileuberdi, Dayrabay Zh. Abdeli – methodology for assessing the impact resistance of plugging materials by the magnitude of impact strength; Sultan M. Ozdoyev, Ardak S. Iskak – collection, analysis and interpretation of research data.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Магадова Л.А.* Разработка жидкостей разрыва на водной и углеводородной основах и технологий их применения для совершенствования процесса гидравлического разрыва пласта : дисс. ... докт. техн. наук. Москва, 2007. Режим доступа: <https://www.disserscat.com/content/razrabotka-zhidkosti-razryva-na-vodnoi-i-uglevodorodnoi-osnovakh-i-tehnologii-ikh-primenenen>. Дата обращения: 20.04.2023.

2. *Elgassier M.M., Stolyarov S.M.* Reasons for Oil-Based Hydraulic Fracturing in Western Siberia // SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control held in Lafayette; 2008 Feb 13–15; Louisiana, U.S.A. Режим доступа: <https://onepetro.org/SPEFD/proceedings-abstract/08FD/All-08FD/SPE-112092-MS/145829>. Дата обращения: 12.03.2023.

3. *Баймаханов Г.А., Машрапова М.А., Тілеуберді Н.* Исследование работ по проведению гидроразрыва пластов // Materials of the XI international scientific and practical conference «Science without borders»; Technical Sciences, Volume 24, March 30 – April 7, 2015. Sheffield, England. http://www.rusnauka.com/13_NBG_2015/Tecnic/10_191463.doc.htm

4. *Магадова Л.А., Михайлов С.А., Магадов В.Р.* Исследование долговременной проводимости проппантов различных производителей. Научно-технический отчет. РГУ им. И.М. Губкина. Москва, 2011. Грант British Petroleum.

5. *Меликбеков А.С.* Теория и практика гидравлического разрыва пласта. Москва : Недра, 1967.

6. *Оздоев С.М., Машрапова М.А.* Повышение нефтеотдачи продуктивных горизонтов Арыстановского месторождения // Научно-технический журнал «Нефть и газ». 2017. №6(102). С. 88–96.

7. *Абделі Д.Ж., Оздоев С.М., Конторович А.Э., Машрапова М.А.* Зертханалық жағдайда қабатты гидравликалық жару әдісін зерттеу // ҚазҰТЗУ Хабаршысы. 2019. №1(131). С. 207–212.

8. *Vaimakhanov G., Koishybaev A., M.A. Mashrapova, Tileuberdi N.* Highly pressurized hydraulic fracturing fluid behavior in oil-bearing rocks // Int. J. Chem. Sci. 2015. 13(2). P. 963–970.

9. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. Уфа : Изд. «Гилем», 2002.

10. Ozdoyev S.M., Mashrapova M.A. Geological structure and methods of increasing oil recovery of the productive horizons of the Arystan deposit // News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2017. Vol. 4, № 424. P. 270–275.

11. Mashrapova M.A., Zholtayev G.Z., Abdeli D.Z., et al. Improvement of hydraulic facing method to increase wells productivity // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2021. № 4(448). P. 124–129.

REFERENCES

1. Magadova LA. Razrabotka zhidkostey razryva na vodnoy i uglevodorodnoy osnovakh i tekhnologii ikh primeneniya dlya sovershenstvovaniya protsessa gidravlicheskogo razryva plasta [dissertation]. Moscow; 2007. Available from: <https://www.dissercat.com/content/razrabotka-zhidkosti-razryva-na-vodnoi-i-uglevodorodnoi-osnovakh-i-tekhnologii-ikh-primenenen>. (In Russ).

2. Elgassier MM, Stolyarov SM. Reasons for Oil-Based Hydraulic Fracturing in Western Siberia. SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control held in Lafayette; 2008 Feb 13–15; Louisiana, U.S.A. Available from: <https://onepetro.org/SPEFD/proceedings-abstract/08FD/All-08FD/SPE-112092-MS/145829>.

3. Baimakhanov GA, Mashrapova MA, Tileuberdi N. Study of hydraulic fracturing. Materials of the XI international scientific and practical conference «Science without borders»; Technical Sciences, Volume 24, March 30 – April 7, 2015. Sheffield, England. http://www.rusnauka.com/13_NBG_2015/Tecnic/10_191463.doc.htm

4. Magadova LA, Mikhailov SA, Magadov VR. Study of the long-term conductivity of proppants from various manufacturers. Scientific and technical report. Gubkin University. Moscow, 2011.

5. Melikbekov AS. *Theory and practice of hydraulic fracturing*. Moscow: Nedra; 1967.

6. Ozdoyev SM, Mashrapova MA. Enhanced oil recovery of the productive horizons of the Arystanovskoye field. *Scientific and technical journal "Oil and Gas"*. 2017;6(102):88–96.

7. Abdeli DJ, Ozdoyev SM, Kontorovich AE, Mashrapova MA. Study of the method of hydraulic fracturing of layers in laboratory conditions. *Bulletin of KazNRTU*. 2019;1(131):207–212.

8. Baimakhanov G, Koishybaev A, Mashrapova MA, Tileuberdi N. Highly pressurized hydraulic fracturing fluid behavior in oil-bearing rocks. *Int. J. Chem. Sci.* 2015;13(2):963–970.

9. Akhmetov SA. Technology of deep processing of oil and gas. Ufa: Ed. "Guilem", 2002.

10. Ozdoyev SM, Mashrapova MA. Geological structure and methods of increasing oil recovery of the productive horizons of the Arystan deposit. *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 2017;4(424):270–275.

11. Mashrapova MA, Zholtayev GZ, Abdeli DZ, et al. Improvement of hydraulic facing method to increase wells productivity. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2021;4(448): 124–129.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

*Машрапова Мөлдір Әбдімүсілімқызы

PhD

ORCID: 0000-0002-6009-9730

Scopus Author ID: 56721302700

WoS Researcher ID: AAD-4825-2020

e-mail: moldir_m_m@mail.ru.

Тілеуберді Нұрбол

PhD

AUTHORS' INFO

*Moldir A. Mashrapova

PhD

ORCID: 0000-0002-6009-9730

Scopus Author ID: 56721302700

WoS Researcher ID: AAD-4825-2020

e-mail: moldir_m_m@mail.ru.

Nurbol Tileuberdi

PhD

ORCID: 0000-0003-0781-2434
Scopus Author ID: 57195378526
e-mail: *nureke-17@mail.ru*.

Абделі Дайрабай Жұмаділұлы

техн. ғыл. докт,

Scopus Author ID: 57200382346

e-mail: *d.abdeli@mail.ru*.

Оздоев Сұлтан Мәжітұлы

геол.-мин. ғыл. докт,

ORCID: 0000-0003-0262-1583

Scopus Author ID: 57195382978

e-mail: *ozdoyevsultan@mail.ru*.

Ысқақ Ардақ Серғазықызы

PhD

Scopus Author ID: 56826148100

e-mail: *a.yskak@satbayev.university*.

ORCID: 0000-0003-0781-2434

Scopus Author ID: 57195378526

e-mail: *nureke-17@mail.ru*.

Dayrabay zh. Abdeli

D. Sc. (Engineering),

Scopus Author ID: 57200382346

e-mail: *d.abdeli@mail.ru*.

Sultan M. Ozdoyev

D. Sc. (Geology and Mineralogy),

ORCID: 0000-0003-0262-1583

Scopus Author ID: 57195382978

e-mail: *ozdoyevsultan@mail.ru*.

Ardak S. Iskak

PhD

Scopus Author ID: 56826148100

e-mail: *a.yskak@satbayev.university*.

*Корреспондент автор/Corresponding Author