УДК 665.7.038.64; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-3.14
https://orcid.org/0009-0001-7327-7575
https://orcid.org/0000-0003-3323-8245
https://orcid.org/0009-0000-5675-3018
https://orcid.org/0000-0001-9045-0838
https://orcid.org/0000-0003-1859-5551

МҰНАЙДЫҢ ҚҰБЫРІШІЛІК АҒЫНЫН КҮШЕЙТУГЕ АРНАЛҒАН ФУНКЦИОНАЛДЫ ҚОСПАЛАР

Д.Б. АМАНТАЕВА[1],
докторант,
diana.nurdaulet@mail.ru

К.С. НАДИРОВ[1],
химия ғылымдарының
докторы, профессор,
nadirovkazim@mail.ru

Н.А. КАДЫРОВ[2],
техника ғылымдарының
докторы, доцент,
abdusamig@rambler.ru

Ж.К. НАДИРОВА[1], техника ғылымдарының кандидаты, профессор, *zhanna.nadirova@inbox.ru*
А.К. ОРЫНБАСАРОВ[1], химия ғылымдарының кандидаты, профессор, *11ars@list.ru*

[1]М.ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ
Қазахстан Республикасы, 160012, Шымкент, Тауке хан даңғылы, 5

[2]ИСЛАМ КАРИМОВ АТЫНДАҒЫ ТАШКЕНТ ТЕХНИКАЛЫҚ МЕМЛЕКЕТТІК УНИВЕРСИТЕТІ
Өзбекстан Республикасы, 100095, Ташкент қ.,Университет к., 2

Мақалада турбуленттікке қарсы композициялық қоспаларды қолдана отырып, мұнайды құбырмен тасымалдаудың тиімділігін арттырудың заманауи тәсілдері келтірілген. Әсер ету механизмдері, физика-химиялық қасиеттері және полимерлі реагенттерді алу әдістері талданды. Қазақстанның тұтқырлығы жоғары, парафинді және жеңіл майларын тасымалдау кезінде қоспаларды қолдануға ерекше назар аударылды.

Авторлар поли-α-гексеннің полиолефинді полимері (ПАОП), уайт-спириттегі линол қышқылының метил эфирі (МЭЛК) негізінде композициялық турбуленттікке қарсы қоспа (КТҚҚ) алынды. Ақшабұлақ және Кеңқияқ кен орындарының мұнайларын тасымалдау кезінде КТҚҚ концентрациясының гидравликалық кедергіге әсері бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Композициялық құрамның максималды тиімділігіне 0,06–0,08% концентрациясында қол жеткізіледі, ал ағынға төзімділіктің төмендеуі 42-46 % құрайды. 0,04-0,06% концентрация диапазонында плато-эффекттің болуы көрсетілген.

Алынған нәтижелер әзірленген композициялық қоспаның гидравликалық шығындарды, қату температурасын және парафинді шөгінділердің түзілу қарқындылығын төмендететінін дәлелдейді, бұл оның Қазақстанның магистральдық мұнай құбырларында қолдану әлеуетінің жоғары екенін көрсетеді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *мұнай, тасымалдау, композициялық турбуленттікке қарсы қоспалар, тұтқырлық, қысым, құбыр желілері.*

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИСАДКИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ

Д.Б. АМАНТАЕВА[1], докторант, *diana.nurdaulet@mail.ru*
К.С. НАДИРОВ[1], доктор химических наук, профессор, *nadirovkazim@mail.ru*
Н.А. КАДЫРОВ[2], доктор технических наук, доцент, *abdusamig@rambler.ru*
Ж.К. НАДИРОВА[1], кандидат технических наук, профессор, *zhanna.nadirova@inbox.ru*
А.К. ОРЫНБАСАРОВ[1], кандидат химических наук, профессор, *11ars@list.ru*

[1]ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЭЗОВА
Республика Казахстан, 160012, Шымкент, пр. Тауке хана, 5

[2]ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И. КАРИМОВА
Республика Узбекистан, 700095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2

В статье представлены современные подходы к повышению эффективности трубопроводного транспорта нефти с использованием композиционных противотурбулентных присадок. Проанализированы механизмы действия, физико-химические свойства и методы получения полимерных реагентов. Особое внимание уделено применению присадок при транспортировке высоковязких, парафинистых и лёгких нефтей Казахстана.

Авторами получена композиционная противотурбулентная присадка на основе полиолефинового полимера поли-α-гексена (ПАОП), метилового эфира линолевой кислоты (МЭЛК) в уайт-спирите. Проведены экспериментальные исследования влияния концентрации КПТП на гидравлическое сопротивление при транспортировке нефтей месторождений Акшабулак и Кенкияк. Установлено, что максимальная эффективность композиционного состава достигается при концентрации 0,06–0,08 %, при этом снижение сопротивления потоку составляет 42–46 %. Показано наличие плато-эффекта в диапазоне концентраций 0,04–0,06 %.

Полученные результаты подтверждают, что разработанная композиционная присадка обеспечивает снижение гидравлических потерь, температуры застывания и интенсивности образования парафиновых отложений, что свидетельствует о её высокой перспективности для применения в магистральных нефтепроводах Казахстана.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *нефть, трубопроводный транспорт, противотурбулентные присадки, поли-α-гексен, гидравлическое сопротивление.*

FUNCTIONAL ADDITIVES FOR OIL TRANSFER INTEGRATION

D.B. AMANTAYEVA[1], doctoral student, *diana.nurdaulet@mail.ru*
K.S. NADIROV[1], doctor of chemical sciences, professor, *nadirovkazim@mail.ru*
N.A. KADYROV[2], doctor of technical sciences, associate professor, *abdusamig@rambler.ru*
ZH.K. NADIROVA[1], candidate of technical sciences, professor, *zhanna.nadirova@inbox.ru*
A.K. ORYNBASAROV[1], candidate of chemical sciences, professor, *11ars@list.ru*

[1]M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY
Republic of Kazakhstan,160012, Shymkent, Tauke Khan ave., 5

[2]ISLAM KARIMOV TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
Republic of Uzbekistan, 100095, Tashkent, University str., 2

The article presents modern approaches to improving the efficiency of pipeline oil transportation using composite drag-reducing additives. The mechanisms of action, physicochemical properties, and methods for obtaining polymer reagents are analyzed. Special attention is paid to the application of additives in the transportation of high-viscosity, waxy, and light crude oils of Kazakhstan.

The authors developed a composite drag-reducing additive based on a polyolefin polymer, poly-α-hexene (PAO), and methyl ester of linoleic acid (MELA) in white spirit. Experimental studies were conducted to evaluate the effect of CDRA concentration on hydraulic resistance during the transportation of crude oils from the Akshabulak and Kenkiyak fields. It was established that the maximum efficiency of the composite composition is achieved at a concentration of 0,06–0,08 %, with a flow resistance reduction of 42–46 %. The presence of a plateau effect in the concentration range of 0,04–0,06 % was also demonstrated.

The obtained results confirm that the developed composite additive provides a reduction in hydraulic losses, pour point, and the intensity of paraffin deposition, which indicates its high potential for application in main oil pipelines of Kazakhstan.

***KEYWORDS:** oil, pipeline transportation, drag-reducing additives, poly-α-hexene, hydraulic resistance.*

Кіріспе. Қазақстан Республикасының мұнай-газ өнеркәсібі елдің экономикалық өсуін айқындайтын және оның халықаралық энергетикалық нарықтардағы орнын нығайтатын негізгі салалардың бірі болып табылады. Көмірсутектерді өндіру, өңдеу және тасымалдау тиімділігін арттыру саланың басым даму бағыты екені түсінікті, әсіресе бәсекелестіктің күшеюі және экспорттық бағыттарды әртараптандыру қажеттілігі жағдайында [1].

Қазақстанның әлемдік мұхитқа тікелей шығу жолы болмағанымен, жыл сайын 80 млн тоннадан астам мұнай экспорттайды, оның басым бөлігі магистральдық мұнай құбырлары арқылы тасымалданады. Осындай жағдайда құбырлар желісі инфрақұрылымының сенімділігі мен өнімділігі ерекше өзектілікке ие. Авторлардың еңбектерінде [1,2] экспорт көлемін ұлғайту бойынша стратегиялық міндеттерді жүзеге асыру көлік жүйелерін жаңғыртусыз және мұнайды құбыр желісімен айдау тиімділігін арттырусыз мүмкін еместігі атап көрсетілген.

Өздеріңіз білетіндей, Қазақстан әлемдік мұхитқа шыға алмайды, алайда жыл сайын шамамен 60-65 млн тонна көмірсутек экспорттайды, олардың басым бөлігі магистральдық мұнай құбырлары арқылы тасымалданады. Бұл жағдайда құбыр инфрақұрылымының сенімділігі мен өнімділігі ерекше өзектілікке ие болады. Жұмыстарда [1,2] экспортты ұлғайту жөніндегі стратегиялық міндеттерді іске асыру көлік жүйелерін жаңғыртусыз және мұнай айдау тиімділігін арттырусыз мүмкін еместігі атап өтілді.

Қазіргі уақытта өндірілетін көмірсутектер құрылымының күрделенуіне, тұтқырлығы жоғары, парафинді және тұрақсыз майлардың үлесінің артуына, сондай-ақ шалғай аймақтардағы кен орындарының орналасуына байланысты айдау үшін энергия шығындары өсуде, гидравликалық қарсылық артып, құбырлар ішінде қатты көмірсутек шөгінділерінің пайда болу қаупі артуда [3]. Мұнайды тасымалдау кезінде жұмсалатын энергия шығындарының үлкен бөлігі ағынның үйкелісі және турбуленттілігінің әсерінен гидравликалық шығындарды еңсеруге кететіні анықталған [4].

Турбуленттікке қарсы қоспалар (ТҚҚ) - турбулентті құйынды құрылымдарды тежеуге және турбуленттілік аймағындағы үйкеліс коэффициентін төмендетуге

қабілетті жоғары молекулалық қосылыстар. Бірқатар жұмыстарда бірнеше компоненттерден тұратын композициялық қоспалар (полимерлер, беттік белсенді заттар, модификацияланған нанокұрылымдар) дәстүрлі полимерлі қоспалармен салыстырғанда тиімділік пен тұрақтылықтың жоғарылағанын көрсетеді [5-7].

ТҚҚ қолдану мұнайды айдау кезінде гидравликалық шығындар мен энергия шығынын төмендетуге, сондай-ақ құбырлардың өткізу қабілетін арттыруға ықпал етеді, бұл бірқатар эксперименттік және өндірістік зерттеулермен расталған. [5,6]. Сонымен қатар мұндай қоспалардың тиімділігі жоғары ағыс жылдамдығында, температура өзгергенде, сонымен қатар Батыс Қазақстан кен орындарына тән турбуленттілігі жоғары жеңіл мұнайлар мен ауыр тұтқыр мұнайларға қатысты сақталады [7].

Осы жұмыстың мақсаты – композициялық турбуленттікке қарсы қоспаларды (КТҚҚ) алу және қолдану әдістері жөніндегі деректерді жинақтау мен талдау, сондай-ақ олардың мұнайды құбыр арқылы тасымалдауды қарқындатудың басқа да технологияларымен салыстырмалы бағалау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Мұнайдың реологиялық қасиеттері және оның ағыс режимдері. Мұнайдың реологиялық қасиеттері оның құбыр бойымен қозғалу сипатын анықтайды және гидравликалық кедергі мөлшеріне, тасымалдаудың энергия сыйымдылығына, магистральдық жүйелердің тұрақты жұмысына тікелей әсер етеді. Негізгі көрсеткіштерге динамикалық және кинематикалық тұтқырлық, ағу шегі, тиксотропия, құрылымдық-механикалық беріктік, температуралық сезімталдық, сондай-ақ парафиндер, шайырлар мен асфальтендердің мөлшері жатады [8]. Бұл сипаттамалардың жиынтығы мұнайдың сыртқы күштер әсеріндегі әрекетін сипаттап, оның әртүрлі температура-жылдамдық жағдайларында құбыр бойымен қозғалу қабілетін анықтайды.

Парафинді, шайырлы және жоғары тұтқыр мұнайлар өндірілетін Қазақстан кен орындары үшін мұнайдың реология мәселелері ерекше маңызға ие. Авторлардың жұмысынтарында [9] көрсетілгендей, мұндай мұнайлар күрделі құрылыммен, төмен температурада кристалдануға бейім келетін қатты көмірсутектердің жоғары үлесімен сипатталады. Бұл қасиеттер қысымның жоғалуының артуына, парафинді шөгінділердің түзілуіне және қыздыру мен химиялық қоспаларды қолдану қажеттілігіне алып келеді.

Бұлыңғырлық нүктесінен төмен температурада парафиндердің кристалдануы салдарынан құрылым түзілуі басталады, ағу шегі артады және мұнай гель тәрізді күйге өтеді. Қазақстанның оңтүстік өңірлерінде қысқы температураның –30…–40 °C дейін төмендеуі бұл параметрді аса маңызды етеді [10].

Көптеген ауыр және жоғары парафинді мұнайлар ньютондық емес қасиеттерді, соның ішінде псевдопластикалықты, тиксотроптық сұйылуды және ағу шегінің болуын көрсетеді. Авторлар [11] көрсеткендей, тиксотропты мұнайлардың тұтқырлығы ағыс жылдамдығы артқанда 30–60% төмендеуі мүмкін, бұл тасымалдау режимдерін оңтайландыру үшін үлкен маңызға ие.

Парафинді және асфальтен-шайырлы құрылымдардың салқындау кезінде түзілуі реологиялық қасиеттерді нашарлатады. Зерттеулерде [12] парафин шөгінділері мұнай массасының 10–20%-ына дейін жетіп, құбыр қабырғаларында тығыз қабат түзіп, тиімді диаметрді азайтатыны көрсетілген.

Тұрақты тасымалдау үшін мынадай әдістер қолданылады: мұнайды жылыту, құбырларды жылу оқшаулау, депрессорлық және турбуленттікке қарсы қоспалар, сондай-ақ жеңіл көмірсутектермен немесе конденсатпен сұйылту. Жұмыста көрсетілгендей [13], газ конденсатын қосу тұтқырлығы жоғары мұнайдың тұтқырлығын 30-40% - ға төмендетеді және қатаю температурасын 10-15 °С-қа төмендетеді.

Осылайша, мұнайдың реологиялық қасиеттері тасымалдау тиімділігіне іргелі әсер етеді. Тұтқырлық, ағу шегі және тиксотропия тікелей гидравликалық кедергі мен энергия шығындарын анықтайды. Жоғары тұтқырлы және ауыр мұнайларды айдау жиі ламинарлы немесе өтпелі (Re ≈ 2000–4000) режимдерде жүзеге асады, мұнда турбулентті режимнің болмауына байланысты жоғары молекулалық ТҚҚ тиімділігі төмен болады [14]. Дегенмен, жоғары тұтқырлы мұнай жүйелері ағын жылдамдығы артқанда немесе оларды жеңіл көмірсутек фракцияларымен сұйылту және қыздыру арқылы тұтқырлығын төмендеткен кезде ағын турбулентті режимге ауыса алады. Бұл ауысу қарқынды араласумен және құйынды пульсациялардың түзілуімен қабаттасып жүреді [15].

Турбулентті режимде гидравликалық кедергінің өсуі байқалады, бұл оны төмендетуге бағытталған технологияларды қолданудың қажеттілігін көрсетеді.

Рейнольдс санын анықтауда өтпелі режим (Re ≈ 2000-4000) тұрақсыз, жергілікті құйындар мен ламинарлы ағынның үзілістері болуы мүмкін. Бұл режим магистральдық құбырлар үшін қажетсіз, өйткені ол сорап станцияларына түсетін жүктемені және апаттардың туындау қаупін арттырады.

Жоғары тұтқырлық, парафиндердің, шайырлардың және асфальттардың бар болуы және кристалдануға бейімділік – осының барлығы мұнайды температура мен ағын режиміне сезімтал етеді. Температура төмендеген сайын тұтқырлық күрт артады, бұл үйкелісті, қысымның төмендеуін арттырады және сораптарға жүктемені арттырады. Айта кету керек, мұнайдың құрамы (парафиндер, асфальтендер, шайырлар) ағын режиміне айтарлықтай әсер етуі мүмкін, әсіресе ньютондық емес әрекетті көрсетеді, бұл ағын мен тасымалдау тұрақтылығын болжауды қиындатады [16].

Мұнайды құбыр желілерімен айдауды қарқындату әдістері. Құбыр арқылы мұнайды тасымалдау кезінде мұнай ағынына кедергіні азайту, әсіресе энергия үнемдеуге қойылатын талаптарды қатаңдату жағдайында негізгі міндет болып табылады. Гидравликалық шығындарды азайту үшін қолданылатын әртүрлі тәсілдер бар.

Термиялық өңдеу – мұнайдың тұтқырлығын төмендетудің кеңінен қолданылатын әдістерінің бірі, оның мәні мұнайды құбырмен айдау алдында шикізатты жылыту болып табылады. Жұмыс авторларының зерттеуіне сәйкес [17], парафинді мұнайды 60-70 °С дейін қыздыру оның тұтқырлығын ретке келтіреді, дегенмен энергетикалық шығындар 20-30% -ға артады, мысалы, Қазақстанның солтүстік аймақтарында.

Мұнайды жеңіл фракциялармен сұйылту (мысалы, конденсатпен) тұтқырлықты және тығыздықты төмендетеді. Ғылыми мақалада [18], ауыр мұнайды конденсатпен 1:4 қатынасында сұйылту тұтқырлықты 60–70 % төмендетуге мүмкіндік береді, бұл ретте әдістің экономикалық тиімділігі сұйылтқыштың құны мен логистикасына байланысты болады.

Композициялық турбуленттікке қарсы қоспалар (КТҚҚ). Депрессорлық қоспалар қыс мезгілінде мұнайды құбыр желісімен айдауды жеңілдете отырып,

қату және тұтқырлық температурасын төмендетуде жоғары тиімділікті көрсетеді, алайда олардың турбуленттікке және гидравликалық кедергіге әсері шектеулі. Композициялық турбуленттікке қарсы қоспаларды пайдалану неғұрлым әмбебап және экономикалық жағынан ақталған болып табылады. Бұл қоспалар турбулентті құйындарды басуға, ағынға кедергіні төмендетуге және күрделі салымдарсыз құбыр дебитін ұлғайтуға мүмкіндік береді.

Зерттеу деректеріне [19] сәйкес композициялық турбуленттікке қарсы қоспалар мұнайдың турбулентті ағысы кезінде гидравликалық кедергіні тиімді төмендететін көп компонентті жүйелер болып табылады. Олардың әрекет ету механизмы қайталама құйынды құрылымдарды басуға, турбулентті пульсациялардың қарқындылығын төмендетуге және құбыр қабырғасындағы ламинарлы ағынды тұрақтандыруға негізделген.

Химиялық қоспаларды (депрессорлық және турбуленттікке қарсы қоспалар) және инженерлік шешімдерді (оңтайлы температураны сақтау, қоспаларды мөлшерлеу) кешенді пайдалану мұнайды құбыр желісімен айдаудың максималды тиімділігін арттыруды және энергия шығындарын төмендетуді қамтамасыз етеді. Кешенді пайдалану магистральды құбыр желілерінің өткізу қабілетін жақсартуға және шөгінділердің пайда болу қаупін төмендетуге мүмкіндік береді, бұл ауыр және парафинді мұнайды құбыр желсімен айдау үшін өзекті мәселе болып табылады.

Бірқатар зерттеулерде [20] көрсетілгендей, турбулентті режимде жоғары молекулалы полимерлер гидравликалық кедергі коэффициентін 80%-ға дейін төмендетуге қабілетті. Сондай-ақ турбулеттікке қарсы қоспалардың тиімділігі -5 °С -тан +50 °С -қа дейінгі температура аралығында сақталатыны анықталды [21], бұл зерттелген қоспалардың Қазақстанның климаттық жағдайларында қолдану тиімділігі мен жоғары технологиялық әлеуетін көрсетеді. Атап айтқанда, Батыс Қазақстан кен орындарының жеңіл төмен тұтқырлы мұнайын тасымалдау барысында жүйе тұтқырлығының өсуінсіз ағынды тұрақтандыруды қамтамасыз ететін полиакриламидтер негізіндегі композициялар қолданылады [22].

Композициялық ТҚҚ полимерлерді, беттік-белсенді заттарды (ББЗ), тұрақтандырғыштар мен еріткіштерді қамтиды. Бірқатар жұмыстарда [21,22] көп компонентті құрам синергетикалық әсерді қамтамасыз етеді, механикалық деструкцияға төзімділікті арттырады және қажетті мөлшерді төмендетуге мүмкіндік береді.

Композициялық ТҚҚ-да полиэтиленоксид (ПЭО), полиальфаолефиндер (ПАО), полиакрилонитрил (ПАН) сияқты сызықты құрылымдағы жоғары молекулалы полимерлерден, сондай-ақ стирол мен функционалдық мономерлердің сополимерлерінен тұратыны белгілі. Макромолекулалардың агрегациялануын болдырмау және ағымдылықты жақсарту үшін композицияларға пластификаторлар мен еріткіштер, оның ішінде жеңіл көмірсутекті фракциялар енгізіледі [23].

Осылайша, композициялық ТҚҚ гидравликалық кедергіні төмендетуді, ағынның тұрақтылығын және әсер етудің ұзақтығын қамтамасыз ете отырып, мұнайды құбыр желіімен айдауды қарқындандырудың экономикалық тұрғыдан орынды және әмбебап әдісі болып табылады.

Нәтижелер және талқылау

Турбуленттікке қарсы қоспалардың әрекет ету механизмдері. Қоспалардың әрекет ету механизмі туралы айтар болсақ, ТҚҚ қолданудың негізгі әсері шека-

ралық қабаттағы құйындарды басу болып табылады, бұл гидравликалық кедергіні төмендетеді. Композициялық құрамдарда әсердің синергетикалық күшеюі орын алады: полимерлік тізбектер ағын бағытында созылады, ББЗ олардың таралуын тұрақтандырады, ал еріткіштер құрамның біртектілігін қамтамасыз етеді [24].

ТҚҚ әрекет ету механизмі авторлардың жұмыстарында [24,25] сипатталған, онда шекаралық қабаттағы осьтік және радиалдық құйындарды басу арқылы ұзын полимерлік тізбектер ағында созылады, бұл Дарси-Вейсбах формуласы бойынша гидравликалық кедергі коэффициентінің төмендеуіне алып келеді.

Осылайша, композициялық турбуленттікке қарсы қоспаларды полиэтиленоксид және беттік-активті заттар негізінде енгізу жеке полимерлік жүйелермен салыстырғанда гидравликалық кедергіні біршама төмендетуге алып келетіні [26,27] жұмыстарда көрсетілген.

ТҚҚ әрекет ету механизмі турбулентті құйындарды басу және шекаралық қабатты тұрақтандыру болып табылады деп айтуға болады. Композициялық құрамдар компоненттердің синергетикалық өзара әрекеттесуі есебінен әрекет ету мерзімін және механикалық бұзылуға төзімділікті арттыра отырып, жоғары тиімділікті көрсетеді. Соңғы жылдардағы зерттеулер қазіргі заманғы композициялық қоспалар құбырлардың өткізу қабілетін арттыруға және мұнай тасымалдау кезінде, әсіресе жоғары жылдамдықтар мен қысымдар кезінде энергия шығындарын төмендетуге мүмкіндік беретінін растайды, бұл Қазақстанда пайдалану шарттары үшін аса критикалық мәнге ие.

Композициялық турбуленттікке қарсы қоспаларды алу және олардың кейбір физикалық-химиялық қасиеттері. Композициялық турбуленттікке қарсы қоспаларды (КТҚҚ) алу процесі бірнеше негізгі кезеңді қамтиды. Алдымен полимер матрицаны таңдау қажет - көбінесе полиальфаолефиндер, полиэтиленоксидтер немесе винилацетаттың сополимерлері пайдаланылады. Содан кейін құрамға модификаторлар — беттік-белсенді заттар (ББЗ), тұрақтандырғыштар мен антиагломераторлар енгізіледі, олар авторлардың жұмыстарында [24] атап өтілгендей компоненттердің бөлінуінің біртектілігін қамтамасыз етіп, макромолекулалардың коагуляциясын болдырмайды. Бұдан әрі органикалық немесе су фазасындағы матрицаны еріту, кейіннен эмульгациялау немесе ультрадыбыстық диспергациялау жүргізіледі.

Жоғары эмульсиялы, парафинді және жоғары тұтқырлы мұнайларды тасымалдау ағыстың турбуленттік режимімен, жоғары гидравликалық кедергімен және құбырлардың өткізу қабілетінің төмендеуімен қатар жүреді. Полимерлік қосылыстардың аз мөлшерін қосу (бірнеше ppm) турбуленттік флуктуацияларды басады, үйкеліс кедергісін азайтады және құбыр қабырғасында полимерлік тізбектердің флуктуациялық қабатын құру арқылы жүйенің өнімділігін арттырады.

Осы мақаланың авторларымен поли-α-гексеннің полиолефинді полимері (ПАОП), уайт-спириттегі линол қышқылының метил эфирі (МЭЛК) негізінде композициялық турбуленттікке қарсы қоспа алынды. Қоспа Ақшабұлақ мұнайы үшін пайдаланылды, ол орташа тығыздығымен (шамамен 770-780 кг/м^3), парафиндердің жоғары құрамымен (14% дейін) және +14 °С – тан төмен температурада кристалдануға бейімділігімен сипатталады, сондай-ақ Кеңқияқ мұнайы қолданылды, ол тығыздығы (910-930 кг/м^3) және асфальтендер мен шайырлардың едәуір

мөлшерімен сипатталады (20% дейін). Аталған мұнай жоғары тұтқырлықпен және айқын тиксотропиямен сипатталады, бұл оның суық мезгілде тасымалдауын қиындатады.

1-кестеде компоненттердің қатынасы, композициялық қоспа нұсқалары құрамының тығыздығының мәні көрсетілген.

1 кесте – **КТҚҚ компоненттерінің арақатынасы, %**

№	Тығыздық, кг/м^3	ПАОП	МЭЛК	Уайт - спирит
1	790	30	14	56
2	820	35	18	47
3	820	40	20	40
4	825	45	25	30
5	820	50	20	30

Эксперименттік деректер мұнайдың гидравликалық кедергісі мен қатаю температурасының максималды төмендеуін қамтамасыз ететін № 3 композиция ең теңестірілген құрам екенін көрсетті.

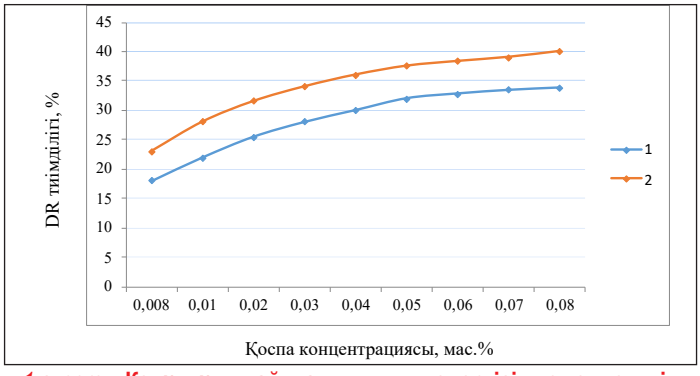
КТҚҚ тиімділігі Ақшабұлақ кен орнының парафинді мұнайында зерттелді (*2-кесте*).

2 кесте – **КТҚҚ-ның мұнайдың қасиеттеріне әсері**

Мысал	Қоспа мөлшері, %	Тұтқырлық 20 °С, сСт	Қату температурасы, °С	DR эффтивтілігі, %	Тұрақтылығы, ай
Қоспасыз	—	6,4	6	—	—
1	0,008	5,2	-2	23	1,3
2	0,010	5,1	-7	29	1,7
3	0,040	5,3	-10	36	2,3
4	0,060	5,7	-16	38	2,2
5	0,080	5,9	-18	40	2,1

2-кестенің нәтижелері айқын синергетикалық әсерді көрсетеді: ПАОП және МЭЛК үлесінің өсуі қату температурасын минус 16-18 °С дейін төмендетеді және DR тиімділігін 38-40 %-ға дейін арттырады.

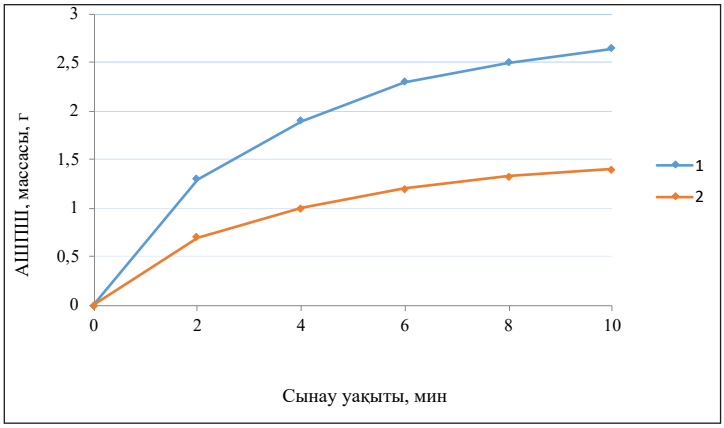
1-суретте Кеңқияқ мұнайы ағынының кедергісіне КТҚҚ концентрациясының әсері көрсетілген. Полимерлік құрамның ең жоғары тиімділігіне 0,06-0,08% кезін-



1 сурет – **Кеңқияқ мұнайы ағынының кедергісін төмендетудің КТҚҚ концентрациясына тәуелділігі: 1 - полиальфаолефинді полимер; 2- полиальфаолефинді полимер + уайт-спириттегі линоль қышқылының метил эфирі**

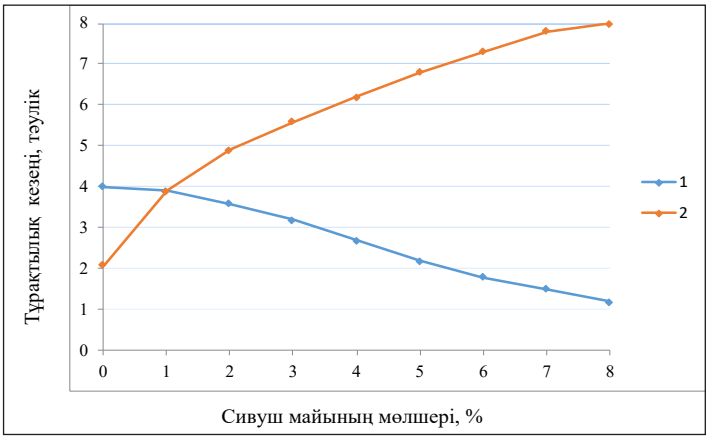
де қол жеткізіледі, кедергіні төмендету – 38-40 %. МЭЛК қосу қосымша-мұнай интерфейсінің (өзара әрекеттесу) қанығуы салдарынан 0,06 - 0,08% кезінде плато-эффект тудырады.

2-суретте Ақшабұлақ мұнайынан қоспасыз АШПШ (асфальтты-шайырлы-парафинді шөгінділер) жинақталу динамикасы көрсетілген. Деректер көрсеткендей, шөгінділердің 50-60% алғашқы минуттарда қалыптасады, КТҚҚ қатысуымен АШПШ массасы 40-50% -ға төмендейді, парафин қосылыстарының кристалдануы баяулайды.



2 сурет – **АШПШ-ның жинақталу динамикасы: 1 – КТҚҚ қосылмаған шикі мұнай; 2 - КТҚҚ қоылған мұнай**

Сынамаға 5-6% сивуш майын енгізу мұнай композициясының тұрақтылығын 8-10 тәулікке дейін арттырады, қоспаның таралуын жақсартады және әсіресе № 2 құрам үшін тиімді (*3-сурет*).



3 сурет – **КТҚҚ қосылған мұнай тұрақтылығының жүйедегі сивуш майының құрамына тәуелділігі: 1 - сивуш майы қосылмаған мұнайдағы КТҚҚ; 2 - сивуш майы қосылған КТҚҚ**

Ұсынылған КТҚҚ мыналарды қамтамасыз етеді: гидравликалық кедергіні 38-40 % төмендету; қату температурасын минус 16-18 °С дейін төмендету; парафин шөгінділерінің жинақталуын 40-50 % азайту. Қоспа парафинді мұнайлар (Ақша-

бұлақ) үшін де, тұтқырлығы жоғары ауыр мұнайлар үшін де (Кеңқияқ) тиімді. ПАОП, МЭЛК және сивуш майының синергетикалық әсері КТҚҚ-ны Қазақстанның магистральдық құбырларында енгізудің жоғары тиімділігі мен перспективтілігін дәлелдейді.

Қорытынды

Мұнайды тасымалдауды қарқындату әдістерінің салыстырмалы талдауы композициялық ТҚҚ-ның ең әмбебап әрі экономикалық тұрғыдан тиімді шешім екенін көрсетті, олар жеңіл, ауыр және парафинді мұнайларды тасымалдауда жоғары тиімділікті қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, ТҚҚ депрессорлы қоспалармен және инженерлік шешімдермен бірге кешенді пайдалану (температураны ұстап тұру, сорап станцияларын оңтайландыру) парафинді және асфальт-шайырлы шөгінділердің пайда болуын төмендетуге және магистральдық жүйелердің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Авторлар поли-α-гексеннің полиолефинді полимері, уайт-спириттегі линол қышқылының метил эфирі негізінде композициялық турбуленттікке қарсы қоспа алды. Эксперименттік мәліметтер негізінде КТҚҚ концентрациясының Кенкияк мұнай ағынының кедергісіне әсері көрсетілген. Полимер құрамының максималды тиімділігіне 0,06–0,08%, кедергінің төмендеуіне — 38-40 % қол жеткізіледі. МЭЛК қоспасын қосу 0,06-0,08 % плато-эффект әсерін тудырады.

Осылайша, композициялық турбуленттікке қарсы қоспалар мұнай құбырларының энергия тиімділігін және өткізу қабілетін арттырудың перспективті әрі практикалық тұрғыдан іске асырылатын құралы болып табылады. Оларды қолдану мұнайды тасымалдауды одан әрі оңтайландыруға, пайдалану шығындарын азайтуға және мұнай-газ саласының экономикалық тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді.

Аталған зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қолдауымен, BR24992809 бағдарламасы аясында орындалды.

ӘДЕБИЕТ

1. Ниязбекова Ш.У., Назаренко О.В. Нефтегазовая отрасль Казахстана: современное состояние и перспективы развития // Вестник КазНИТУ. – 2021. – №4. – С. 15–22. [NiyazbekovaSh.U., Nazarenko O.V. Neftegazovaya otrasl' Kazahstana: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya // Vestnik KazNITU. – 2021. – №4. – S. 15–22.]
2. Bekibayev T.T., Zhapbasbayev U.K., Ramazanova G.I., Bossinov D. Oil pipeline hydraulic resistance coefficient identification // Cogent Engineering. – 2021. – Vol. 8. – Art. 1950303.
3. Тертерян Р.А. Депрессорные присадки к нефтям, топливам и маслам. – М.: Химия, 1990. – 238 с. [Terteryan R.A. Depressornye prisadki k neftyam, toplivam i maslam. – M.: Khimiya, 1990. – 238 s.]
4. Кутуков С.Е., Гольянов А.И. Исследование эффективности противотурбулентных присадок при транспортировке нефти по магистральным трубопроводам // Наука и технология трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2010. – №2. – С. 60–66. [Kutukov S.E., Golyanov A.I. Issledovanie effektivnosti protivoturbulentnykh prisadok pri transportirovke nefti po magistralnym truboprovodam // Nauka i tekhnologiya truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. – 2010. – No.2. – P. 60–66].

5. Черникин В.А., Челинцев Н.С. О совершенствовании методов определения эффективности применения противотурбулентных присадок на магистральных нефтепродуктопроводах // Наука и технология трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. – №1. – С. 58–61. [Chernikin V.A., Chelintsev N.S. O sovershenstvovanii metodov opredeleniya effektivnosti primeneniya protivoturbulentnykh prisadok na magistralnykh nefteproduktoprovodakh // Nauka i tekhnologiya truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. – 2011. – No.1. – S. 58–61]
6. Егоров А.Г., Лосев К.А., Сулейманова Ю.В. Результаты применения противотурбулентной присадки «M-FLOWTREAT» при трубопроводном транспорте углеводородного сырья // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2013. – №1. – С. 34–35. [Egorov A.G., Losev K.A., Suleymanova Yu.V. Rezul'taty primeneniya protivoturbulentnoj prisadki «M-FLOWTREAT» pri truboprovodnom transporte uglevodorodnogo syr'ya // Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya. – 2013. – No.1. – P. 34–35.]
7. Нигматуллин Р.Г., Хусаинов Р.М., Хусаинов Р.Р. Применение противотурбулентных присадок при транспортировке нефти и нефтепродуктов по трубопроводам // Наука и технология трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2010. – №2. – С. 45–52. [Nigmatullin R.G., Khusainov R.M., Khusainov R.R. Primenenie protivoturbulentnykh prisadok pri transportirovke nefti i nefteproduktov po truboprovodam // Nauka i tekhnologiya truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. – 2010. – No.2. – S. 45–52.]
8. Malkin A.Ya., Khadzhiev S.N. Oil as an object of rheology (Review) // Petroleum Chemistry. – 2019. – Vol. 59, No. 10. – P. 1092–1107.
9. Chang A., Huang L., Wei S., Shao M. Analysis of the drag reduction performance // Polymers. – 2024. – Vol. 16, No. 9. – Art. 1247.
10. Чичканов С.В., Шамсуллин А.И., Мягченков В.А. Влияние концентрации водорастворимых полимерных присадок и скорости турбулентных потоков прямых нефтяных эмульсий на величину эффекта Томса // Георесурсы. – 2007. – № 3(22). – С. 41–43. [Chichkanov S.V., Shamsullin A.I., Myagchenkov V.A. Vliyanie koncentracii vodorastvorimyx polimernix prisadok i skorosti turbulentnyx potokov pryamyx neftyanyx emulsij na velichinu effekta Tomsa // Georesursy`. – 2007. – № 3(22). – C. 41–43]
11. Гареев М.М., Лисин Ю.В., Манжай В.Н., Шаммазов А.М. Противотурбулентные присадки для снижения гидравлического сопротивления трубопроводов. – СПб.: Недра, 2013. – 228 с. [Gareev M.M., Lisin Yu.V., Manzhaj V.N., Shammazov A.M. Protivoturbulentny`e prisadki dlya snizheniya gidravlicheskogo soprotivleniya truboprovodov. – SPb.: Nedra, 2013. – 228 s.]
12. Saenko O.B., Serkebaeva B.S., Ayapbergenov Y.O. Study of the rheological characteristics // Kazakh Journal of Oil and Gas Industry. – 2024. – Vol. 6, No. 2. – P. 88–98.
13. Beloglazov I., Morenov V., Leusheva E., Gudmestad O.T. Modeling of heavy-oil flow // Energies. – 2021. – Vol. 14, No. 2. – Art. 359.
14. Andrade D.E.V., Negrão C.O.R. Rheology of waxy oils: A critical review // Applied Engineering Science. – 2025. – Vol. 21. – Art. 100202. –
15. Banerjee T., Shestakov R.A. Application of drag reduction agents as a method for reducing heat loss during pumping through a pipeline // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2024. – Vol. 335, No. 9. – P. 169–182.
16. Wang X., Gurbanov H., Adygezalova M., Alizade E. Investigation of removing ARPD // Energies. – 2024. – Vol. 17, No. 15. – Art. 3622.
17. Несын Г.В., Шибаев В.П., Сунагатуллин Р.З., Малкин А.Я. Снижение гидродинамического сопротивления углеводородных жидкостей: теоретические и практические аспекты // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и

нефтепродуктов. – 2018. [Nesyn G.V., Shibaev V.P., Sunagatullin R.Z., Malkin A.Ya. Snizhenie gidrodinamicheskogo soprotivleniya uglevodorodnyh zhidkostej: teoreticheskie i prakticheskie aspekty // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. – 2018].

18. Korobov G.Yu., Parfenov D.V., Nguyen V.T. Mechanisms of formation of ARPD // Izvestiya Tomsk Polytechnic University. – 2023. – Vol. 334, No. 4. – P. 103–116.
19. Aitkaliyeva G.S., Askarova S.A., Boiko G.I., et al. Comparative analysis // Petroleum Chemistry. – 2019. – Vol. 59, No. 11.
20. Procaccia I., L'vov V.S., Benzi R. Colloquium: Theory of Drag Reduction by Polymers in Wall-Bounded Turbulence // Reviews of Modern Physics. – 2008. – Vol. 80, No. 1. – P. 225–247.
21. Lyubchenko N.P., Boiko G., Sarmurzina R., et al. Compositional formulations // Processes. – 2025. – Vol. 13, No. 10. – Art. 3328.
22. Tayal E., Ray S., Halder S., et al. Energy-efficient pipeline transportation // Energy. – 2025. – Vol. 263. – Art. 137027.
23. Ivchenko P.V., Nifant'ev I.E., Tavtorkin A.V. Polyolefin drag reducing agents (Review) // Petroleum Chemistry. – 2016. – Vol. 56, No. 9. – P. 775–787. DOI: 10.1134/S096554411609005X
24. Yarin A.L. On the mechanism of turbulent drag reduction in dilute polymer solutions: Dynamics of vortex filaments // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. – 1997. – Vol. 69. – P. 137–153.
25. Kim K., Adrian R.J., Balachandar S., Sureshkumar R. Dynamics of Hairpin Vortices and Polymer-Induced Turbulent Drag Reduction // Physical Review Letters. – 2008. – Vol. 100. – Art. 134504.
26. Fakhrulddin S.K., Abdulbari H.A. Enhancement of PEO performance in reducing turbulent flow drag with the addition of SDBS anionic surfactant // Journal of Engineering Research. – 2017. – Vol. 5. – No. 2. – P. 1–11.
27. Gu Y., Yu S., Mou J., Wu D., Zheng S. Research Progress on the Collaborative Drag Reduction Effect of Polymers and Surfactants // Materials. – 2020. – Vol. 13, No. 2. – Art. 444