

Подписной индекс: 75185
Регистрационный №16734-ж
Выходит 4 раза в год. Основан в 2001 году

**С.ӨТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ
АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ**
Ғылыми журнал

**ВЕСТНИК
АТЫРАУСКОГО УНИВЕРСИТЕТА НЕФТИ И ГАЗА
ИМЕНИ С.УТЕБАЕВА**
Научный журнал

**BULLETIN
OF THE ATYRAU OIL AND GAS UNIVERSITY
NAMED AFTER S.UTEBAYEV**
Scientific journal

№1(73) 2025

Атырау

Научный журнал «Вестник Атырауского университета нефти и газа им.С.Утебаева» зарегистрирован в Министерстве культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан (свидетельство № 16734-ж от 08.11.2017г.), включен в Каталог АО «Казпочта» с присвоением подписного индекса 75185 для организации подписки. Вестник зарегистрирован в Парижской книжной палате и имеет международный шифр ISSN 1683 – 1675.

Главный редактор:

Шакуликова Г.Т., доктор экономических наук, профессор,
Председатель правления - ректор АУНГ имени С.Утебаева

Заместитель главного редактора:

Искаков Р.М., проректор по научной работе и инновациям АУНГ им.С.Утебаева

Ответственный секретарь: Канбетов А.Ш.

Редакционная коллегия:

Ашурбеков Н.А.	доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Багрий Е.И.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Борисов Ю.А.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Боронина Л.В.	кандидат технических наук (АГАСУ, Россия)
Гордадзе Г.Н.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Гумаров Г.С.	доктор технических наук, профессор (Казахстан)
Жирнов Б.С.	доктор технических наук, профессор (Россия)
Зайцев В.Ф.	доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)
Кудайкулов А.К.	доктор физико-математических наук, профессор (Казахстан)
Михеева Т.И.	доктор технических наук, профессор (Россия)
Нурмагамбет Е.Т.	Доктор PhD, ассоц. профессор (Казахстан)
Оразбаев Б.Б.	доктор технических наук, профессор (Казахстан)
Пименов Ю.Т.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Руденко М.Ф.	доктор технических наук, профессор (Россия)
Сагинаев А.Т.	доктор химических наук, профессор (Казахстан)
Табачникова Т.Б.	кандидат технических наук, доцент (Россия)
Теляшев Э.Г.	доктор технических наук (Россия)
Федотова А.В.	доктор биологических наук, профессор (Россия)
Фролов В.Я.	доктор технических наук, профессор (Россия)
Хайрудинов И.Р.	доктор химических наук, профессор (Россия)
Цюй Чжань	доктор наук (СНУ, Китай)

Периодичность издания: 4 раза в год.

Основная тематическая направленность: научные статьи по техническим, физико-математическим, экономическим и социально-гуманитарным наукам.

ISSN 1683-1675

© Атырауский университет нефти и газа им.С.Утебаева, 2025

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ, БУРЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

УДК 553.982.2: 51-74

Р.Т.Сулейменова, Ж.Б. Шаяхметова, Ж.Б. Сәрсен, Ж.Н. Батырханова
Атырау Мұнай және газ университеті. С. Өтебаева, Атырау, Қазақстан
E-mail: Zhanar6688@mail.ru, sarsenzhanna01@gmail.com

ӨЗЕН КЕНОРНЫНЫҢ НЕГІЗГІ МҰНАЙ ҚАБАТТАРДЫ ИГЕРУДІ ТАЛДАУ

Андатпа. Бұл мақалада ғылым мен технологияның соңғы жетістіктеріне алдыңғы өндірістік тәжірибе жиынтығына негізделетін жаңа технологиялық процестер ескі өндірістік әдістерді түбегейлі өзгеруін талап етеді. Мұнай өндіру саласында жоғарғы техникалық, экономикалық көрсеткіштермен қабаттан мұнайды өндіру деңгейін арттыру осы технология қамтамасыз етеді

Мұнай өндіру процестерінің мынадай факторлары мен қиыншылықтары бар: түп аймақтан мұнайды дайындау объектілеріне дейін өнімнің ұңғыларда қозғалу жолындағы асфальтті-шайырлы парафинді (АШП) компоненттер және минералды тұздар, өндірілетін мұнайдың құрылымдық-механикалық қасиеттерінің көрінуі, берік су тұтқырлы, су мұнайлы эмульсияларының түзілуі.

Мұнай өндірісі ролі қазіргі уақытта мұнай химиясы шикізат базасы ретінде жоғарылады. Ілеспе газдарды және табиғи газдарды пайдалану мұнайды өңдеу процесі кезінде пайдаланған қалдықтардан алынатын газдарды пайдаланған тиімді.

Қазіргі кезде бұл технология мұнай кен орындарындағы өткізгіштігі аз, әлсіз дренаждалатын қабаттардың мұнай бергіштігін көтеру және игеруді күшейтудегі ең белгілі әдістердің бірі болып саналады. Көптеген аймақтарда бұл технология өндіруді елеулі түрде көтеретін және ұңғымаларды рентабелді категорияға шығаратын жалғыз технология болып табылады.

Өзен кен орындарында қабатты сұйықпен жаруды қолдану саздалған, өткізгіштігі аз қабаттарды игеруде өзінің тиімділігін көрсетті.

Қазақстан аумағында мұнай мен газдың керемет қорлары бар. Қазіргі кезеңде Қазақстанда мұнай және мұнай-газ кен орындары ашылған, оларды «Ембімұнай», «Теңізшевройл», «Өзенмұнайгаз», «Ақтөбемұнайгаз» бірлестіктері игеруде.

Түйінді сөздер: өндірістік тәжірибе, өндіріс деңгейін арттыру, мұнай өндіру, мұнайды қайта өңдеу, қабаттарды игеру, мұнай мен газдың қорлары, мұнай шығару коэффициентін арттыру әдістері

Тек Қазақстан Республикасында ғана емес, сондай-ақ бұрынғы КСРО көлемінде ең ірі кен орындары қатарына жататын Өзен кен орны 1961 ж. ашылып, өнеркәсіптік игеруге 1965 ж. берілген. Өзен кен орны өте сирек кездесетін кен орындары қатарына жатады және оны басқа кен орындарынан ерекшелейтін жеке қасиеттерге ие және жобалауда да, игеру практикасында да бөлек көзқарасты талап етеді.

Өзен кен орны - көп қабатты, геологиялық құрылысы өте күрделі. Бор және юра шөгінділері қимасында 25 өнімді горизонттар (I-XXV) белгіленген; мұнайлылықтың негізгі қабаты – жоғарғы орта юра кезеңінің XIII-XVIII горизонттары.

XIII-XVIII горизонттардың өнімді қалыңдығы өзіне 48 қабатты жинақтаған 18 будаққа мүшеленген. Онша үлкен емес мұнай кеніштері мұнайлылықтың төменгі қабаты XIX-XXIV горизонттарда үш көтерілуге шоғырланған: Қумұрын, Солтүстік - батыс және Парсымұрын.

XIII-XVIII горизонттар кеніштері біртұтас сумұнай жанасуымен массивті қалыңдық

калыптастырады.

Негізгі мұнайлылық қабатының өнімді горизонттары (XIII-XVIII) 7,8-21,1 м орташа мұнайға қаныққан қалыңдықпен сипатталады, мұндағы кеуектіліктің орташа шамасы 22-27 %, ал өткізгіштік 0,179-0,276 мкм².

Кен орнындағы қабат мұнайларының тұтқырлығы 3,7-4,7 мПа·с, парафин 22 % және асфальтенді-шайырлы заттар 20 %.

Кен орны мен жеке өнімді горизонттар бойынша мұнайдың бастапқы баланстық (геологиялық) қорын соңғы ресми есептеу 1980 жылы жүргізілген болатын, ал кейінгі жылдары қорларды жедел бағалаулар жүргізіліп отырылды және олар ресми көрсеткіштерге бәлендей жаңалық әкелген жоқ. Сондықтан қазіргі кезде кен орнының 1054566 мың т. қосынды бастапқы баланстық (геологиялық) мұнай қорлары Өзен кен орнының қорларының игерілуі мен өндірістік мүмкіндіктерін анықтағанда негізгі бағдар болып табылады.

Алғашқы жобалық құжаттарда нақты мұнай алу коэффициенті (МАК) негізгі өнімді горизонттар (XIII-XVIII) мен әрбір бөлік үшін бірдей - 45 %, мұнайлылықтың төменгі қабаты (Қумұрын, Солтүстік-батыс және Парсымұрын күмбездері) үшін - 30-35 % шамасында анықталған болатын. Кейін бірнеше рет жаңа геология-физикалық ақпараттар және игерудің қалыптасқан күйін есепке ала отырып, өнімді горизонттар мен жеке бөліктер бойынша бастапқы алынатын қорларды қайта бағалауға әрекет жасалды; алайда алынған нәтижелер дұрыстығы дәлелденбеді, сондықтан горизонттар мен жеке бөліктердің мұнай қорларының игерілуін талдау үшін соңғы уақытқа дейін 1981ж. бекітілген 464775 мың т. көлемдегі бастапқы алынатын қорлар қолданылып жүр. Кен орнының даму перспективаларын анықтаудағы ең алдыңғы қатарлы және маңызды мәселелердің бірі - әрбір бөлік бойынша геология-физикалық ерекшеліктерді, игеру тарихын және қорлардың қазіргі игерілу күйін есепке ала отырып мұнайдың алынатын қорларын объективті есептеу.

Көпқабаттылығы, аса күрделі геологиялық құрылысы, өнімді горизонттардың біршама көлемдік біртексіздігі (Орал-Поволжье кен орындарынан 5-10 есе), мұнайлардың аномальдық қасиеттері және т.б. ерекшеліктер кен орнын жобалауда және игеруде негізгі қиындықтар туғызды. Отандық және шетелдік практикада Өзенге ұқсас кен орнын жобалау мен пайдалану тәжірибесі болған емес.

Кен орнын пайдалану жобалық құжаттар негізінде жүргізілді. Олардың қатарында кен орнына арналған үш ірі жоба мен игеру тұрғысынан аса күрделі саналатын жеке учаскелерге арналған бірнеше технологиялық үлгілер бар. Алғашқы жобалық құжат - игерудің бас үлгісін 1965 ж. ВНИИ жасады және келесі негізгі жағдайларды қарастырды:

- кен орнын игерудің басынан бастап қабат қысымы мен температурасын көтеріп ұстау;
- төрт пайдалану кешенін бөлу: I кешен - XIII+XIV горизонттар; II кешен - XV+XVI горизонттар; III кешен - XVII горизонт; IV кешен - XVIII горизонт;
- I және II негізгі пайдалану кешендері бойынша кен орнын айдау ұңғымалары қатарларымен ені 4 км бөліктерге бөлу;
- барлық кешендерді игеруге жеке бөліктермен бірден қосу;
- горизонттар арасында сұйық ағысын болдырмау үшін барлық кешендер бойынша жобадағы кесу сызықтарының дәл болуын қамтамасыз ету;
- III кешенді нұсқа сыртынан су айдау арқылы игеру;
- IV кешенді қабат қысымын көтерусіз аралас режимде игеру;
- өндіру ұңғымаларында түп қысымын мұнайдың газбен қанығу қысымынан 25 %-ке төмен ұстау;
- айдау желілеріндегі қысымды бастапқы қабат қысымы деңгейінде ұстау;
- суды айдау қысымы - 10 МПа.

Кен орнын іске қосқанда үлкен қиындықтар туындады. Қабат қысымын көтеру жүйесінің ұйымдастырылуы кешігумен жүргізілгендіктен пайдалану кешендерінің игерілуі алғашқы жылдары табиғи режимде, ал кейін жобалық көлемнен көп аз көлемде салқын су айдау арқылы жүргізілді.

Ұңғымаларда, олардың өнімдерінде құмның мөлшері көп болғандықтан құмқырғыш түріндегі плунжерлі сораптар қолданылады және құрамында құмы бар сұйықтарды шығаруға қабілетті басқа да сораптар қолданылады. Құмның плунжер үстінде, тұнып қалмауы үшін шығып келе жатқан ағын жылдамдығын арттырады. Сұйықты жоғарыға құбыр арқылы емес, штангінің қуысты (құбыршалы) жіңішке каналы арқылы бағыттайды немесе құбыраралық кеңістікке сұйықты (таза мұнайды) құяды. Сорап сұйықты сорып шығарады (жоғарыдан құйылатын және қабаттан шығатын сұйық), бұл кезде оның құбырдағы көтерілу жылдамдығы өседі және оларда құм тұнбайды.

Парафин шөгінділерін, болдырмау мақсатында арнайы құбырлар пайдаланылады, олардың ішкі беті әйнектелген немесе эмадармен жабылған. Бұдан басқа мезгіл-мезгіл жылумен өңдеу (жылжымалы бу генераторының көмегімен ұңғымадағы және үстіңгі беттегі құбырларды бумен ысыту) арқылы парафиннің жиналуына жол бермейді. Оған қоса, құбырларды органикалық ерітінділермен жуады.

Құбыр қабырғаларында, сорап бөлшектерінде және басқа да жер асты жабдықтарында тұздардың жиналуы ұңғыманы пайдалануды едәуір қиындатады. Тұз жиналуының негізгі себептері: айдалған судың гипспен және ангидритпен байытылуына байланысты, бұл олардың тау жыныстарының қаңқасынан сілтілену есебінен болады, айдалған судың қабат суларымен сәйкес келмеуінен, тұз ерітінділерінің тепе-теңдігінің бұзылуы және термобаралық өзгерістерге байланысты, олардан қатты тұнбалардың түсуінен, бұл қабаттағы немесе ұңғымадағы ерітінділердің қозғалыс жүйесі кезінде жүретін құбылыс, судағы тұз концентрациясының артуына сәйкесті сұйықтың бір бөлігінің булануынан және т.б. Тұз жиналуымен күресудің өте тиімді әдістері, қатты тұнбалардың түзілуін алдын-алуға негізделген. Бұл үшін қабатқа, қабат сұйығына сәйкес келетін сұйықтарды айдайды, олар араласа отырып қабат жағдайында бастапқы кристал түзілуі кезінде концентрациядан төмен тұздардың шекті ерітіндісін төмендетпейді. Бұдан өзге тұз жиналуды болдырмаудың басқа да технологиялық әдістері қолданылады (судың келу ағынын шектеу, сыйымдылық пішінін (профилін) реттеу және т.б.). Тау жыныстарынан тұздарды жуып тазарту кезінде, қабат суларымен сәйкес келетін айдалған судың, фильтрация үрдісі кезінде гипспен және ангидритпен байытылу қабілеттілігі жоғары болатындықтан көздеген тиімділікке қол жетпеуі мүмкін.

Ұңғымадан тұздарды шығару үшін және тұз жиналуының алдын-алу үшін реагенттер-ингибиторлардың көп мөлшері ұсынылды. Олардың құрамына байланысты, ингибиторлегіш қоспаның байқалу механизмі әр түрлі. Олардың ішінде бірі кальцийдің, барийдің және темірдің иондарын бейтараптандырады, олардың карбонатты және сульфатты иондармен әсерлесуіне кедергі жасайды, ал басқалары кристалдың ұсақ түйірлі беттеріне адсорбциялана отырып, олардың жаңадан пайда болуы мен өсуіне кедергі жасайды. Кейбір ингибиторлар өзін тұз кристалдарын бұзушы ретінде көрсетеді. Реагенттерді дозировкалы сораптар арқылы ұңғыманың құбыраралық (сақиналы) кеңістігіне енгізеді немесе қабаттың түп аймағына бастырады. Құбырларда тұздар (кальций мен магний карбонаттары) жиналған жағдайда, оларды тұз қышқылымен өңдейді.

Тұз жиналу үрдісінің алдын-алудың әр түрлі физикалық тәсілдері игеріліп және енгізілуде. Мысалы, жабдықтар мен құбырлардың беттеріне жағылған полимерлердің кейбір түрлері, оларда тұздардың жиналуына кедергі жасайды. Суды магнитті өңдеуде және ортаға акустикалық әсер ету кезінде, тұз жиналудың қарқындылығы азаяды.

Ескеріліп өткендей, негізгі үлкен қиыншылық, тұтқырлығы жоғары сумұнай эмульсиясын немесе мұнайды ұңғымадан сорып шығару кезінде туындайды. Бұл кезде сұйықтағы штангінің үйкеліс күші штангі салмағына тең немесе үлкен болып келеді және олар ұңғымада кептеліп тұрып қалады. Мұндай жағдайды болдырмас үшін арнайы конструкциядағы әр түрлі сораптарды қолданады, сораптың сұйықты қабылдау аузында орнатылған электрлі жылытқыштармен сұйықтарды ысыту, ұңғымаға құбыраралық кеңістік арқылы дозировкалы сораптармен, сумұнай эмульсиясының тұтқырлығын азайтатын беттік-әрекетті заттарды енгізеді және т.б. Көлбеу және ауытқыған ұңғымалардағы, құбыр мен

штангінің қажалуын болдырмас үшін, арнайы қапталған, қажалуға шыдамды муфталарды қолданады.

Қабатты сұйықпен жару әдісі алғаш рет 1948 жылы қолданған. Қазіргі кезде бұл технология мұнай кен орындарындағы өткізгішті аз, әлсіз дренаждалатын қабаттардың мұнай бергіштігін көтеру және игеруді күшейтудегі ең белгілі әдістердің бірі болып саналады.

Көптеген аймақтарда бұл технология өндіруді елеулі түрде көтеретін және ұңғымаларды рентабельді категорияға шығаратын жалғыз технология болып табылады. Өзен объектілерінде қабатты сұйықпен жаруды қолдану (ҚСЖ) садалған, өткізгіштігі аз қабаттарды игеруде өзінің тиімділігін көрсетті.

Қабатты сұйықпен жару өнімді қабатқа әсер ету арқылы ұңғыманың өнімділігін көбейту, мұнайды алу қарқынын жылдамдататын және қабаттың мұнай бергіштігін көбейтетін әдіс болып табылады. ҚСЖ өндіру ұңғымаларында да, айдау ұңғымаларында да қолданылады.

ҚСЖ процесі екі этаптан тұрады; бірінші этапта өнімді қабатқа жоғары қысымда және қажетті жылдамдықта жұмыс сұйықтығын айдайды, осының нәтижесінде коллектор жынысы жарылып, қолдан жасалған жарықтар райда болады. Екінші этапта процесс біткен соң жоғары өткізгіштікті сақтап қалу және артық қысымды түсіру мақсатында қабатқа жарықтың қабырғаларын ашық күйінде ұстап тұратын жарықтарды кеңейткіш айдалады.

ҚСЖ жүргізілген кездегі өнімділіктің көтерілу деңгейі жарықтың еніне және жарылған материалдың өткізгіштігіне байланысты.

Соңғы жылдары ғылыми-зерттеу зертханаларында және шетел фирмаларының орталықтарында әртүрлі геологиялық жағдайларда қабатты сұйықпен жару технологиясын жетілдіру жұмыстары жүргізілуде, яғни жарудағы жұмыс сұйықтығын, жарықтарды бекіту материалдарын таңдау, айдаудың оптималды қысымы мен жылдамдығын, сонымен қатар ҚСЖ-нің периодтылығын анықтау және т.б.

ҚСЖ-ын жүргізуді жобалаудың жетілдірілген әдістері мен зертханалық зерттеулер гидрожару операциясының максималды экономикалық тиімділігін қамтамасыз ететін жағдайларды анықтауға мүмкіндік береді.

Полимерлер химиясындағы зерттеулер, сонымен қатар қабатты жару технологиясындағы жетістіктер үлкен масштабтағы өндеулерді жүргізуге мүмкіндік берді. 7600 м³ сұйықтық және 1300 т құм айдау арқылы өндеу жұмыстары жүргізілген. Әдетте айдау темптері 0,8-16 м м³/мин аралығында болады. Қазіргі таңда жарғыш материал концентрациясы 600-960 кг/м³ аралығында өзгереді, және де операцияның басында бұл материалдың концентрациясы 120 кг/м³ көлемінде болады, ал операция соңында 1700-1900 кг/м³–ке дейін өседі.

Қабатты сұйықпен жару қондырғысы жоғары дәрежеде қиын болып кетті, ол көп мөлшерде құрғақ және сұйық қоспаларды дозалауға, сәйкесінше олардың жұмыстық сұйықпен араласуына және оларды әртүрлі концентрациядағы жарғыш материалдармен айдауға мүмкіндік береді. Кеңейткіш концентрациясы 2400 кг/м³ мөлшерге жеткен кездер сирек емес. Үлкен көлемді материалмен жұмыс істеу үшін, оларды сақтауға және тасымалдауға арналған арнайы қондырғылар жасалған, бұл олардың сұйыққа үлкен жылдамдықпен берілуін, жүйеге қоюландырғыштарды, фильтрация көрсеткішін төмендеткіш қоспаларды, полимерді деструкциялайтын реагенттер және БАЗ-ды енгізуді және дозалауды жеңілдетуге арналған.

Қазіргі таңда Ресейдің мұнай өндірісінде қабатты сұйықпен жару әдісінің қолданылуына және дамуына көп көңіл бөлінуде. Бұл осы саладағы өткізгіштігі аз коллекторлардан мұнай өндіру үлесінің көбеюіне, сонымен қатар экономикалық көрсеткіштерге: мұнай бағасының өсуі және Ресей Өкіметінің қиын өндірілетін мұнай қорын өндірудегі жеңілдіктеріне байланысты. Осы саланың өндірілетін қорының 40%-тен астамы өткізгіштігі 50 мд-ден аспайтын коллекторларда шоғырланған, олардың 80% Батыс Сібірде.

Дүниежүзілік тәжірибе көрсеткендей өткізгіштігі аз коллекторларды игеруді қарқындатудың тиімді тәсілі осы қабатты гидрожару тәсілі болып табылады.

Гидрожару кезіндегі жоғары өткізгішті жарықтар ұңғымалардың өнімділігін 2-3 есе арттыруға мүмкіндік береді, ал ҚРЖ-ды игеру жүйесінің элементі ретінде қолдану, яғни

гидрожарылыс жарықтары бар ұңғымалардың гидродинамикалық жүйесін жасау өндірілетін қорды алу темпін өсіреді, әлсіз

дренаждалатын зоналарды мен қабатшаларды игеруге қосу арқылы және сулану аумағын көбейту арқылы мұнай бергіштікті көбейтеді, сонымен қатар игеруге мүмкін дебиті рентабельдік деңгейден 2-3 есе төмен кеніштерді қосуға мүмкіндік береді.

ҚСЖ өткізгіштігі төмен кен орындарда қолданудың болашағын бағалау мақсатында 1988 жылы осы әдіс үшін потенциалды объектілердің анализі жасалды. Объект ретінде келесідей кеніштерді алған:

- коллектордың өткізгіштігі мұнайдың тұтқырлығы 5 сп болғанда 30 мд-дан аз және 5-50 сп болғанда 50 мд;
- қабаттың тиімді қалыңдығы 3 метрден жоғары;
- бастапқы баланстық қор 0,5 млн. тоннадан жоғары;
- қордың өндірілген бөлігі 30%-тен аспайды;
- қабаттың жату тереңдігі 3500 метрден аз.

Анализ бойынша Батыс Сібірде (елдің негізгі мұнай-газ өндіруші аймағы) мұндай объектілердің саны 50 астам, ал олардың жалпы қоры 2,9 млрд тонна. Тандалынған объектілерді екі топқа бөлді:

1-ұңғымалардың жұмысын қарқындатпай игеру экономикалық тиімсіз кеніштер, яғни гидрожару ұңғымалардың өнімділігін рентабельді деңгейге дейін көтеруге және баланстан тыс қорларды өндірістік қорға аударуға мүмкіндік береді;

2-өндіру деңгейі рентабельдіден жоғары кеніштер, бұларда гидрожару игеру темпін еселі өсіру арқылы осы қорларды және ұңғымалардың өзін пайдалануды тиімдірек етеді.

Осы объектілердің сандық қатынасы сәйкесінше 1/3 болған.

Тандалынған объектілердегі қабатты гидрожару операциясын жүргізу үшін қажетті ұңғымалар фонды, мұнайлылық ауданын және ұңғымалар торының орташа тығыздығын (25 га/ұңғ.) ескерсек, 20 мыңға жетті.

Соңғы 5 жыл ішінде осы салада ҚСЖ бойынша 10-нан астам маманданған кәсіпорындар (МК) құрылған. Барлық кәсіпорындардың техникалық жабдықталуы шетелдік қондырғыларға және технологиялық материалдарға (пропан, жару сұйықтықтарын дайындау үшін қажетті химреагенттер) негізделген.

Осы жылдардың ішінде әртүрлі геология-физикалық жағдайларда ҚСЖ жұмыстарын жүргізуде және оның тиімділігін бағалауда біраз тәжірибе жинақталды. Қазіргі кезде гидрожару жүргізілетін объектілерді шартты түрде екі топқа бөлуге болады: қимасы бойынша біртекті қалыңдығы үлкен (15-20 м және одан да жоғары) қабаттар және қимасы мен жайылымы бойынша біртекті емес қабаттар.

“Юганскфракмистер” кәсіпорынының “Юганскнефтегаз” АҚ-ның 15 кен орнында жүргізілген 534 ҚСЖ-дың тиімділігінің анализі келесідей мәліметтерді берді. ҚСЖ-ң қолданудың негізгі объектілері ретінде өткізгіштігі аз коллекторлы кеніштер алынған: өңдеудің 77% қабат өткізгіштігі 50 мд-ден аз объектілерде, соның ішінде 51% – 10мд-ден аз және 45% – 5 мд-ден аз. Ең алдымен ҚСЖ жұмыстарын тиімділігі аз ұңғымалар фондында жүргізген: жұмыс істемей тұрған ұңғымаларда 24% (жұмыстың жалпы көлемінен) және аз дебитті ұңғымаларда: сұйық дебиті 5 т/тәулік ұңғымаларда- 28% және 10 т/тәулік ұңғымаларда-75%. Орташа есеппен барлық өңдеулер және ҚСЖ-ды жүргізу барысында сұйықтықтың дебиті 8,3-тен 31,4 т/тәулікке дейін, ал мұнай дебиті 7,2-ден 25,3 т/тәулікке дейін өскен, яғни мұнайды өндіру суланудың өсуі 6,2% болғанда 3,5 есе өскен. Нәтижесінде ҚСЖ әсерінен мұнайды қосымша өндіру 5 жыл ішінде 8 млн. тоннаға жетті.

2 типті қабаттарды гидрожарудың қызықты тәжірибесі Повхов кен- орнында “Лукойл-Когалымнефтегаз” АҚ-мен алынған.

Повхов кенорнындағы игеру жүйесін реттеудің негізгі мақсаты БВ8 қабатының үзілісті зонасын қарқындырақ жұмыс істеуін қамтамасыз ету және қорды алудың темпін жеделдету.

Осы мақсатта кен орнында 1992 жылдан 1994 жылға дейін 154 ҚСЖ жұмысы жүргізілген. Жұмыстың табыстылығы 98% болды. Дебит орташа есеппен 5 есе өскен.

Қосымша өндірілген мұнайдың көлемі 1,6 млн. т. Технологиялық тиімділіктің есептік ұшақтығы 2,5 жыл. Бір ұңғымадан күтулі қосымша өндіру 1,6 мың т. Экономикалық тиімділік 73 мың доллар/1ҚСЖ болды.

“Лукойл-Когалымнефтегаз” АҚ-да осындай техника-экономикалық өнімділік көрсеткен басқа кен орын жоқ. ҚСЖ жұмыстары жалғасуда.

Теория мен тәжірибе көрсеткендей коллекторларының өткізгіштігі 10-30 мд қабаттарда жарықтар ұңғымалардың өнімділігін 2-3 есе өсіреді. Өнімділіктің одан да көп өсуі қабаттың таза емес түптік зонасының әсерінен немесе оның біртектілігінің әсерінен болмайды.

Қалыпты жағдайда екі фактор да кездеседі, біріншісі – барлық жерде. Мұнай өндірудің отандық тәжірибесінде бұрғылау кезінде өнімді қабатты сапасыз ашудан және ұңғымаларды меңгеру мен оларды жөндеу кезіндегі ұңғыма түбін дұрыс тазаламау әсерінен көптеген ұңғымалардың дебиті потенциалды дебиттен 1,5-2 есе аз болады.

Жоғарыда көрсетілген ҚСЖ нәтижелері осыны растайды. Сонымен, технологиялық жағынан білікті жүргізілген өткізгіштігі аз қабаттарды гидрожару жұмыстары ұңғыма дебитін 3,5-4 есе өсіреді. Күнделікті дебиті 5-7 т/тәулік ұңғымалардың дебиті ҚСЖ әсерінен орташа 15т/тәулік мөлшерде өседі.

Қабатты гидравликалық жару әдісін қолдану объектілерін таңдау белгілі геолого-техникалық шарттармен шектелген, бұл шарттарды орындамау ҚСЖ-дың тиімділігінің төмендеуіне немесе кері нәтижелерге әкелуі мүмкін. Геологиялық жағдайларды және ҚСЖ-ды қолданудың тәжірибесін анализ жасау негізінде ҚСЖ жүргізу баянды нәтиже беретін объектілерді таңдау шарттары жасалған.

Коллектордың өткізгіштігі және мұнайдың тұтқырлығы.

Қабатты сұйықпен жару өткізгіштігі аз коллекторларды игерудің қарқындылығын жоғарылатуда қолданылатын тиімді әдіс. Сондықтан ҚСЖ-ды жүргізетін объектілерді таңдаудың негізгі критерийі өнімді қабаттың орташа өткізгіштігі болып табылады. ҚСЖ-ды табысты жүргізу үшін қабаттық жағдайдағы тұтқырлығы 5МПа*с-тен аспайтын мұнайлар үшін қабаттың өткізгіштігі 0,03 мкм² және тұтқырлығы 5-50 МПа*с мұнайлар үшін 0,05 мкм²–тан аспау керек. Өнімді қабаттың өткізгіштігі жоғары болған жағдайда гидрожару жарықтары фильтрация процесіне елеулі әсер етпейді, нәтижесінде ұңғымалардың өнімділігін көбейту ҚСЖ-ды жүргізуге кеткен шығындардың орнын толтырмай қалуы мүмкін. Өткізгіштігі орташа және жоғары қабаттарда ҚСЖ-ды тек ластанған түп зонасын тазарту үшін қолдану тиімді нәтиже береді.

Қабаттың қалыңдығы.

Өнімді қабаттың тиімді қалыңдығы 4-5 метрден аз болмау керек. Егер қабат қалыңдығы аз болса ҚСЖ жұмыстарын жүргізу қиындайды және оның тиімділігі төмендеуі мүмкін.

Экрандардың қалыңдығы

ҚТНГЖ-ды жүргізудің маңызды шарттарының бірі - өнімді қабатты жоғарыдағы және төмендегі коллекторлардан (әсіресе олар жоғары өткізгішті және суға қаныққан болған болса) бөліп тұратын, жеткілікті қалыңдықты және ауданы бойынша төзімді экрандардың болуы. Жарылатын қабатты сенімді оқшаулауға жеткілікті экрандардың қалыңдығы қабат пен экрандағы табиғи кернеулерге, сонымен қатар ҚСЖ-ды жүргізу технологиясына байланысты. Ең үлкен кернеулер, әдетте, саз және алевролит сияқты пластикалық жыныстарда байқалады. Саздың құрамындағы құмды және алевролитті материалдың көбеюі және олардың аргилиттелуі экрандаушы қасиеттердің нашарлауына әкеп соғады. Саздардың экрандаушы қасиеттері тереңдікке байланысты тығыздалуынан (сусыздану нәтижесінде) нашарлайды. Әдетте 2500-3000 м тереңдіктегі жарықтың жарты ұзындығы 50-100 м және айдау темпы 2,5 м³/мин ҚСЖ үшін экрандардың қалыңдығы 8-10 м болуы керек.

Ұңғымалардың су-мұнай және газ-мұнай жапсарынан алыстығы.

ҚСЖ-ға арналған ұңғымалар су-мұнай және газ-мұнай жапсарынан біршама қашықтықта, әдетте ұңғымалардың арақашықтығынан аз емес, жату керек. Егер ұңғымалар мұнайлылық контурына жақын жатса, олардың тез сулануы немесе газды телпектегі газдың шығуы байқалуы мүмкін, әсіресе егер жарықтардың бағыты контур сызығына перпендикуляр

болса.

Қабаттың бөлшекшілігі

ҚСЖ-ны жүргізу үшін ең оптималды объект - өткізгіштігі біртекті, жеткілікті қалыңдықтағы қабат. Өнімді қабат қимасының бөлшектенуі ҚСЖ-ны қолданудың тиімділігін төмендетуі мүмкін.

Сонымен қатар, біртекті емес қабаттардағы жарықтарды жобалауда жарықтардың ұзындығын, пішімін және енін бағалауда, ҚСЖ-ның технологиялық тиімділігін бағалауда қателер кетуі мүмкін.

Қабаттың тереңдігі.

ҚСЖ-ды қолданылу арқылы игерілетін объектілердің максимал тереңдігі гидрожаруға арналған қондырғылар комплексінің техникалық мүмкіндіктерімен және бекіткіш материалдардың төзімділігімен анықталады. Кварцты құмды пайдаланған кезде игеру объектісінің жату тереңдігі метрден аспау керек. Төзімділігі жоғарырақ материалдарды пайдалану ҚСЖ қолдану арқылы игерілетін объектінің максимал жату тереңдігін көбейтеді.

Жоғарыдағы шарттар бойынша игеру объектілерін таңдаған соң ҚСЖ жүргізетін ұңғымаларды таңдайды. Кенішті игеруді оптимизациялаумен қатар ұңғыманың техникалық жағдайы, оның өндірістік көрсеткіштері ескеріледі; таңдауға алынған ұңғымалардың қалдық дебиті 7 т/тәуліктен кем болмау керек. Таңдау жарудан соң ұңғымалардың 80%-нің дебитінің өсуі 15 т/тәуліктен аз болмау керек, қалғанының дебиті 8 т/тәуліктен кем болмау керек.

Ұңғымалардың техникалық жағдайы.

Ұңғыма техникалық жағынан дайын болу керек. Эксплуатациялық колоннаның пакерді отырғызу интервалында ешқандай бұзылыстары мен деформациялары болмау керек. Перфорацияланған интервалдан 50 м жоғары және төмен жерлердегі цементтік сақинаның эксплуатациялық колоннамен және қабат жынысымен ілінісуі қанағаттанарлық болу керек, бұл ҚСЖ барысында колоннадан тыс ағыстардың болмауын қамтамасыз етеді.

Перфорация интервалы.

Перфорацияланған интервал 20-25 метрден аспау керек. Бұлай болмаған жағдайда ҚСЖ-дың қабатты толық қамтуын қамтамасыз ететін қосымша техникалық және технологиялық шараларды жүргізуге тура келеді.

Скин-эффект

ҚСЖ жүргізгеннен кейін ұңғыманың өнімділігін арттырудың қолайлы факторы - онда скин-эффекттің болуы. ҚСЖ өнімділігі жоғары қабаттармен қоршалған өнімділігі төмен ұңғымаларда жақсы эффект көрсетеді.

Қабатты гидрожару тиынақты дайындықты, ұңғыма мен өнімді қабаттың жұмысының көптеген факторларын ескеруді, жоғары профессионалды дайындықты қажет ететін технологиялық процесс болып табылады.

Қабатты гидрожару жұмыстарының құрамына ҚСЖ жүргізетін ұңғымаларды таңдау, оларды дайындау, қабатты жару операцияларын жүргізу және гидрожарудан кейін ұңғыманы игеру кіреді.

ҚСЖ эффективтілігі едәуір дәрежеде ұңғыма мен өнімді қабаттың бастапқы анықталған көрсеткіштеріне байланысты.

ҚСЖ жүргізу ұңғымаларын таңдау геолого-техникалық шарттарға сәйкес жүргізіледі. Таңдалынған ұңғымалар бойынша жүргізілетін ҚСЖ жүргізу жобасын жасайды, бұл жобада барлық операциялардың реттілігі, процестің технологиялық параметрлері, сонымен қатар қолданылатын құрал-жабдықтар, материалдар, олардың саны көрсетіледі.

Қажет болған жағдайда ҚСЖ жүргізбес бұрын ұңғымадағы сұйықтықты ауыстырады, ұңғыма бітеледі және жұмыс істеп тұрған құбырлар желісінен ажыратылады. Ұңғымаға жұмысқа қажетті барлық қондырғылар мен құрал-жабдықтар жеткізіледі:

- көтеріп-түсіру жұмыстарын жүргізу үшін ұңғымаларды жөндеуге арналған А-50М агрегаты;

- құбырларға арналған сөрелер (стеллаж);

- сорапты компрессорлы құбырларды тасымалдауға арналған құбыр тасығыш;

- автокран (2 адам);
- бульдозер (1 адам);
- цементтеуші агрегат (1 адам);
- төменгі қысымды сорап АЦН-12 (1 адам);
- жоғарғы қысымды сорап 4АН-700 (1 адам);
- мұнай қыздырғыш қондырғы (1 адам);
- трактор Т-100 (1 адам);
- мұнай тасығыш (1 адам);
- құм тасығыш (1 адам);
- бу қозғалтқыш қондырғы ППУ-1600/100 (1 адам);
- өрт сөндіру машинасы (5 адам);
- сағалық және ұңғымалық қондырғылар;
- құрал-жабдықтар;
- технологиялық сұйықтықтарға арналған сыйымдылықтар және т.б.

МК мамандары ұңғыманы жөндеу агрегатының көмегімен ұңғымадан терең-сорапты қондырғыны алып, соңғы жағы қиылған (перо) сорапты компрессорлы құбырларды түсіреді де, ұңғыманы түбіне дейін жуады.

МК мамандары өнімді қабаттың параметрлерін, шегендеуші колоннаның, өнімді қабат маңындағы және одан төмен, жоғары жердегі цемент тасының жағдайын анықтау мақсатында қосымша зерттеулер жүргізеді.

Шегендеуші колоннаның өткізгіштігін анықтау үшін МК мамандары оны сәйкес диаметр шаблонумен шаблондайды. Дайындық жұмыстарында келесі техника қолданылады:

- технологиялық сұйықтықтарды тасымалдауға арналған автоцистерналар;
- бригаданың құрал-жабдықтарын тасымалдауға арналған трейлерлер;
- жұмысшыларды тасымалдайтын автобустар;
- жұмысшыларға арналған вагон-үй;
- қондырғыларды, материалдарды, құрал-жабдықтарды жеткізетін автомобиль;
- геофизикалық қондырғылар (зертхана, көтергіш).

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Н.Б.Айткалиева и др. «Пересчет запасов нефти и газа валанжинского горизонта месторождения Узень Мангышлакской области Республики Казахстан по состоянию на 01.09.2004г.», Актау.
2. Отчет деятельности геологической службы НГДУ «Узеннефть» за 2004г.
3. Регламент составления проектов и тех.схем разработки нефтяных и газовых месторождений РД 39-0147035-207-86 Москва, ВНИИ, 1986г.
4. В.Д.Лысенко «Проектирование разработки нефтяных месторождений» Москва, Недра, 1987г.
4. В.И.Щуров «Техника и технология добычи нефти», Москва, Недра, 1988г.
5. М.М.Ермеков «Справочная книга по добыче нефти», Алматы, 2007г.
6. Мищенко И.Т. «Скважинная добыча нефти», М., Недра, 2003 г.
7. Середа Н.Г. «Бурение нефтяных и газовых скважин», М., Недра, 1988 г.

**Р.Т. Сулеменова, Ж.Б. Шаяхметова, Ж.Б. Сәрсен
Ж.Н. Батырханова**

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

АНАЛИЗ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНЫХ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗЕНЬ

Аннотация. В этой статье речь идет о том, что последние достижения науки и технологий требуют радикальных изменений старых производственных методов на основе нового набора передового производственного опыта, который будет основываться на новых технологических процессах. В области нефтедобычи эта технология обеспечивает повышение уровня добычи нефти из пласта с высокими техническими и экономическими показателями. Процессы добычи нефти сложны и многофакторны, зависят от множества факторов.

В движении нефти от месторождения до объектов переработки большую роль играют асфальто-смоляно-парафиновые (АШП) компоненты, минеральные соли и структурно-механические свойства добываемой нефти. Кроме того, в нефтедобыче также наблюдаются такие проблемы, как высокая вязкость воды и образование водонефтяных эмульсий. Роль добычи нефти в настоящее время возросла в качестве сырьевой базы для нефтехимии. Использование сопутствующих газов и природного газа эффективно для переработки нефти, так как они извлекаются из остатков, получаемых в процессе переработки нефти.

В настоящее время эта технология считается одним из самых известных методов повышения нефтеотдачи и усиления притока нефти в малопродуктивных, слабо дренируемых слоях нефтяных месторождений. Во многих регионах эта технология является единственной, которая существенно увеличивает объем добычи и переводит скважины в рентабельную категорию.

На месторождениях нефти и газа использование гидравлического разрыва пласта показало свою эффективность при освоении малопроницаемых пластов. На территории Казахстана находятся огромные запасы нефти и газа. В настоящее время в Казахстане открыты месторождения нефти и нефтегаза, которые осваиваются объединениями «Ембимунай», «Тенизшевройл», «Узенмунайгаз», «Ақтобемунайгаз».

Ключевые слова: производственный опыт, повышение уровня добычи, добыча нефти, переработка нефти, освоение пластов, запасы нефти и газа, методы повышения нефтеотдачи.

R.T. Suleimenova, Zh.. B. Shayakhmetova, Zh. B. Sarsen, Zh. N. Batyrkhanova
Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev, Atyrau, Kazakhstan

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE MAIN OIL RESERVOIRS OF THE UZEN FIELD

Annotation. This article discusses how the latest advances in science and technology necessitate radical changes to traditional production methods, based on a new set of best manufacturing practices that will rely on new technological processes. In the field of oil production, this technology ensures an increase in oil recovery from reservoirs with high technical and economic indicators.

The processes of oil production are complex and multifaceted, dependent on numerous factors. The movement of oil from the reservoir to production facilities is significantly influenced by asphalt-resin-paraffin (ARP) components, mineral salts, and the structural-mechanical properties of the extracted oil. Additionally, challenges such as high water viscosity and the formation of water-oil emulsions are also observed in oil production.

Currently, petrochemicals are becoming very important as a raw material base. The utilization of associated gases and natural gases is a crucial method for maximizing the efficient use of waste during the oil refining process. Such technologies help to enhance the oil recoverability of low-permeability, poorly drained reservoirs and open pathways for significant production increases.

For example, Kazakhstan has large reserves of oil and gas. Several companies, such as "Embamunai," "Tengizchevroil," "Ozenmunaygas," and "AktobeMunayGas," are involved in the development of oil and gas fields here. The oil sector plays a vital role in Kazakhstan's economy, as it contributes to ensuring the country's energy security and supports the economic well-being of the population.

Key words: production experience, increase in production levels, oil extraction, oil refining, reservoir development, oil and gas reserves, enhanced oil recovery methods.

УДК 553.982.2: 51-74

**Ж.Б. Шаяхметова, Ж.Б. Сәрсен, Н. Жолмырзаева, С.Асламбекова,
Ф.А. Исмурзина**

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

E-mail: Zhanar6688@mail.ru, sarsenzhanna01@gmail.com,

sabina.assylbekova@gmail.com, zholmyrzaeva2004@gmail.com

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ РАБОТ ПО ИЗОЛЯЦИИ ВОДОПРИТОКА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КУМКУЛЬ

Аннотация. Одной из ключевых проблем разработки истощенных нефтяных залежей является повышение конечной нефтеотдачи. В статье рассматриваются основные причины обводнения скважин и методы изоляции водопритока, включая селективную и направленную изоляцию, ликвидацию негерметичности эксплуатационных колонн. Анализируются технологии, применяемые для ограничения притока воды, в том числе гелеобразующие составы, полимерные и цементные композиции. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний различных методик водоизоляции, их эффективность и перспективы применения на месторождении Кумколь. Рассматривается факторный анализ потерь добычи нефти и его роль в оптимизации производственных процессов. Полученные данные позволяют повысить эффективность эксплуатации месторождений и минимизировать технологические риски при разработке.

Ключевые слова: изоляция водопритока, обводнение скважин, нефтеотдача, селективная изоляция, направленная изоляция, гидродинамическое моделирование, водоизоляционные работы, полимерные композиции, гелеобразующие составы, факторный анализ.

Одной из актуальных проблем дальнейшей эффективной разработки истощенных нефтяных залежей (ИНЗ) является повышение их конечной нефтеотдачи. Дальнейшая эксплуатация месторождений с применением заводнения становится нерентабельной. При этом в среднем на данных объектах не менее 50% запасов останутся неизвлеченными. Многими исследователями изучены и установлены основные причины обводнения скважин (рисунок 1):

- прорыв закачиваемой воды по высокопроницаемым и недонасыщенным прослоям;
- подтягивание конуса подошвенной воды из водонефтяных зон;
- прорыв пластовых вод из выше- и нижележащих водоносных горизонтов по заколонному пространству;
- негерметичность э/колонн в различных водонасыщенных интервалах.

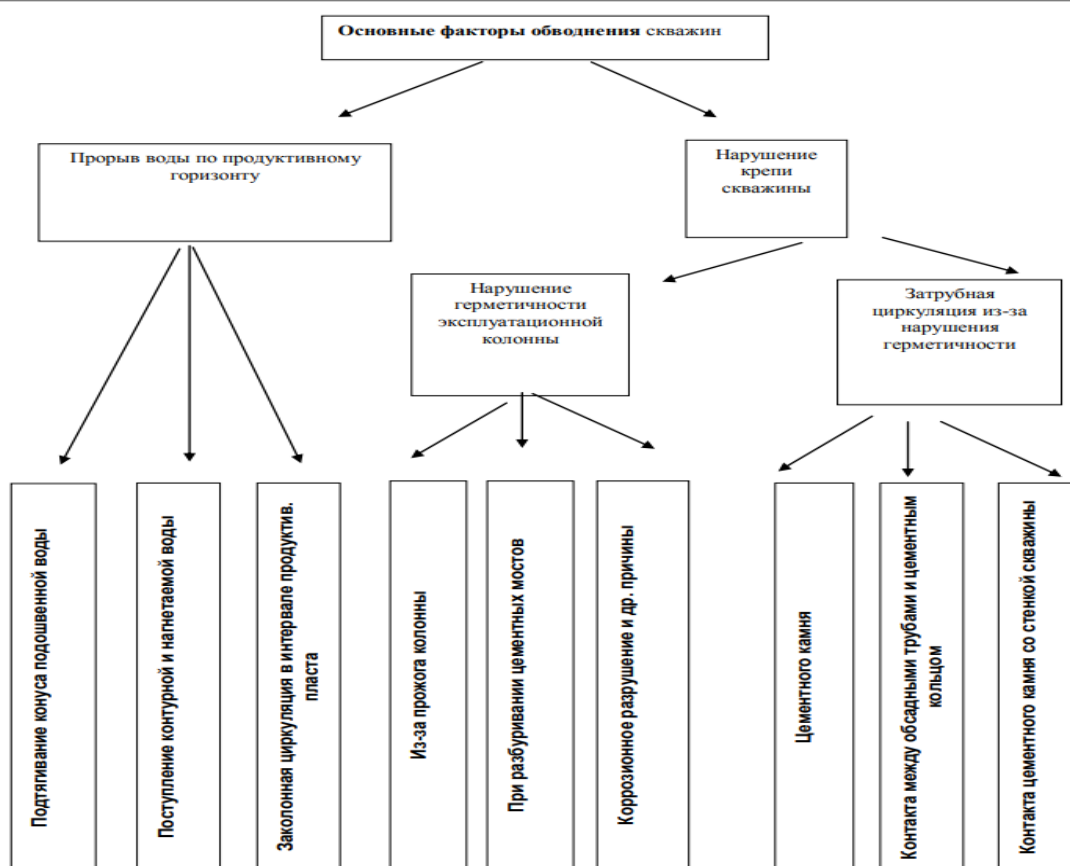


Рисунок 1- Основные факторы обводнения скважин

Методы воздействия на призабойную зону добывающих и нагнетательных скважин также реализуют отклоняющее воздействие на фильтрационные потоки. Поэтому к этому методу можно отнести широкий круг ГТМ: уплотнение сетки скважин; ограничения водопритока добывающих скважин; выравнивание профилей приемистости нагнетательных скважин; форсированные отборы; все виды механических, термохимических, тепловых технологий. Рассмотрим ряд ГТМ, решающие задачи ПОТ.

Методы ограничения водопритока (РИП)

- Методами изоляции в скважинах водопритока являются:
- Селективная изоляция водопритока;
- Направленная изоляция (отключение водоносных интервалов и нижних вод);
- Ликвидация негерметичности эксплуатационных колонн и заколонных перетоков.

Селективная изоляция водопритока применяется при обводнении части продуктивности пласта. Механизм действия заключается в селективной изоляции высокопроницаемых пропластков и трещин за счет перехода закачиваемого в скважину силикатно-полимерного раствора в гель при повышенной температуре пласта. Образовавшаяся в пласте гидрогель обладают низкой подвижностью и высоким вязкоупругими свойствами.

- Направленная изоляция водопритока применяется при поинтервальном обводнении скважин или при заколонных перетоков, реализуемая по схемам;
- Направленная закачка ВУС в обводненные интервалы с использованием пакера;
- Направленная закачка ВУС с перекрытием нижних нефтенасыщенных интервалов;
- Направленная закачка ВУС с предварительной установкой временно цементного моста, последующего разрушения и повторной перфорации интервалов;
- Ликвидация заколонных перетоков осуществляется через спецотверстия или нижние(верхние) интервалы перфорации;

■ Ликвидация нарушений герметичности эксплуатационной колонны производится в зависимости от их характера с применением специальных тампонажных составов.

Технология селективного воздействия на пласт относительно просто реализуется в том случае, когда необходимо воздействие на его перфорированную нижнюю часть. В этом случае в скважину спускаются НКТ с пакером, который устанавливается над нижним интервалом пласта, намеченным к воздействию. Требуется наличие покрышки над нижним интервалом пласта и отсутствие перфорации в этом интервале эксплуатационной колонны. Затем производят соответствующие мероприятия по воздействию на нижнюю перфорированную часть продуктивного пласта. При этом верхний интервал изолируется пакером. В случае, когда в скважине необходимо воздействие на среднюю(верхнюю) часть пласта, нижняя(средняя) перфорированная часть перекрывается цементным мостом. Это трудоемкая работа.

Анализируются работа, связанные с ограничением притока воды непосредственно из послойно-неоднородного продуктивного пласта. При этом применяют методы, позволяющие отключить обводненной пласт или пропласток из разработки или существенно снизить проницаемость обводненных зон для воды. Такое поинтервальное отключение из разработки обводнившихся пластов, когда еще не произошло обводнение продукции скважин по всему объекту, позволяет увеличить коэффициент текущей нефтоотдачи на 4-5 % при снижении водонефтяного фактора в 1,5-1,7 раза по сравнению с совместной выработки пластов без воздействия.

Таблица 1. Количество РИР, проведенных на добывающих скважинах за 2016-2018г

Вид ремонта	количество скв, ед.	Процент от общего количества, %
Негерметичность эксплуатационной колонны и заколонный переток	59	19%
Изоляция водоносной части пласта	24	8%
Перевод на выше(ниже)лежащий горизонт	223	73%
Итого	306	100%

Большую часть занимают ремонтно-изоляционные работы, связанные с переводом на выше(ниже)лежащий горизонт (73%). При подборе перевода скважин на выше(ниже)лежащий горизонт рассматриваются скважины, выработка извлекаемых запасов которых составляет больше 90%. Водоизоляционные работы составляют всего 8% от всех ремонтных работ. Причиной столь низкому показателю может служить малое количество случаев прорыва нагнетаемых вод к добывающим скважинам либо конусообразование подошвенных вод добывающих скважин. Также не исключаем вариант с неоперативным реагированием на вышеуказанные случаи в производственных управлениях.



Рисунок 2 – Распределение накопленных потерь по факторам

Как видно из рисунка 2 по результатам факторного анализа потерь нефти добывающих скважин выявлено что 58% от накопленных потерь составляет потери из-за высокой обводненности на начало года.

С 2016 года на месторождение проведено 24 водоизоляционные работы по добывающим скважинам. Эффективность по водоизоляционным работам оценивалось по двум критериям: 1) геологический по результатам ГИС-к.; 2) прирост нефти по показателям добычи и обводненности продукции до и после проведения ВИР. Суммарный прирост по всем скважинам составил 80,8 т/сут, дополнительная добыча составляет 62,2 тыс. тонн нефти. Необходимо учитывать, что, по двум скважинам был проведен дополнительный ГТМ (рисунок 3). По 9 скважинам из 20 не наблюдаются прирост нефти. В более 50% скважин операций не проводили ГИС-к после проведения ВИР.

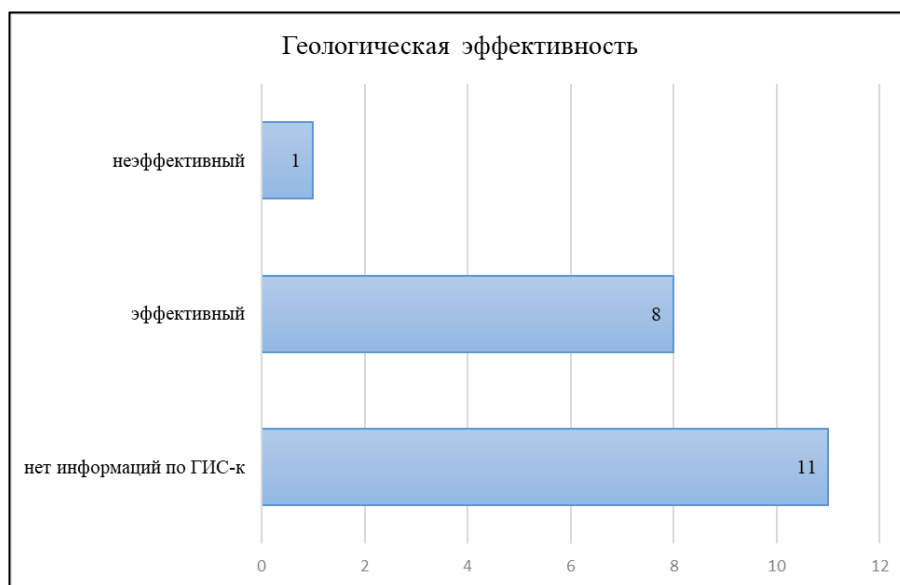




Рисунок 3 – Анализ эффективности проведенных ВИР

Далее будут представлены обзор обобщение опыта водоизоляций и ликвидация водопритокков по литературным источникам.

Апасов Т.К., Апасов Г.Т., Саранча А.В. с своей работы описывают использование карбамидоформальдегидной смолы для водоизоляционных работ. Для решения проблем по водогазоизоляции в нефтяных скважинах предлагаются технология и составы на основе быстросхватывающейся тампонажной смеси на основе карбамидоформальдегидной смолы, для пластовых температур от 20 до 120 °С. На этой основе разработана технология создания блокирующего экрана для ограничения поступления подошвенных вод композицией из двух составов, полимер-глинисто-кварцевой системы с добавлением щелочи, инертных наполнителей или без них и закрепляющей быстросхватывающейся тампонажной смеси, вместо традиционного портландцемента. Предложенная технология, составы практически апробированы на скважинах № 36, 39 Южно-Охтеурского месторождения и рекомендованы для промышленного внедрения. Одним из основных направлений повышения продуктивности скважин на поздней стадии разработки месторождений является разработка и внедрение комплексных технологий интенсификации притока с предварительной изоляцией интервалов водопритокков. Наиболее перспективным при ограничении водопритокков в скважинах является использование полимерных композиций на основе синтетических смол, обладающих рядом преимуществ перед традиционными составами. Выбор и обоснование компонентов тампонажного состава основан на анализе и обобщении результатов теоретических и экспериментальных работ в области применения полимерных композиций на основе смол, а также по результатам лабораторных исследований. Резюмируя были сделаны выводы:

- анализ проведенных водоизоляционных работ на скважинах № 36, 39 показал эффективность технологии по созданию блок-экрана композицией из ПГКС, с закреплением тампонажным составом БСТС, вместо традиционного портландцемента, с последующим освоением нефтенасыщенного интервала ВГМ, струйным насосом.

- рекомендуется для условий Южно-Охтеурского месторождения при выборе места для создания блок-экранов выбирать спецотверстия в переходной водонефтенасыщенной части пласта, выше ВНК на 1-2 м, с мощностью в 1 метр и плотностью перфорационных отверстий 15 отв./на метр, закреплять составом БСТС созданием непроницаемого экрана радиусом более 10 метров.

Фаттаховым И.Г., Кадыровым Р.Р., Галушка А.С. предложен новый усовершенствованный гелеобразующий состав, основу которого составляет силикат натрия, реагент «Витам» и раствор полиалюминия хлорида. Предложенный состав обладает высокой

блокирующей способностью и повышенной устойчивостью образующегося геля. В работе представлен рецепт приготовления данной композиции, а также приведены оптимальные концентрации и соотношения его составляющих.

На современном этапе при проведении водоизоляционных работ используются: композиции на основе цемента с различными полимерными добавками, улучшающими их адгезионные и эластичные свойства; порошкообразные материалы; составы на основе кремнийорганических соединений; полимерные и гелеобразующие составы и т.д.

При данном способе водоизоляции в скважину закачивается гелеобразная композиция, которая в начальный момент времени представляет собой маловязкую жидкость. После определенного промежутка времени происходит резкое возрастание кинематической вязкости до загустевания системы, т.е. раствор резко теряет текучесть и, непосредственно в пластовых условиях, превращается в гель, который способен блокировать обводненные интервалы пласта, ограничивая поступление воды в добывающую скважину.

Таблица 2. Результаты модельных исследований предлагаемого состава «Витам»

№	Содержание реагентов в предлагаемом составе				Коэффициент изоляции, %	
	Силикат натрия, % масс.	Реагент «Витам», % масс.	Древесная мука, % масс.	10%-ый раствор полиалюминия хлорида, % масс	Через 36 часов	Через 6 месяцев
2	20	59	1	20	96	90
3	30	43	2	25	98	91
4	40	27	3	30	100	94
5	20	37	3	40	100	93
6	40	17	3	40	97	92

Предлагаемый способ прошел предварительные модельные и лабораторные испытания, в ходе которых были выявлены оптимальные концентрации и соотношения материалов, используемых для приготовления состава. Модельные испытания проводились на образцах пласта, которые были заполнены кварцевым песком и насыщены пластовой водой. В образцы закачивались различные вариации предлагаемого водоизоляционного состава, объем которых был численно равен поровому объему модели пласта, после чего образцы были оставлены на расчетное время протекания реакции (36 часов). После этого для определения результативности проведенных изоляционных работ был вычислен коэффициент изоляции, а также по закону Дарси была определена проницаемость. Данные измерения и расчеты были повторены через 6 месяцев. Наиболее удачные соотношения компонентов состава, при которых достигается наибольшее значение коэффициента изоляции (главным образом через 6 месяцев) представлены в таблице 3.

Старшов М.И., Ситников Н.Н., Старшов И.М., Малыхин В.И., Залитова М.В. приводят опыт успешных работ по испытанию технологии с использованием гипано-силикатными композициями для водоизоляционных работ. На момент написания статьи в Татарстане всего по данной технологии обработано более 130 скважин. Проведенный анализ показывает, что успешность работ составляет 70%, средняя фактическая величина дополнительной добычи нефти на 1 обработку – 1 тыс. т. Кратность увеличения дебитов нефти относительно доремонтного периода эксплуатации для добывающих скважин – более 2,5 раза. Среднемесячный прирост отбора нефти – более 30 т/мес.

Можно считать, что по своим показателям и достигаемым результатам технология ВИР на основе ГСК является высокоэффективной, которую следует применять и дальше.

Ограничение притока воды из обводнившихся пропластков осуществляют двумя

методами: неселективным и селективным. Для неселективной изоляции используют материал, который независимо от насыщенности среды нефтью или водой образует экран, не разрушающийся в течение длительного времени в пластовых условиях, при этом нефтенасыщенная часть повторно вскрывается перфорацией. Второй метод изоляции водоносных частей продуктивных пластов основывается на закачивании в пласт реагентов, избирательно снижающих проницаемость обводнённых зон. На Южно-Ягунском месторождении для ограничения притока воды из продуктивных горизонтов применяют такие методы, как закачка цементного раствора, который относится к неселективным, а также и селективные – это применение кремнийорганических систем (АКОР-Б100) и инвертных эмульсий на основе материала «Полисил ДФ».

В последние годы наибольшее применение для изоляции обводнённых интервалов пласта на Южно-Ягунском месторождении получили кремнийорганические системы, в частности, АКОР-Б100, который занимает одно из ведущих мест среди водоизоляционных материалов. За 2016 год при использовании данного реагента средний прирост дебита нефти составил 2,82 тонн/сут, обводнённость была снижена в некоторых случаях со 100 % до 63, при этом дополнительно добыто 19,7 тыс. тонн нефти. Успешность ремонтов, проведённых в этом году, равна 88 %. Анализ эффективности показал, что наилучшие результаты получены при отключении верхних и средних пропластков. Применение данной технологии в относительно однородных пластах неэффективно. Сравнивая результаты использования данного компонента на других месторождениях, можно сказать, что они превышают эффект от ремонтов, проведённых на Южно-Ягунском месторождении. Поэтому необходимо определить оптимальные параметры проведения этой технологии и условия её применения.

Как показывает результаты испытания и внедрения селективных водоизоляционных работ с применением гелеобразующих составов по литературным источникам, процент успешности в среднем составляет 79%. Таким образом, предлагаемые технологии обладают реальным технологическим эффектом (лучшим, чем у применяемых ВИР): за счет блокирующей способности представленного гелеобразующего состава обеспечивается надежная изоляция притоков воды в течение продолжительного периода времени и, следовательно, снижается обводненность скважинной продукции. Кроме того, следует отметить, что представленные водоизоляционные составы обладают низкой коррозионной активностью и практически нетоксичны.

Учитывая все достоинства, представленные технологий, могут быть рекомендованы к лабораторным испытаниям и математическому моделированию процесса. При положительных результатах испытаний вышеуказанные технологии рекомендуются к использованию при проведении ремонтно-изоляционных работ по ограничению водопритокров на месторождении Кумколь.

Потребность поддержания и достижения существенных эффектов повышения нефтедобычи за счет совершенствования МУН ограничены. Задача создания в структуры нефтедобывающего предприятия интеллектуальных информационных и управляющих систем как базовом компоненте высокоэффективного производства все еще актуальна.

Деятельность любого предприятия в нефтегазовой отрасли является сложной и очень динамичной, поэтому нуждается в регулярном мониторинге основных показателей добычи нефти, влияющих на производительность и рентабельность. Основная стратегическая задача, которая в настоящее время стоит перед нефтегазодобывающими компаниями-повышение эффективности управления и мониторинга в условиях истощения запасов. В связи с этим недостаточно только реагировать на уже произошедшее событие, повлекшее снижение добычи нефти. Необходимо внедрение факторного анализа, обеспечивающего переход от диагностики причин потерь добычи нефти к анализу и управлению добычи.

Факторный анализ-это анализ влияния отдельных факторов (причин)на результативный показатель с помощью детерминированных или стохастических приемов исследования. Причем факторный анализ может быть, как прямым, т.е. заключающимся в раздроблении результативного показателя на составные части, так и обратным (синтез), когда

отдельные элементы соединяют в общий результативный показатель.

Также факторный анализ успешно применяем в промысловых условиях для определения скважин с наибольшими потерями нефти, а также для дальнейших оперативных действий для восстановления добычи нефти. Далее приводится алгоритм применения результатов по скважинного факторного анализа (рисунок 3-4).

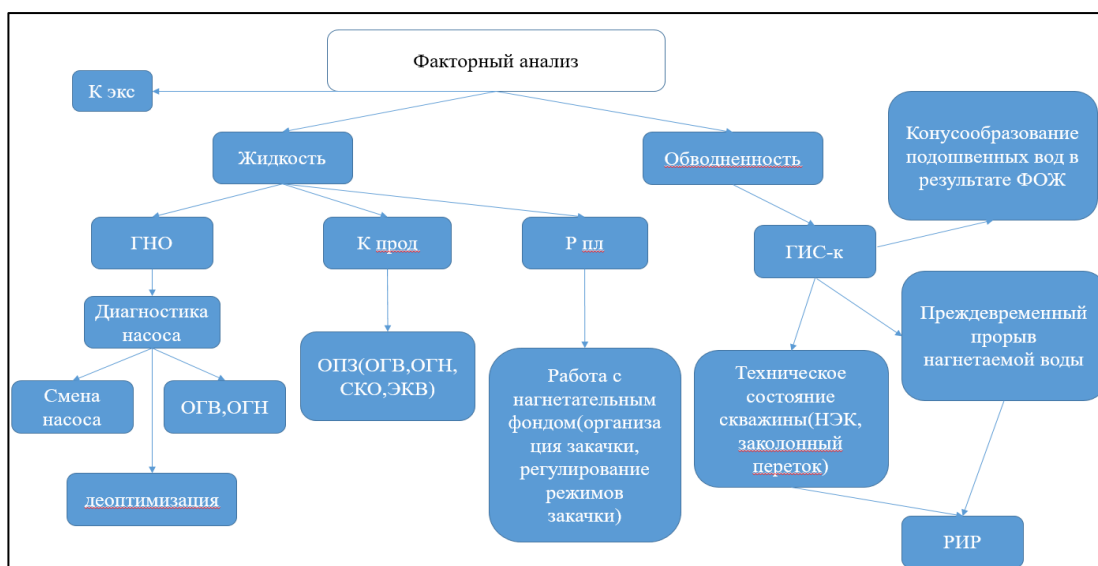


Рисунок 3 – Алгоритм применения результатов факторного анализа

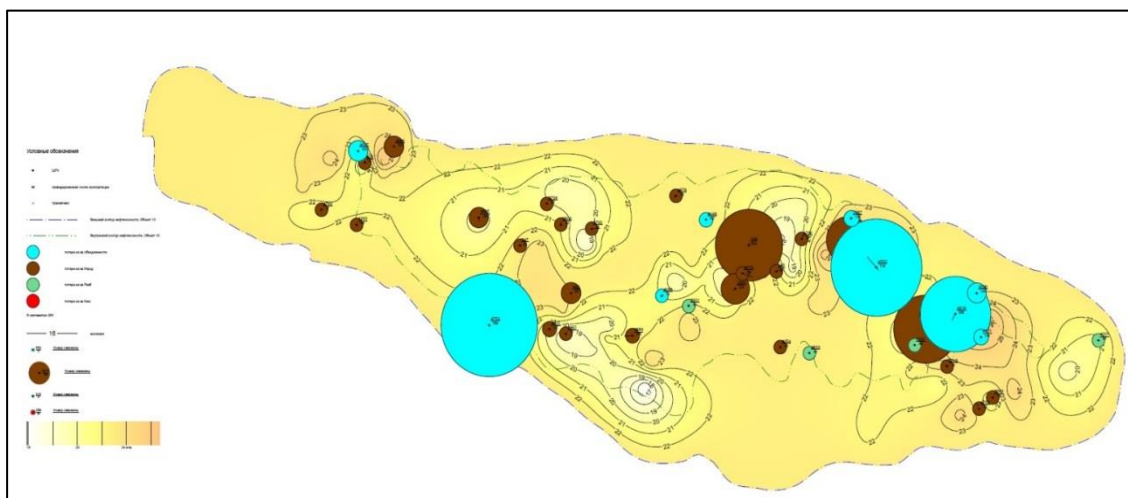


Рисунок 4 – Карта потерь нефти

Результаты факторного анализа отклонения добычи нефти.

Исходя из результатов расчетов установлены следующие выводы:

Возможность внедрения единого методического подхода для определения факторов отклонений фактической добычи нефти от плановых месячных объемов добычи на месторождении и определения факторов отклонений фактической месячной добычи нефти по скважинам за два рассматриваемых месяца.

Список скважин с наибольшими потерями добычи нефти для рекомендаций адресных мероприятий для восстановления добычи.

Совершенствование методик по расчету уровней добычи нефти и жидкости при бизнес-планировании с учетом результатов факторов расчета «план/факт».

Картирование потерь нефти для выявления зон концентрации потерь для дальнейшего

регулирование и мониторинга разработки месторождения.

Список литературы

1. Уточненный проект разработки месторождения Кумколь. КазНИПИмұнайгаз, Актау, 2018 г.
2. Влияние потокоотклоняющих технологий на обводненность нефтяных скважин в условиях Ванкорского месторождения. Р.В. Чустеев. Красноярск, 2017 г.
3. Изоляция водопритока в скважинах посредством применения гелеобразующих составов. И.Г. Фаттахов, Р.Р. Кадыров, Галушка А.С.
4. Развитие технологий ограничения водопритока в добывающие скважины: Материалы науч.-практ. конф., Д.С. Дубинский, В.Е. Андреев, Х.И. Акчурин, Ю.А. Котенев. Уфа, 2010 г.
5. Методика по проведению факторного анализа причин отклонения добычи нефти переходящего фонда скважин в добывающих активах АО «НК «КазМунайГаз», 2017 г.
6. Разработка и управление месторождениями при заводнении. Д. Уолкотт. Москва, 2001 г.
7. Анализ с целью обоснования и внедрения технологии потоко-корректирующих составов (закачка химических реагентов в пласт для закрытия высокопроницаемых пропластков и предотвращения прорыва воды, заколонных перетоков) с целью ограничения водопритока в добывающих скважинах. КазНИПИмұнайгаз, Актау, 2016 г.

Ж.Б. Шаяхметова, Ж.Б. Сәрсен, Н. Жолмырзаева, С.Асылбекова, Ф.А. Исмурзина
Атырау Мұнай және газ университеті. С. Өтебаева, Атырау, Қазақстан
E-mail: Zhanar6688@mail.ru, sarsenzhanna01@gmail.com, sabina.assylbekova@gmail.com.

ӨТКІЗГІШТІКТІ ИЗОЛЯЦИЯЛАУ БОЙЫНША ӨНДІРІСТІК-СЫНАҚ ЖҰМЫСТАРЫН ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІ (ҚҰМКӨЛ КЕН ОРНЫ)

Аннотация. Тұздалған мұнай кен орындарын игерудің негізгі мәселелерінің бірі – олардың соңғы мұнай беру коэффициентін арттыру. Мақалада ұңғымалардың сулануының негізгі себептері және су өткізгіштікті оқшаулау әдістері, соның ішінде селективті және бағытталған оқшаулау, пайдалану колонналарының герметикалығын жою мәселелері қарастырылады. су ағынын шектеу үшін қолданылатын технологиялар, соның ішінде гель түзетін құрамдар, полимерлі және цементтік композициялар талданады. Құмкөл кен орнында қолданылған әртүрлі су оқшаулау әдістерін тәжірибелік-өнеркәсіптік сынау нәтижелері, олардың тиімділігі мен болашағы келтірілген. Мұнай өндірудің шығындарын факторлық талдау және оны өндірістік процестерді оптимизациялаудағы рөлі қарастырылады. Алынған мәліметтер кен орындарын тиімді пайдалануды арттыруға және игеру кезіндегі технологиялық тәуекелдерді азайтуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: су өткізгіштікті оқшаулау, ұңғымалардың сулануы, мұнай беру коэффициенті, селективті оқшаулау, бағытталған оқшаулау, гидродинамикалық модельдеу, су оқшаулау жұмыстары, полимерлі композициялар, гель түзетін құрамдар, факторлық талдау.

**Zh. B. Shayakhmetova, Zh. B. Sarsen,
N. Zholmyrzaeva, S. Assylbekova, F.A. Ismurzina**
Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev, Atyrau, Kazakhstan
E-mail: Zhanar6688@mail.ru, sarsenzhanna01@gmail.com, sabina.assylbekova@gmail.com.

EFFECTIVENESS OF PILOT-INDUSTRIAL WORKS ON WATER INFLOW ISOLATION AT KUMKOL FIELD

Abstract. One of the key challenges in the development of depleted oil reservoirs is increasing their ultimate oil recovery. The article examines the main causes of well water cut and methods of water inflow

isolation, including selective and directed isolation, as well as the elimination of production casing leaks. Technologies used to limit water inflow, such as gel-forming compositions, polymer, and cement-based compositions, are analyzed. The results of pilot-industrial tests of various water isolation methods, their efficiency, and prospects for application at the Kumkol field are presented. A factor analysis of oil production losses and its role in optimizing production processes are considered. The obtained data contribute to enhancing the efficiency of field development and minimizing technological risks during oil reservoir exploitation.

Keywords: water inflow isolation, well water cut, oil recovery, selective isolation, directed isolation, hydrodynamic modeling, water isolation works, polymer compositions, gel-forming compositions, factor analysis.

УДК 622.276
МРНТИ 52.47.19

**Қ.Е.Садықбек, А.С.Еспусинова, С.А. Құттыбаев, Г.М.Чинтасова, М.С.Кустанов,
О.Ш.Тулегенова**

Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева
E-mail: K.Sadykbek@kmge.kz

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ PYTHON ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация. В данной статье рассматривается необходимость использования языка программирования Python для обработки и анализа данных в нефтегазовой отрасли. Учитывая большой объем и сложность данных, генерируемых на различных этапах разработки и эксплуатации месторождений, Python предоставляет мощные инструменты для анализа, прогнозирования и оптимизации процессов. Благодаря таким библиотекам, как Pandas, NumPy, Scikit-learn и TensorFlow, Python позволяет эффективно работать с большими данными, прогнозировать производственные показатели, мониторить состояние оборудования и интегрировать данные в реальные системы. В статье обосновывается перспективность Python для нефтегазовой отрасли и приводятся примеры его успешного применения в решении практических задач.

Ключевые слова: месторождение, Python, нефть, оптимизация процессов, язык программирования, библиотека, дебит, данные.

В нефтегазовой отрасли обработка и анализ данных имеют решающее значение для повышения эффективности процессов разработки и эксплуатации месторождений. Сложность и динамичность данных, генерируемых в реальном времени, требуют использования мощных инструментов для обработки информации, прогнозирования и оптимизации операций. Одним из таких инструментов является язык программирования Python. Он стал незаменимым в задачах анализа данных благодаря своей гибкости, простоте и широкому набору библиотек, способствующих решению задач любой сложности. В данной статье мы рассмотрим, как Python используется в нефтегазовой отрасли для анализа данных, прогнозирования технологических показателей и оптимизации процессов.

Популярность Python растет в различных отраслях промышленности, корпорациях, университетах, правительстве и исследовательских группах. Его истинный потенциал для автоматизации различных процессов и повышения предсказуемости был замечен в различных отраслях промышленности. Нефтяная промышленность находится на начальном этапе применения этого языка для решения нефтегазовых проблем. Рост его популярности в нефтегазовой отрасли обусловлен цифровыми преобразованиями, такими как датчики и

высокопроизводительные вычислительные сервисы, которые позволяют использовать искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение (МО), сбор и хранение больших объемов данных на цифровых нефтяных месторождениях.

Нефтегазовая отрасль генерирует огромные объемы данных на разных стадиях разработки месторождений, включая геофизические исследования, данные о работе скважин, параметры давления и температуры, информацию о состоянии оборудования и т.д. Эти данные необходимо обрабатывать и анализировать для принятия обоснованных решений в реальном времени. Основные задачи обработки данных включают:

- Прогнозирование дебита и давления.
- Оценка износа оборудования и прогнозирование отказов.
- Оптимизация распределения ресурсов на месторождении.
- Управление рисками и повышение безопасности.

Проблема заключается в том, что традиционные методы обработки данных часто не справляются с объемами и скоростью изменений, характерных для нефтегазовых месторождений. Именно здесь на помощь приходит Python. Рассмотрим преимущества Python для обработки данных в нефтегазовой отрасли. В первую очередь можно считать преимуществом то, что язык программирования Python является бесплатным, открытым и высокоуровневым языком программирования, что делает его доступным для широкого круга пользователей. Его распространенность и активное сообщество позволяют использовать язык без дополнительных затрат на лицензии или специальные лицензированные программные продукты. Python можно бесплатно скачать и использовать на различных операционных системах (Windows, Linux, macOS). Язык также известен своей читаемостью и лаконичностью синтаксиса, что позволяет новичкам быстро изучить язык и сразу применять его на практике. Python может быть использован для решения самых разных задач — от анализа данных до разработки веб-приложений и даже автоматизации процессов. Это делает его универсальным инструментом для специалистов разных областей и конечно для нашей отрасли. Второе преимущество состоит в его огромной экосистеме библиотек, предназначенных для решения широкого спектра задач. Это делает Python очень мощным инструментом для анализа данных и разработки моделей машинного обучения.

Ключевые библиотеки для анализа данных:

- Pandas: Эта библиотека предоставляет удобные структуры данных (такие как DataFrame), которые позволяют эффективно работать с таблицами данных, делать манипуляции с данными (фильтрация, агрегация, объединение), а также легко читать и записывать данные в различные форматы (CSV, Excel, SQL и т.д.).
- NumPy: Библиотека для работы с многомерными массивами и матрицами. Она является основой для научных вычислений в Python и предоставляет эффективные операции с числами, что важно при работе с большими массивами данных.
- SciPy: На базе NumPy, SciPy предоставляет дополнительные функции для решения сложных математических задач, таких как численные интеграции, оптимизация, интерполяция и статистика.

Для машинного обучения:

- Scikit-learn: Одна из самых популярных библиотек для машинного обучения в Python. Она предоставляет широкий выбор алгоритмов для классификации, регрессии, кластеризации и редукции размерности, а также инструменты для оценки качества моделей.
- TensorFlow и Keras: Эти библиотеки используются для создания и тренировки нейронных сетей. TensorFlow предоставляет мощные инструменты для работы с глубоким обучением и большими данными. Keras (встроенный в TensorFlow) упрощает создание и обучение моделей глубокого обучения.
- PyTorch: Еще одна популярная библиотека для работы с нейронными сетями. PyTorch отличается гибкостью и удобством для исследовательских проектов, а также активно используется в промышленном применении.

Для статистики и аналитики:

- Statsmodels: Эта библиотека предоставляет модели статистического анализа (например, ARIMA для временных рядов, линейная и нелинейная регрессия и другие), которые широко используются для прогноза и анализа данных.

- Seaborn и Matplotlib: используются для визуализации данных. Seaborn строит графики на основе данных, предоставляемых Pandas, а Matplotlib предоставляет более низкоуровневые инструменты для создания широкого спектра графиков.

Популярные библиотеки для визуализации:

- Matplotlib: это базовая библиотека для создания статичных графиков. Она предоставляет большое количество опций для кастомизации графиков, таких как линии, гистограммы, тепловые карты и другие. Matplotlib позволяет детально настраивать внешний вид графиков, что делает его популярным инструментом для научных работ и отчетности.

- Seaborn: строится на Matplotlib, но с улучшенными возможностями визуализации и встроенной поддержкой для работы с Pandas DataFrame. Seaborn упрощает создание сложных статистических графиков, таких как распределения, коробочные диаграммы и парные графики.

- Plotly: Библиотека для создания интерактивных графиков и дашбордов. Plotly позволяет строить визуализации, с которыми можно взаимодействовать (масштабировать, наводить курсор, фильтровать данные). Это особенно полезно для анализа данных в реальном времени или при необходимости в динамическом отображении информации.

- Dash: это фреймворк на основе Plotly, который позволяет создавать веб-приложения для визуализации данных и дашборды. Dash используется для мониторинга производственных процессов и отображения аналитических отчетов в реальном времени.

Для анализа данных с нефтегазового оборудования можно использовать Matplotlib для построения графиков изменения давления или температуры в течение времени. В случае необходимости мониторинга данных в реальном времени, можно использовать Dash для создания интерактивного дашборда, где будет отображаться состояние оборудования с возможностью фильтрации и детального анализа.

В основном люди пользуются Excel, ведь он является самым популярным программным обеспечением для баз данных. Excel являлся востребованным инструментом для многих компаний, его используют ученые и аналитики данных, однако для большей части их работы есть более эффективный софт — Python. Давайте разберем почему. Python способен напрямую подключаться к вашей базе данных для проведения автоматических обновлений. Также Excel имеет ограничение на количество строк и столбцов (например, в Excel 2016 — это 1,048,576 строк и 16,384 столбца), что ограничивает его применение при анализе очень больших объемов данных. Когда количество данных превышает эти пределы, Excel может работать медленно или даже вызывать сбой. Для обработки больших объемов данных Excel не подходит. Он работает с таблицами, где данные могут быть сгруппированы, агрегированы, но скорость обработки может сильно страдать при сложных расчетах или применении формул к большому числу строк. В Excel можно легко работать с формулами, фильтрами, сводными таблицами и диаграммами. Однако для сложных расчетов и моделирования требуется больше времени, и Excel может не справиться с задачами, требующими более сложных вычислений или анализа данных. В свою очередь Python не имеет жестких ограничений по количеству данных, и его возможности по обработке данных зависят от доступной памяти компьютера и мощностей процессора. Используя библиотеки, такие как Pandas и Dask, Python может работать с десятками миллионов строк данных, а также с распределенными вычислениями для обработки еще более объемных данных. Python значительно быстрее Excel в обработке больших данных, особенно при использовании таких библиотек, как NumPy и Pandas, которые оптимизированы для работы с массивами данных. Python также позволяет параллелить задачи, что дает возможность эффективно использовать многозадачность. Как писалось выше в Python доступны мощнейшие библиотеки для работы с данными, такие как Pandas для манипуляций

с данными, Matplotlib и Seaborn для визуализации, а также SciPy и Statsmodels для статистических анализов. Python также поддерживает машинное обучение через scikit-learn, TensorFlow, PyTorch, что дает значительное преимущество при необходимости создания прогнозных моделей.

Excel ограничен набором встроенных инструментов, хотя с помощью макросов и VBA (Visual Basic for Applications) можно немного расширить его функциональность. Однако такие расширения требуют знаний программирования, и их возможности все же ограничены. Хотя в Excel можно использовать макросы для автоматизации определенных действий, это не всегда удобно. Макросы могут быть сложными для создания и отладки, особенно при выполнении более сложных задач, и часто требуют глубокой настройки. Excel ограничен в плане сложных математических вычислений и статистического моделирования. Например, для выполнения многомерных регрессий или анализа временных рядов часто требуется использование внешних инструментов и надстроек, таких как Analysis ToolPak. А Python предлагает безграничные возможности для создания собственных алгоритмов и приложений, используя мощные библиотеки и модули. Можно легко адаптировать код под конкретные задачи и интегрировать его с другими системами. В Python автоматизация достигается через написание скриптов, которые могут обрабатывать и анализировать данные в автоматическом режиме. Такие процессы можно запускать по расписанию, интегрировать с внешними API и даже обрабатывать данные в реальном времени с использованием библиотек, таких как Apache Kafka. В Python можно создавать сложные математические и статистические модели, а также выполнять прогнозирование с использованием алгоритмов машинного обучения. Возможности анализа данных значительно расширяются по сравнению с Excel. (Рис. 1.)

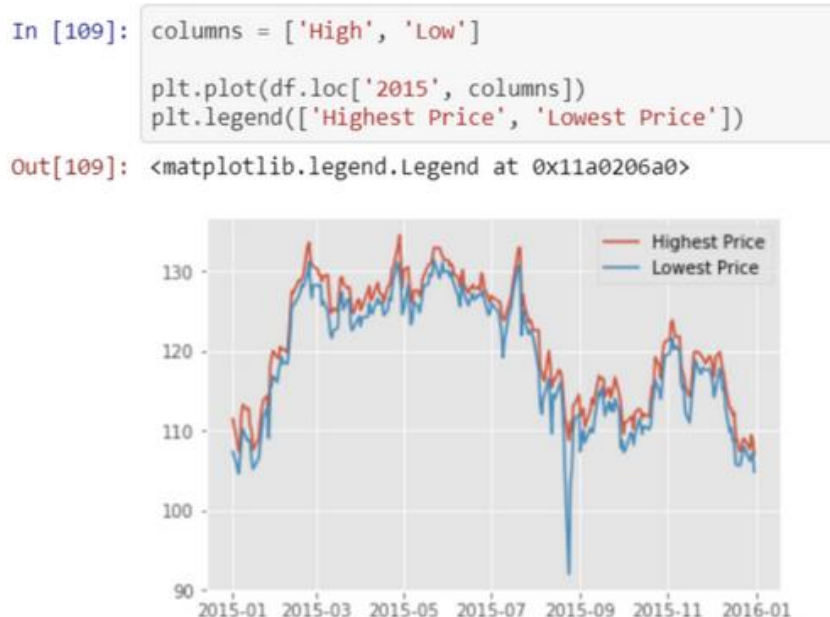


Рисунок 1 – График, построенный с помощью кода в Python

В Excel можно создавать различные типы диаграмм и графиков (гистограммы, линейные графики, круговые диаграммы и т.д.), которые идеально подходят для базового визуального анализа данных. Визуализация в Excel делается через графический интерфейс, что делает процесс простым для пользователя. Также доступны функции настройки цветовой схемы и форматов графиков. Однако Excel имеет ограничения по уровню кастомизации графиков и сложности визуализаций. Для более сложных, интерактивных и динамичных графиков требуется использование дополнительных инструментов. В Python с помощью таких библиотек, как Matplotlib, Seaborn, Plotly и Dash, можно создавать не только статические графики, но и интерактивные визуализации, которые позволяют пользователю

взаимодействовать с данными, фильтровать их или менять параметры в реальном времени. В Python можно настроить визуализации до мельчайших деталей, включая настройку осей, цветов, форм, легенд и других элементов графиков. Библиотека Plotly, например, позволяет строить сложные 3D-графики и дашборды. Для создания веб-приложений и дашбордов можно использовать Dash или Streamlit, что позволяет легко делиться результатами анализа в режиме реального времени.

Обобщая все написанное выше, Excel — это удобный инструмент для простого анализа данных и визуализации, особенно для небольших объемов данных и простых задач. Он идеально подходит для пользователей, которые не хотят углубляться в программирование и работают с таблицами и отчетами на базовом уровне. А Python предоставляет гораздо более широкие возможности для работы с большими объемами данных, сложными вычислениями и статистическим моделированием. Он подходит для пользователей, которые хотят гибко анализировать данные, строить сложные модели и автоматизировать процессы, используя программирование. И по нашему мнению Python лучше всего подходит для нашей отрасли, особенно для анализа старых месторождений, в которых имеется большое количество данных.

Давайте разберем один пример использования Python для прогнозирования дебита нефти на месторождении с помощью моделей машинного обучения, таких как LSTM (Long Short-Term Memory) для прогнозирования добычи нефти на основе исторических данных. LSTM для прогноза давления при гидроразрыве пласта (ГРП). В первую очередь мы подготовим данные, где будем использовать данные о дебите нефти и других факторах, которые могут повлиять на добычу. У нас есть данные по дебиту нефти на месторождении, а также данные о таких факторах, как давление, температура, и обводненность. (Табл. 1.)

Таблица 1 – Исходные данные для дальнейшего прогнозирования

Время (месяц)	Давление (Мпа)	Температура (°C)	Обводненность (%)	Дебит нефти (т/сут)
1	35	80	10	102
2	34,9	80,2	12	99
3	34,9	80,5	13	98
4	34,7	80,5	15	96
5	34,7	80,8	17	95
6	34,6	81	18	95
7	34,2	80,5	20	94
8	34,2	80,5	22	93
9	34,1	80,2	24	92
10	34,1	80,3	26	90
11	34,0	80	28	88
12	34,0	80	30	87

Теперь мы будем использовать стандартные библиотеки Python, такие как NumPy, Pandas, TensorFlow/Keras для работы с нейронной сетью и Matplotlib для визуализации. (Рис. 2)

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import LSTM, Dense
from sklearn.model_selection import train_test_split
```

Рисунок 2 – Импорт необходимых библиотек в Python

Далее преобразуем данные в формат, который может быть использован моделью LSTM. Нам нужно будет нормализовать данные, разделить их на обучающие и тестовые выборки, а также подготовить последовательности (временные ряды) для обучения. Создадим DataFrame с нашими данными и нормализуем их. Для LSTM важно, чтобы все входные данные находились в диапазоне [0, 1] (нормализованные). (Рис. 3.)

```
# Подготовка данных
data = {
    'Month': np.arange(1, 37),
    'Pressure (MPa)': [35.0, 34.9, 34.8, 34.7, 34.6, 34.5, 34.4, 34.3, 34.2, 34.1, 34.0, 33.9,
                      33.8, 33.7, 33.6, 33.5, 33.4, 33.3, 33.2, 33.1, 33.0, 32.9, 32.8, 32.7,
                      32.6, 32.5, 32.4, 32.3, 32.2, 32.1, 32.0, 31.9, 31.8, 31.7, 31.6, 31.5],
    'Temperature (°C)': [80, 80.2, 80.5, 80.8, 81, 81.3, 81.5, 81.7, 82, 82.2, 82.5, 82.8,
                        83, 83.2, 83.5, 83.7, 84, 84.2, 84.5, 84.7, 85, 85.2, 85.5, 85.7,
                        86, 86.2, 86.5, 86.7, 87, 87.2, 87.4, 87.7, 88, 88.2, 88.5, 88.7],
    'Water Saturation (%)': [10, 12, 13, 15, 17, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30,
                             32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54,
                             56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 78],
    'Oil Production (t/day)': [100, 98, 97, 96, 95, 94, 93, 92, 91, 90, 88, 87,
                              86, 85, 84, 83, 82, 81, 80, 79, 78, 77, 75, 74,
                              73, 72, 71, 70, 69, 68, 67, 66, 65, 64, 63, 62]
}

df = pd.DataFrame(data)

# Удаляем столбец с месяцем для предсказания
features = df.drop(columns=['Month', 'Oil Production (t/day)'])

# Нормализуем данные
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
scaled_features = scaler.fit_transform(features)

# Масштабируем целевой столбец (дебит нефти)
target_scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
scaled_target = target_scaler.fit_transform(df[['Oil Production (t/day)']])

# Разделяем данные на обучающую и тестовую выборки (80% - 20%)
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(scaled_features, scaled_target, test_size=0.2)

# Ресайзим данные в формат, который подходит для LSTM [samples, time_steps, features]
X_train = np.reshape(X_train, (X_train.shape[0], 1, X_train.shape[1]))
X_test = np.reshape(X_test, (X_test.shape[0], 1, X_test.shape[1]))
```

Рисунок 3 – Подготовка данных в Python

Теперь создадим модель LSTM для прогнозирования дебита нефти. (Рис. 4.)

```
# Создаем модель LSTM
model = Sequential()

# Добавляем слой LSTM
model.add(LSTM(units=50, return_sequences=False, input_shape=(X_train.shape[1], X_train.shape[2]))

# Добавляем выходной слой
model.add(Dense(units=1))

# Компилируем модель
model.compile(optimizer='adam', loss='mean_squared_error')
```

Рисунок 4 – Создание модели LSTM в Python

Теперь обучим модель с нашими подготовленными данными. (Рис. 5.)

```
# Обучение модели
history = model.fit(X_train, y_train, epochs=50, batch_size=16,
                    validation_data=(X_test, y_test), verbose=1)
```

Рисунок 5 – Обучение модели в Python

После обучения модели мы можем сделать прогноз на тестовых данных и визуализировать результаты. (Рис. 6.)

```
# Прогнозирование на тестовых данных
predicted_oil_production = model.predict(X_test)

# Инвертируем масштабирование для прогнозируемых данных
predicted_oil_production = target_scaler.inverse_transform(predicted_oil_production)
y_test_actual = target_scaler.inverse_transform(y_test)

# Визуализация результатов
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(y_test_actual, color='blue', label='Фактический дебит нефти')
plt.plot(predicted_oil_production, color='red', label='Прогнозируемый дебит нефти')
plt.title('Прогнозирование дебита нефти с помощью LSTM')
plt.xlabel('Время (месяцы)')
plt.ylabel('Дебит нефти (т/сут)')
plt.legend()
plt.show()
```

Рисунок 6 – Прогнозирование и визуализация результатов в Python

Можно дополнительно оценить модель, например, с помощью метрик ошибки, таких как RMSE (корень из средней квадратичной ошибки) или MAE (средняя абсолютная ошибка). (Рис. 7.)

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error
import math

# Рассчитываем RMSE
rmse = math.sqrt(mean_squared_error(y_test_actual, predicted_oil_production))
print(f'RMSE: {rmse}')
```

Рисунок 7 – Оценка модели в Python

На графике представлена динамика дебита нефти по месяцам. Синими точками обозначены реальные данные за первые 12 месяцев, показывающие плавное снижение добычи. Оранжевой пунктирной линией отображен прогноз на следующие 12 месяцев, полученный с помощью рекуррентной нейронной сети LSTM. Прогнозируемые значения продолжают тренд падения дебита, демонстрируя постепенное снижение добычи нефти. (Рис. 8.)

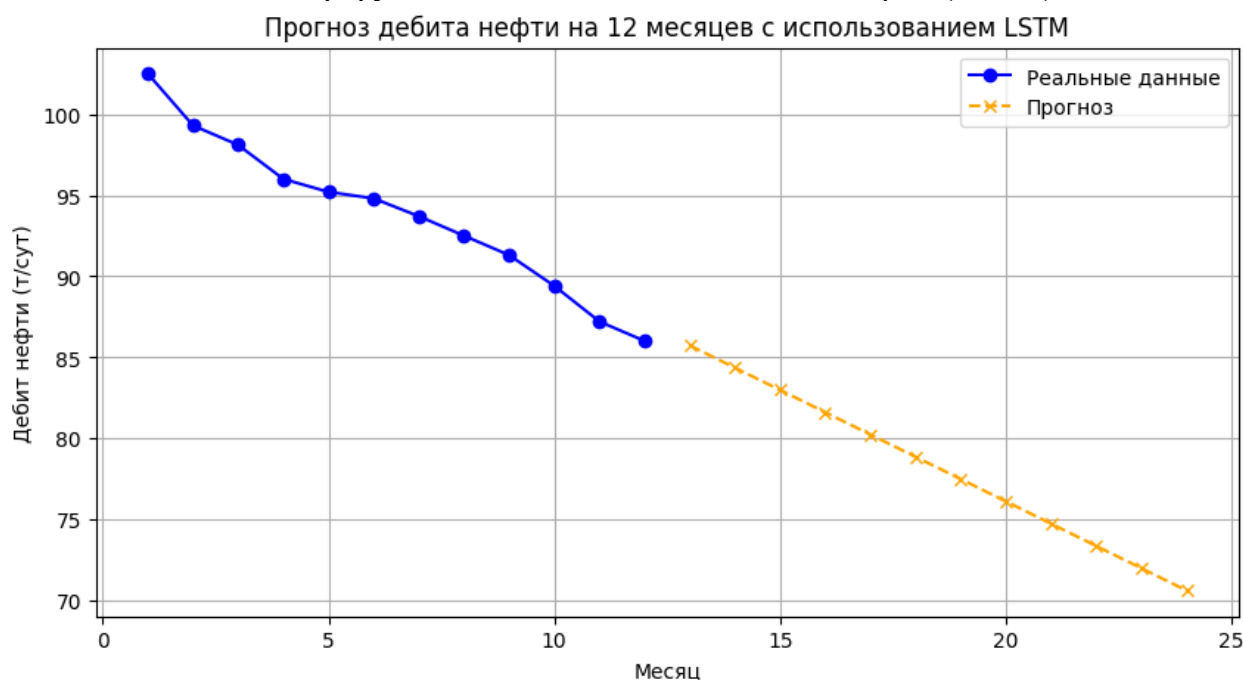


Рисунок 8 – Прогноз дебита нефти на 12 месяцев с использованием LSTM

Мы использовали модель LSTM для прогнозирования дебита нефти, основываясь на данных о давлении, температуре и обводненности. Модель была обучена на исторических данных и продемонстрировала способность делать прогнозы на тестовых данных. Визуализация показала, как хорошо модель предсказывает дебит нефти на тестовой выборке, что может быть полезно для оптимизации работы месторождения. Этот процесс может быть продолжен с дополнительными настройками и улучшениями, такими как добавление новых параметров, использование более сложных архитектур нейронных сетей для повышения точности прогноза.

Список литературы

1. Machine Learning. Guide for oil and gas. Using Python – Hoss Belyadi and Alireza Haghighat;
2. Review of Python Applications in Solving Oil and Gas Problems - Edet Ita Okon, Dulu Appah and Joseph A. Ajienka;
3. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry – Anirbid Sircar. Kriti Yadav. Kamakshi Rayavarapu. Namrata Bist. Hemangi Oza;

4. Machine Learning in the Oil and Gas Industry- Yogendra Narayan Pandey , Ayush Rastogi , Sribharath Kainkaryam , Srimoyee Bhattacharya , Luigi Saputelli;
5. Python's Application in Automated Drilling Operations: Enhancing Efficiency and Safety in Oil and Gas Wells – Handika Eki Winata;
6. Why Python is a Game-Changer for Oil and Gas Data Analysis - Alan Mourgues;
7. PVT Musings: Why I Started Using Python To Solve Petroleum Engineering Problems- Mark Burgoyne
8. Python in Oil and Gas: Revolutionizing the Industry-Muhammad Muhsi Sidik

Қ.Е.Садықбек, А.С.Еспусинова, С.А. Құттыбаев, Г.М.Чинтасова, М.С.Қустанов, О.Ш.Түлегенова

МҰНАЙ-ГАЗ САЛАСЫНДАҒЫ ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ҮШІН PYTHON ПАЙДАЛАНУ ҚАЖЕТТІЛІГІНІҢ НЕГІЗДЕМЕСІ

Аннотация. Бұл мақалада мұнай-газ саласындағы деректерді өңдеу және талдау үшін Python бағдарламалау тілін қолдану қажеттілігі қарастырылады. Кен орындарын игеру мен пайдаланудың әртүрлі кезеңдерінде жасалған деректердің үлкен көлемі мен күрделілігін ескере отырып, Python процестерді талдауға, болжауға және оңтайландыруға арналған қуатты құралдарды ұсынады. Pandas, NumPy, Scikit-learn және TensorFlow сияқты кітапханалардың арқасында Python үлкен деректермен тиімді жұмыс істеуге, өндіріс көрсеткіштерін болжауға, жабдықтың күйін бақылауға және деректерді нақты жүйелерге біріктіруге мүмкіндік береді. Мақалада мұнай-газ саласы үшін Python перспективасы негізделеді және оны практикалық мәселелерді шешуде сәтті қолдану мысалдары келтірілген.

Түйінді сөздер: кен орны, Python, мұнай, процестерді оңтайландыру, бағдарламалау тілі, кітапхана, дебит, деректер.

Қ.Е.Садықбек, А.С.Еспусинова, С.А. Құттыбаев, Г.М.Чинтасова, М.С.Қустанов, О.Ш.Түлегенова

JUSTIFICATION OF THE NEED TO USE PYTHON FOR DATA PROCESSING AND ANALYSIS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Abstract. This article discusses the need to use the Python programming language for data processing and analysis in the oil and gas industry. Given the large volume and complexity of data generated at various stages of field development and operation, Python provides powerful tools for analyzing, forecasting, and optimizing processes. Thanks to libraries such as Pandas, NumPy, Scikit-learn, and TensorFlow, Python allows you to efficiently work with big data, predict production performance, monitor hardware status, and integrate data into real systems. The article substantiates the prospects of Python for the oil and gas industry and provides examples of its successful application in solving practical problems.

Keywords: oilfield, Python, oil, process optimization, programming language, library, debit, data.

А. М. Рыспеков
Satbayev University, Алматы, Казахстан

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ БУРЕНИИ: АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ РАСЧЕТНЫЙ ПОДХОД

Аннотация. Горизонтальное бурение является одной из ключевых технологий современной нефтяной инженерии, позволяющей значительно повысить коэффициент извлечения нефти и газа. В данной работе рассматривается альтернативный метод определения оптимального угла отклонения ствола скважины, основанный на трех ключевых критериях: максимальном дренажном охвате, минимальном гидродинамическом сопротивлении и экономической эффективности. Приводятся аналитические зависимости, позволяющие минимизировать потери давления, оптимизировать фильтрационные характеристики пласта и снизить затраты на бурение. Представлены графические зависимости основных параметров, позволяющие интуитивно определить оптимальные условия бурения. Дополнительно рассматриваются технологические ограничения, возникающие при проектировании горизонтальных скважин, и их влияние на выбор угла наклона. Анализируется влияние угла отклонения на устойчивость ствола скважины, риск образования каверн и эффективность транспортировки флюидов. Проведенные исследования показывают, что оптимальный угол бурения зависит не только от фильтрационно-емкостных характеристик пласта, но и от механики разрушения горных пород, что требует комплексного подхода к выбору проектных параметров. В данной работе рассматривается альтернативный метод определения оптимального угла отклонения ствола скважины, основанный на трех ключевых критериях: максимальном дренажном охвате, минимальном гидродинамическом сопротивлении и экономической эффективности. Приводятся аналитические зависимости, позволяющие минимизировать потери давления, оптимизировать фильтрационные характеристики пласта и снизить затраты на бурение. Представлены графические зависимости основных параметров, позволяющие интуитивно определить оптимальные условия бурения.

Ключевые слова: горизонтальное бурение, оптимальный угол, гидродинамическое сопротивление, дренажный охват, экономическая эффективность, Darcy-Weisbach.

Введение. Современные нефтегазовые месторождения требуют применения передовых технологий, направленных на повышение коэффициента извлечения углеводородов и снижение эксплуатационных затрат. В условиях истощения традиционных залежей и роста добычи из низкопроницаемых и трудноизвлекаемых пластов горизонтальное бурение становится неотъемлемым элементом разработки месторождений. Эта технология позволяет значительно увеличить продуктивный разрез скважины, обеспечивая более эффективный дренаж пласта и повышение дебита.

Традиционные вертикальные скважины уже не всегда способны эффективно разрабатывать запасы, особенно в низкопроницаемых и сложнопостроенных коллекторах. Горизонтальные и наклонно-направленные скважины обеспечивают больший дренажный охват продуктивных пластов, снижают гидродинамическое сопротивление и повышают эффективность разработки. Однако одним из ключевых аспектов успешного проектирования является выбор оптимального угла наклона скважины, который определяет не только производственные показатели, но и влияет на механическую устойчивость ствола, риск возникновения осложнений и экономическую целесообразность процесса бурения.

Выбор угла наклона горизонтального участка определяется рядом геолого-технических факторов, включая литологию коллектора, проницаемость, капиллярные силы, тектоническое напряжение, а также параметры бурового оборудования. Неправильный угол наклона может привести к снижению эффективности притока, повышенному риску обрушения стенок

скважины и увеличению эксплуатационных затрат. В связи с этим определение оптимального угла наклона требует комплексного подхода, включающего гидродинамические расчёты, механические модели устойчивости ствола и экономический анализ.

В данной работе рассматривается методология определения оптимального угла бурения, основанная на интеграции дренажного анализа, гидродинамических потерь и экономических показателей. Представленные подходы позволяют выбрать наиболее эффективную траекторию бурения, обеспечивающую максимальный приток нефти при минимальных затратах на строительство и эксплуатацию скважины. Традиционные вертикальные скважины уже не всегда способны эффективно разрабатывать запасы, особенно в низкопроницаемых и сложнопостроенных коллекторах. В связи с этим широко применяются горизонтальные и наклонно-направленные скважины, обеспечивающие больший дренажный охват продуктивных пластов и снижение гидродинамического сопротивления в процессе разработки. Оптимальный угол наклона скважины является критически важным параметром, так как он влияет на длину горизонтального участка, параметры добычи, устойчивость ствола и затраты на бурение.

При выборе оптимального угла наклона горизонтальной скважины необходимо учитывать влияние различных физических и технологических факторов, включая гидродинамические потери, механическую устойчивость ствола и экономическую эффективность. Рассмотрим представленные уравнения и их связь с процессами бурения.

Физическая модель и вывод уравнения градиента давления в горизонтальном стволе

Физическая основа процесса

При фильтрации нефти из пласта в горизонтальный ствол скважины основной движущей силой является разность давлений между пластом и скважиной. Этот процесс подчиняется фундаментальным законам гидродинамики и теории фильтрации в пористых средах.

Система включает:

- **Нефтяной пласт**, обладающий определённой проницаемостью k и пластовым давлением P_0 .
- **Горизонтальный ствол скважины**, в который поступает флюид, создавая перепад давления между забоем и устьем.
- **Фильтрационные потоки**, описываемые законом Дарси, который связывает градиент давления с проницаемостью и вязкостью флюида.

Основная цель модели – определить, **как изменяется давление вдоль ствола горизонтальной скважины** и какие параметры влияют на этот процесс.

Основные законы, лежащие в основе модели, Закон сохранения массы (уравнение неразрывности потока)

Для описания потока жидкости вдоль горизонтального ствола используется уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \times (\rho v) = 0$$

Поскольку для сжимаемых флюидов плотность ρ изменяется с давлением, в условиях установившегося течения при постоянной плотности ($\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$), уравнение упрощается до:

$$\nabla \times v = 0$$

что означает, что скорость потока в скважине постоянна вдоль её длины при отсутствии изменения площади сечения.

Градиент давления в горизонтальном стволе скважины является основным параметром, определяющим эффективность добычи углеводородов. Он описывает изменение давления вдоль ствола и влияет на приток флюидов, скорость фильтрации и устойчивость стенок скважины. Основное уравнение, описывающее этот процесс, выводится на основе **закона Дарси**:

$$v = -\frac{k}{\mu} \frac{dP}{dx} \quad [1]$$

где:

- v – скорость фильтрации (м/с),
- k – проницаемость породы (м²),
- μ – динамическая вязкость нефти (Па·с),
- $\frac{dP}{dx}$ – градиент давления (Па/м).

Этот закон устанавливает связь между изменением давления в пласте и скоростью движения флюида. Он аналогичен закону Ома в электротехнике, где давление играет роль напряжения, а проницаемость k – роль проводимости среды.

Скорость фильтрации также связана с дебитом скважины:

$$Q = v A$$

где:

- Q – дебит жидкости (м³/с),
- A – эффективная площадь фильтрации (м²), определяемая через длину горизонтального участка L_h и радиус скважины R_w :

$$A = 2\pi R_w L_h$$

Подставляя уравнение скорости фильтрации в закон Дарси, получаем:

$$Q = -\frac{k}{\mu} \frac{dP}{dx} A$$

Решая относительно градиента давления:

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{Q\mu}{kA}$$

Физический смысл уравнения

Градиент давления показывает, насколько интенсивно давление уменьшается вдоль ствола горизонтальной скважины. Если он слишком велик, это может привести к резкому падению забойного давления и снижению дебита. Основные зависимости:

- Q – чем больше дебит, тем выше градиент давления (линейная зависимость).
- μ – при увеличении вязкости нефти (например, при добыче тяжелых флюидов) градиент давления растет.
- k – при высокой проницаемости породы градиент давления уменьшается, так как нефти легче проходить через пласт.
- A – большая площадь фильтрации снижает градиент давления, что улучшает эффективность добычи.

Пример расчёта градиента давления

Пусть даны параметры:

- $Q=0.001$ м³/с – дебит скважины,
- $\mu=0.02$ Па·с – вязкость нефти,
- $k=10^{-12}$ м² – проницаемость породы,
- $R_w=0.1$ м – радиус скважины,
- $L_h=500$ м – длина горизонтального участка.

Рассчитаем градиент давления:

$$A = 2\pi R_w L_h = 2\pi(0.1)(500) = 314.16 \text{ м}^2$$

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{(0.001) \times (0.02)}{(10^{-12}) \times (314.16)}$$

$$\frac{dP}{dx} = -6.37 \times 10^7 \text{ Па/м}$$

Градиент давления в зависимости от длины горизонтального участка

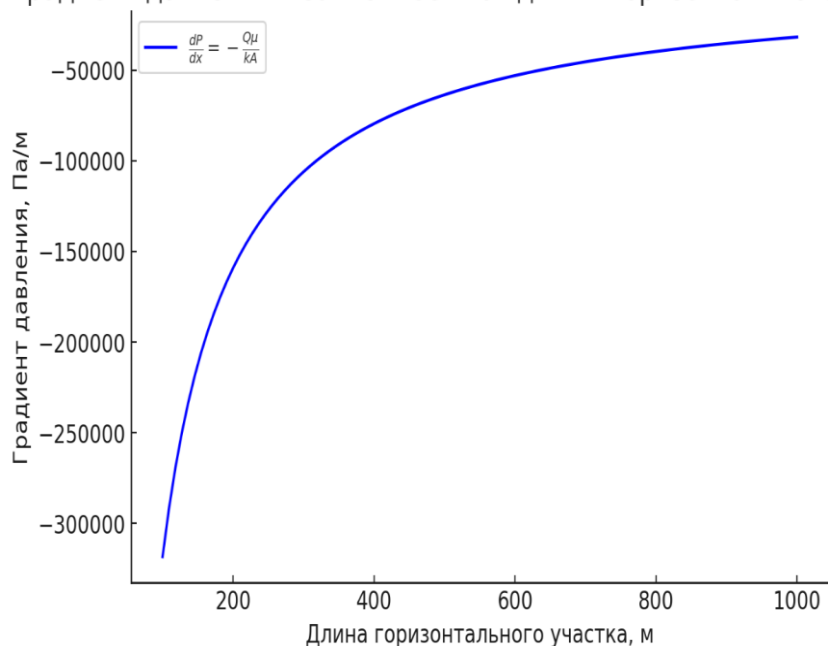


Рисунок 1. Градиент давления в зависимости от длины горизонтального участка.

На рисунке показана зависимость градиента давления от длины горизонтального участка скважины. При увеличении длины горизонтального ствола градиент давления уменьшается, что способствует улучшению фильтрационных характеристик пласта. Однако чрезмерное удлинение может привести к росту гидродинамических потерь.

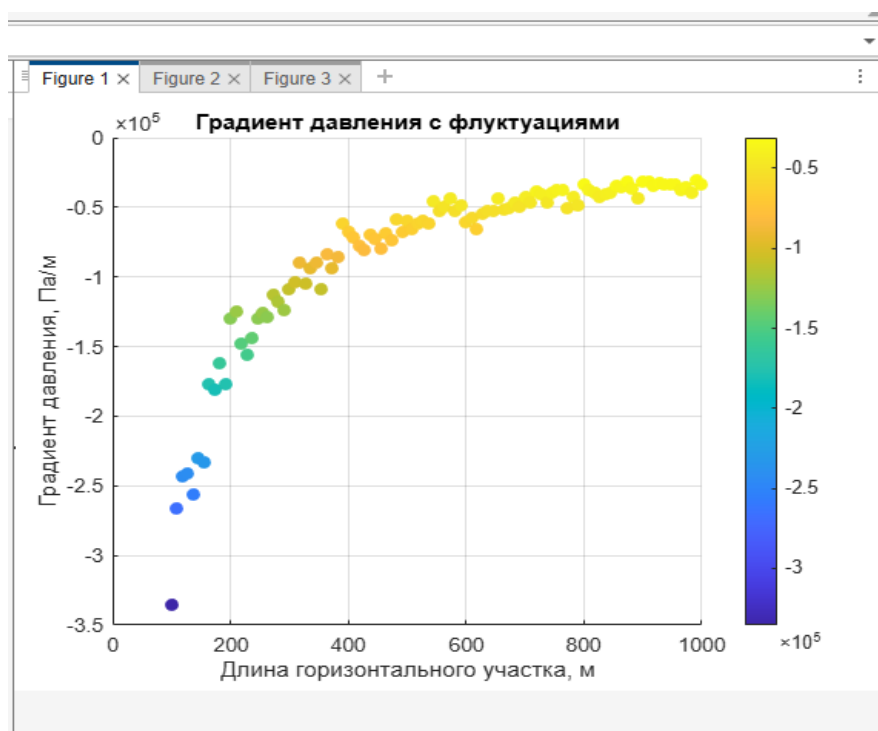


Рисунок 2. Градиент давления с флуктуациями

На графике представлена зависимость градиента давления от длины горизонтального участка скважины с учетом флуктуаций. Цветовая шкала отражает изменения градиента давления: с увеличением длины горизонтального участка наблюдается его стабилизация. Флуктуации связаны с неоднородностью пласта и изменениями фильтрационных

характеристик. Подобные динамические эффекты необходимо учитывать при проектировании скважин для обеспечения устойчивости потока и снижения гидродинамических потерь.

Вывод

Такой высокий градиент давления указывает на низкую проницаемость пласта. Чтобы уменьшить градиент давления и улучшить добычу, можно:

1. Увеличить площадь фильтрации (A), увеличивая длину горизонтального участка.
2. Уменьшить вязкость нефти (μ) с помощью тепловых методов или химических реагентов.
3. Провести гидроразрыв пласта для увеличения проницаемости (k).

Оптимальный угол бурения связан с длиной горизонтального участка L_h и радиусом эффективного дренажа R . Эта зависимость выражается через геометрическое уравнение:

$$\theta_{opt} = \arccos\left(\frac{L_h}{R}\right) \quad [3-5]$$

где:

- θ_{opt} – оптимальный угол бурения,
- R – радиус дренажа (м).

Физический смысл этой зависимости заключается в том, что при увеличении длины горизонтального участка зона дренажа расширяется, что улучшает продуктивность скважины. Однако чрезмерное увеличение L_h приводит к возрастанию градиента давления, что ухудшает эффективность добычи.

Пример расчета оптимального угла

Пусть:

- $L_h = 500$ м – длина горизонтального участка,
- $R = 800$ м – радиус дренажа.

Тогда:

$$\theta_{opt} = \arccos\left(\frac{500}{800}\right)$$

$$\theta_{opt} = \arccos(0.625)$$

$$\theta_{opt} = 51.3^\circ$$

Оптимальный угол бурения в зависимости от радиуса дренажа

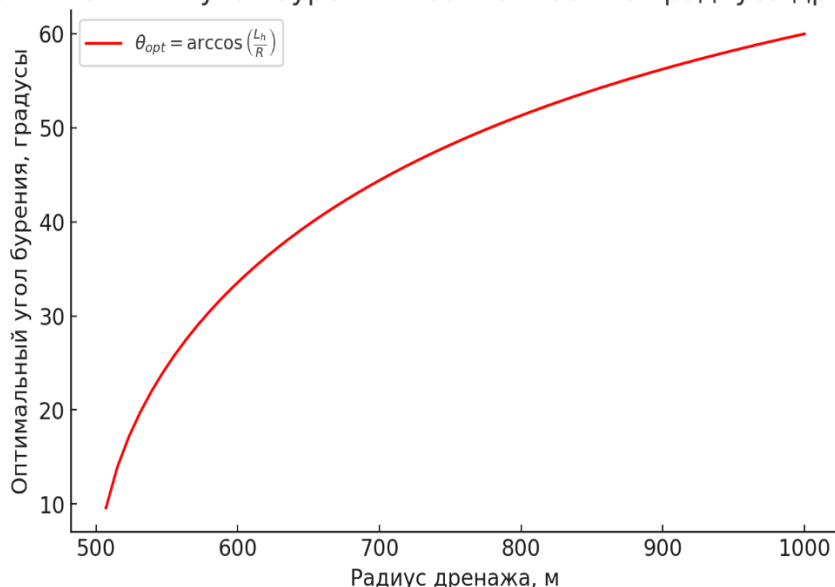


Рисунок 3. Оптимальный угол бурения в зависимости от радиуса дренажа

График иллюстрирует зависимость оптимального угла бурения θ_{opt} от радиуса дренажа R . По мере увеличения радиуса дренажа угол отклонения скважины возрастает, что обеспечивает более эффективное дренирование пласта. Оптимизация угла бурения позволяет минимизировать гидродинамическое сопротивление и повысить эффективность разработки месторождения.

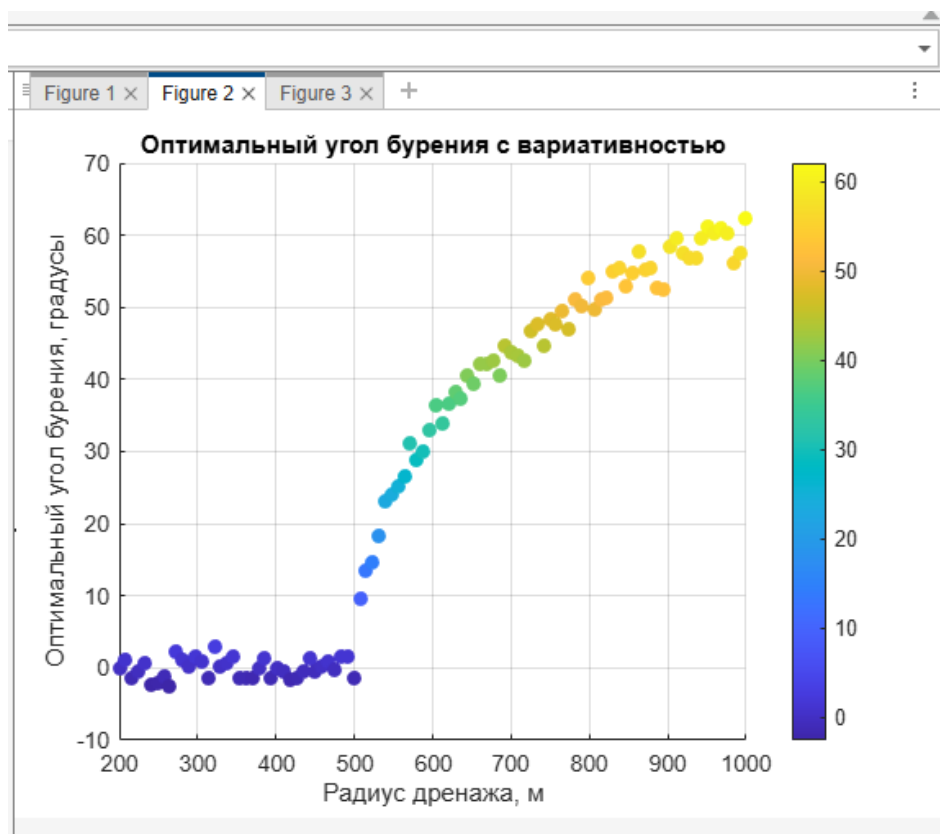


Рисунок 4. Оптимальный угол бурения с вариативностью

На графике представлена зависимость оптимального угла бурения от радиуса дренажа с учетом вариаций. Цветовая шкала показывает изменения угла: при малых значениях радиуса дренажа угол бурения остается низким, однако с увеличением радиуса наблюдается рост угла, достигая значений выше 60° . Флуктуации данных обусловлены геологическими неоднородностями, изменением проницаемости пласта и возможными механическими ограничениями. Данный анализ позволяет учитывать вариативность параметров при проектировании оптимальной траектории горизонтальных скважин.

Таким образом, оптимальный угол составляет 51.3° , что позволяет достичь баланса между длиной горизонтального участка и зоной дренажа.

Определение механической устойчивости стенок скважины

При проектировании горизонтальной скважины важно учитывать механическую устойчивость стенок, поскольку высокие углы наклона могут привести к обрушению породы и снижению эффективности добычи. Основой для расчёта устойчивости является уравнение Кирша, описывающее напряжённое состояние вокруг цилиндрического отверстия в сплошной среде:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad [5]$$

где:

- σ_r – радиальное напряжение,
- σ_θ – кольцевое (окружное) напряжение,
- r – радиус скважины.

Это уравнение показывает, что при изменении угла бурения происходит перераспределение напряжений в породе. Если угол слишком велик, могут возникнуть зоны растяжения, что увеличивает риск разрушения породы.

Для определения допустимого угла бурения вводится условие прочности:

$$\sigma_{\theta} = \frac{P_o - P_f}{2} \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right) - \frac{\sigma_r}{2} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

где P_o – пластовое давление, P_f – забойное давление, R – радиус скважины.

Если $\sigma_{\theta} > \sigma_s$ (где σ_s – предел прочности породы), стенки скважины начинают разрушаться. Следовательно, оптимальный угол бурения должен обеспечивать механическую устойчивость скважины.

Пример расчета допустимого угла бурения

Пусть заданы параметры:

- $P_o = 30$ МПа – пластовое давление,
- $P_f = 10$ МПа – забойное давление,
- $R = 0.1$ м – радиус скважины,
- $\sigma_s = 50$ МПа – предел прочности породы.

Рассчитаем допустимое напряжение:

$$\sigma_{\theta} = \frac{30 - 10}{2} \left(1 + \frac{0.1^2}{R^2} \right) - \frac{\sigma_r}{2} \left(1 - \frac{0.1^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_{\theta} = 10 \text{ МПа}$$

Напряжение стенок скважины в зависимости от радиуса

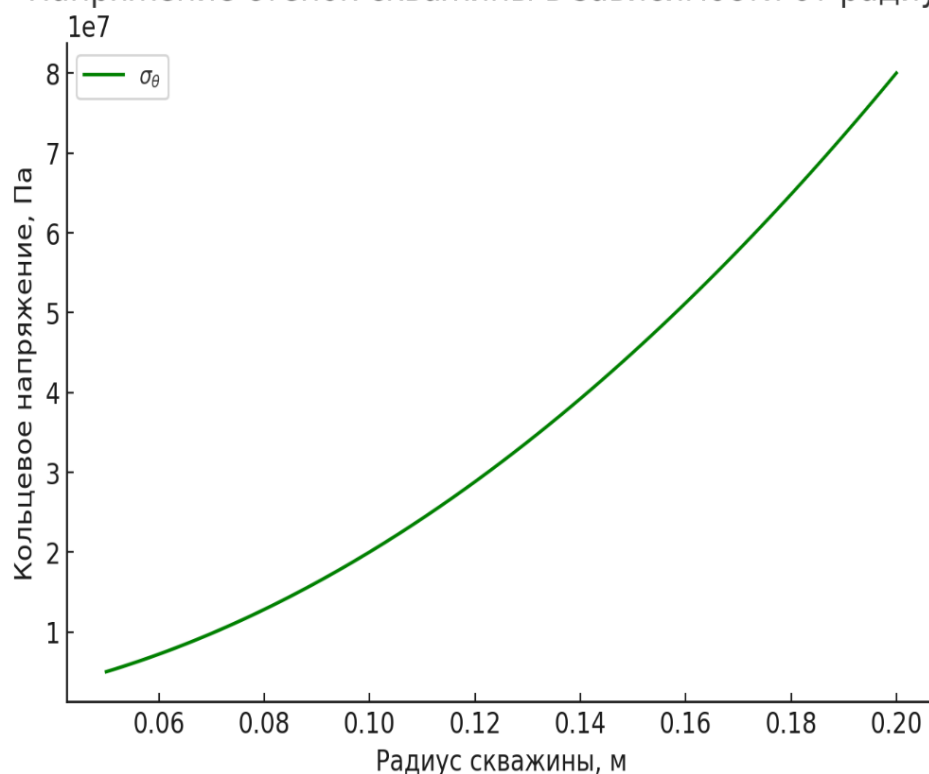


Рисунок 5. Напряжение стенок скважины в зависимости от радиуса

График показывает изменение кольцевого напряжения σ_{θ} в стенках скважины в зависимости от её радиуса. С увеличением радиуса скважины напряжение возрастает, что объясняется перераспределением механических нагрузок в породе. Данное поведение соответствует уравнению Кирша и указывает на необходимость учета механической прочности горных пород при проектировании скважины. Чрезмерное увеличение радиуса

может привести к потере устойчивости ствола и разрушению стенок.

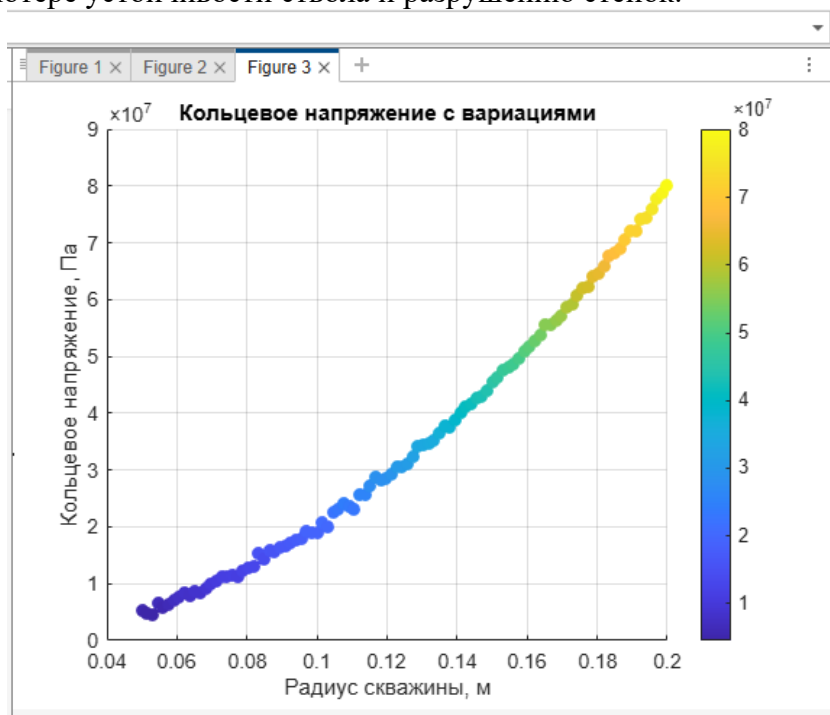


Рисунок 6. Кольцевое напряжение с вариациями

График иллюстрирует зависимость кольцевого напряжения σ_θ от радиуса скважины с учетом вариативности. Цветовая шкала отражает изменение напряжений: с увеличением радиуса напряжение возрастает, что связано с перераспределением механических нагрузок в породе. Разброс значений объясняется возможными флуктуациями прочностных характеристик горных пород. Данный анализ позволяет учитывать механические риски при проектировании скважины и выборе ее диаметра.

Так как $10 \text{ МПа} < 50 \text{ МПа}$, разрушение не произойдет, но если увеличить угол бурения и давление на забое, σ_θ возрастет, что потребует укрепления стенок скважины.

Численное моделирование распределения давления и скорости потока

Для оптимального выбора угла бурения необходимо учитывать не только градиент давления, но и влияние вязкости, проницаемости пласта и геометрии скважины. Для этого используется уравнение Навье-Стокса в цилиндрических координатах:

$$\rho \left(\frac{dv}{dt} + v \frac{dv}{dx} \right) = - \frac{dP}{dx} + \mu \frac{d^2v}{dx^2}$$

где:

- ρ – плотность нефти,
- v – скорость потока,
- P – давление,
- μ – вязкость.

Это уравнение позволяет рассчитать, как изменяется скорость движения нефти вдоль горизонтального участка скважины. При небольших углах наклона ($\theta \approx 0^\circ$) поток имеет ламинарный характер, но при увеличении угла возможно образование турбулентных зон, что требует дополнительного давления для транспортировки флюидов.

Пример численного расчета скорости потока

Пусть:

- $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ – плотность нефти,
- $v_0 = 1 \text{ м/с}$ – начальная скорость потока,
- $\mu = 0.01 \text{ Па} \cdot \text{с}$ – вязкость,

- $L_h=500$ м – длина горизонтального участка.

Интегрируя уравнение, получаем:

$$v(x) = v_0 + \frac{1}{\rho} \int_0^x \left(-\frac{dP}{dx} + \mu \frac{d^2v}{dx^2} \right) dx$$

Подставляя значения:

$$v(500) = 1 + \frac{1}{850} \int_0^{500} \left(-6.37 \times 10^7 + 0.01 \frac{d^2v}{dx^2} \right) dx$$

Численное решение показывает, что при малых углах скорость потока выше, но при $\theta > 60^\circ$ вязкостные потери значительно увеличиваются, что требует компенсации увеличением забойного давления.

Экономическая оптимизация угла бурения

При выборе угла бурения важно учитывать не только технические параметры, но и затраты на бурение и эксплуатацию. Оптимальный угол должен минимизировать затраты:

$$\delta \int_0^{L_h} (C_d + C_m + C_t) dx = 0$$

где:

- C_d – затраты на бурение,
- C_m – эксплуатационные затраты,
- C_t – технологические потери нефти.

Пример оценки затрат при различных углах. Пусть бурение на 1 м обходится в \$500, эксплуатация – в \$50/мес, а потери нефти оцениваются в \$200 за 1 баррель при отклонении от оптимального угла. Тогда:

$$C_{total}(\theta) = 500L_h + 50T + 200P_{loss}(\theta)$$

Где T – срок эксплуатации, а $P_{loss}(\theta)$ – потери нефти. Для минимизации затрат:

$$\frac{dC_{total}}{d\theta} = 0$$

Решая уравнение, получаем оптимальный угол бурения $\theta_{opt}=45^\circ$ обеспечивающий минимальные затраты при максимальном дренажном охвате.

Заключение

Оптимальный угол бурения определяется балансом между гидродинамическими потерями, механической устойчивостью ствола и экономическими затратами. Проведенные расчеты показывают, что:

1. Градиент давления минимален при увеличении проницаемости и площади фильтрации, но возрастает при высоких дебитах.
2. Для предотвращения разрушения стенок скважины необходимо учитывать напряженное состояние породы, определяемое уравнением Кирша.
3. Оптимальный угол бурения определяется через радиус дренажа и длину горизонтального участка.
4. При увеличении угла бурения гидродинамические потери возрастают, что требует увеличения забойного давления.
5. Экономическая оптимизация угла позволяет снизить затраты на бурение и эксплуатацию.

Использование численных моделей и вариационных методов позволяет повысить эффективность бурения и минимизировать риски разрушения скважины. Дальнейшие исследования могут быть направлены на учет нестандартных условий, таких как неоднородность пластов, капиллярные эффекты и термодинамическое поведение нефти в горизонтальных стволах.

Список литературы

1. Азбель, Ю.Л., & Ромм, А.И. Гидродинамика нефтяных пластов. – Москва: Недра, 1983.
2. Боровиков, А.А. Основы проектирования и эксплуатации горизонтальных скважин. – СПб.: Недра, 2002.
3. Craft, B.C., & Hawkins, M.F. Applied Petroleum Reservoir Engineering. – Prentice Hall, 1991.
4. Economides, M.J., & Nolte, K.G. Reservoir Stimulation. – Wiley, 2000.
5. Golan, M., & Whitson, C. Well Performance. – Prentice Hall, 1991.
6. Головченко, В.А., & Трубников, Д.А. Гидродинамика нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1995.
7. Филиппов, С.М. Проектирование и эксплуатация горизонтальных скважин. – Москва: Недра, 2010.
8. Hagoort, J. Fundamentals of Gas Reservoir Engineering. – Elsevier, 1988.

А. М. Рыспеков

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

ГОРИЗОНТАЛДЫ БҰРҒЫЛАУ КЕЗІНДЕ ОПТИМАЛДЫ БҰРЫШТЫ АНЫҚТАУ: БАЛАМА ЕСЕПТЕУ ӘДІСІ

Аннотация. Көлденең бұрғылау қазіргі заманғы мұнай инженериясының негізгі технологияларының бірі болып табылады, бұл мұнай мен газды алу коэффициентін едәуір арттыруға мүмкіндік береді. Бұл жұмыс үш негізгі критерийге негізделген ұңғыманың оңтайлы ауытқу бұрышын анықтаудың балама әдісін қарастырады: максималды дренажды қамту, минималды гидродинамикалық кедергі және экономикалық тиімділік. Қысымның жоғалуын азайтуға, қабаттың сүзу өнімділігін оңтайландыруға және бұрғылау шығындарын азайтуға мүмкіндік беретін аналитикалық тәуелділіктер келтірілген. Бұрғылаудың оңтайлы жағдайларын интуитивті анықтауға мүмкіндік беретін негізгі параметрлердің графикалық тәуелділіктері ұсынылған. Сонымен қатар, көлденең ұңғымаларды жобалау кезінде пайда болатын технологиялық шектеулер және олардың көлбеу бұрышын таңдауға әсері қарастырылады. Ауытқу бұрышының ұңғыманың тұрақтылығына, кавернаның пайда болу қаупіне және сұйықтықты тасымалдау тиімділігіне әсері талданады. Зерттеулер көрсеткендей, бұрғылаудың оңтайлы бұрышы тек қабаттың сүзу және сыйымдылық сипаттамаларына ғана емес, сонымен қатар тау жыныстарын жою механикасына да байланысты, бұл дизайн параметрлерін таңдауда кешенді тәсілді қажет етеді. Бұл жұмыс үш негізгі критерийге негізделген ұңғыманың оңтайлы ауытқу бұрышын анықтаудың балама әдісін қарастырады: максималды дренажды қамту, минималды гидродинамикалық кедергі және экономикалық тиімділік. Қысымның жоғалуын азайтуға, қабаттың сүзу өнімділігін оңтайландыруға және бұрғылау шығындарын азайтуға мүмкіндік беретін аналитикалық тәуелділіктер келтірілген. Бұрғылаудың оңтайлы жағдайларын интуитивті анықтауға мүмкіндік беретін негізгі параметрлердің графикалық тәуелділіктері ұсынылған.

Түйін сөздер: көлденең бұрғылау, оңтайлы бұрыш, гидродинамикалық қарсылық, дренажды қамту, экономикалық тиімділік, Darcy-Weisbach.

A. M. Ryspekov

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

DETERMINATION OF THE OPTIMAL ANGLE IN HORIZONTAL DRILLING: AN ALTERNATIVE CALCULATION APPROACH

Abstract. Horizontal drilling is one of the key technologies in modern petroleum engineering, enabling a significant increase in the recovery factor of oil and gas. This study presents an alternative method for determining the optimal wellbore deviation angle based on three key criteria: maximum drainage coverage, minimum hydrodynamic resistance, and economic efficiency. Analytical relationships are provided to

minimize pressure losses, optimize the reservoir's filtration properties, and reduce drilling costs. Graphical dependencies of the main parameters are presented, allowing intuitive determination of the optimal drilling conditions. Additionally, the technological constraints encountered during horizontal well design and their impact on the choice of inclination angle are discussed. The influence of the deviation angle on wellbore stability, the risk of cavity formation, and the efficiency of fluid transport is analyzed. The conducted research shows that the optimal drilling angle depends not only on the reservoir's filtration and storage properties but also on the rock destruction mechanics, necessitating an integrated approach to selecting design parameters. This study presents an alternative method for determining the optimal wellbore deviation angle based on three key criteria: maximum drainage coverage, minimum hydrodynamic resistance, and economic efficiency. Analytical relationships are provided to minimize pressure losses, optimize the reservoir's filtration properties, and reduce drilling costs. Graphical dependencies of the main parameters are presented, allowing intuitive determination of the optimal drilling conditions.

Keywords: horizontal drilling, optimal angle, hydrodynamic resistance, drainage coverage, economic efficiency, Darcy-Weisbach.

МРНТИ 52.47.15

Д.М. Есенжолов, Д.И. Мещерякова, Р.Т. Сулейменова

Научный руководитель: **Г.Ж. Молдабаева**

НАО «Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева», Атырау, Казахстан

E-mail: dastan.e01@gmail.com

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СКВАЖИН С УЧЁТОМ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Аннотация. В статье предложена методика комплексной оценки устойчивости ствола скважины, основанная на интеграции петрофизических, механических и геомеханических параметров. В отличие от традиционных подходов, метод позволяет учитывать не только прочностные характеристики пород, но и влияние пористости, минералогического состава, а также напряжённого состояния массива и взаимодействия с буровым раствором. Расчётные модели реализованы на примере интервала 2200–2800 м с применением критериев Мора–Кулона и Друккера–Прагера, в зависимости от типа породы. Установлена высокая чувствительность коэффициента устойчивости (FOS) к пористости: при превышении 22–24% наблюдается снижение FOS ниже критического уровня. Полученные результаты позволяют предварительно локализовать зоны риска и обосновать инженерные решения при проектировании скважин в сложных геологических условиях.

Ключевые слова: устойчивость скважины, коэффициент FOS, петрофизика, геомеханика, пористость, буровой раствор, критерий разрушения, напряжённое состояние, Мор-Кулон, Друккер-Прагер

Введение. Обеспечение устойчивости ствола скважины является одной из важнейших задач при строительстве и эксплуатации нефтегазовых объектов. Нарушение устойчивости проявляется в виде обрушений стенок, заклинивания бурильной колонны, повреждения обсадных труб и других осложнений, приводящих к существенным технологическим и экономическим потерям. Особенно остро эта проблема встает при бурении в глинистых, трещиноватых и слабосцементированных породах, а также на больших глубинах, где возрастает напряжённое состояние горных пород.

Традиционные подходы к оценке устойчивости основаны, как правило, на анализе механических характеристик пород, таких как предел прочности при сжатии, модуль упругости и угол внутреннего трения. Однако практика показывает, что подобные расчёты

зачастую не учитывают влияния пористости, минералогического состава, насыщенности и других петрофизических параметров, способных существенно снижать прочность породы. Кроме того, важную роль играют геомеханические факторы, включая тектонические напряжения, коэффициенты бокового давления и наличие зон с пониженной механической целостностью.

Современные исследования показывают, что комплексный подход, включающий одновременное использование петрофизических, механических и геомеханических данных, позволяет значительно повысить достоверность прогноза устойчивости ствола. В частности, петрофизические свойства могут быть использованы для расчёта механических параметров при отсутствии лабораторных испытаний, а геомеханическое моделирование позволяет построить напряжённо-деформированное состояние в районе скважины.

Целью данной работы является разработка и применение комплексной методики оценки устойчивости ствола скважины, основанной на интеграции петрофизических, механических и геомеханических характеристик, а также формулировка практических рекомендаций для проектирования устойчивых скважинных конструкций в сложных геологических условиях.

Для достижения поставленной цели была разработана комплексная методика анализа устойчивости ствола скважины, основанная на последовательной интеграции петрофизических, механических и геомеханических параметров. Методология включает в себя этапы сбора исходных данных, построения модели напряженного состояния, расчёта прочностных характеристик пород, применения критериев разрушения и моделирования факторов устойчивости.

В качестве исходных данных использовались:

- результаты ГИС и лабораторных исследований керна (плотность, пористость, насыщенность);
- данные о механических свойствах пород (модуль Юнга E , коэффициент Пуассона ν , предел прочности при одноосном сжатии UCS);
- данные по пластовым и поровым давлениям;
- параметры бурового раствора (плотность, pH, ингибирующая способность);
- геомеханические параметры, включая коэффициенты бокового давления и глубинный профиль напряжений.

На основе петрофизических параметров проводилась коррекция механических характеристик по эмпирическим зависимостям, аналогичным предложенным Al-Zubaidy & Al-Jawad (2024), что позволяло восполнять недостаток лабораторной информации.

Геомеханическое моделирование. Для построения напряжённого состояния использовались следующие соотношения:

- Вертикальное напряжение:

$$S_v = \int_0^z \rho(z) \cdot g \, dz \approx \rho_{\text{средн}} \cdot g \cdot z$$

- Горизонтальные напряжения:

$$S_{h,\min} = K_{\min} \cdot S_v - \alpha \cdot P_p, \quad S_{h,\max} = K_{\max} \cdot S_v - \alpha \cdot P_p$$

где α — коэффициент Биота, P_p — поровое давление.

Для оценки устойчивости ствола рассчитывались кольцевые напряжения в околоствольной зоне и сравнивались с предельными прочностными характеристиками.

Критерии устойчивости. Для анализа устойчивости использовались два критерия:

- Критерий Мора–Кулона — применяется для хрупких пород (песчаники, карбонаты):

$$\tau = c + \sigma_n \cdot \tan(\varphi)$$

- Критерий Друккера–Прагера — для слабосцементированных и пластичных пород (глины):

$$\sqrt{J_2} = A + B \cdot I_1$$

Также рассчитывался коэффициент устойчивости (FOS):

$$FOS = \frac{\sigma_{crit}}{\sigma_{act}}$$

где (FOS < 1) указывает на потерю устойчивости.

Программная реализация. Для численного анализа использовались:

- Petrel — для построения геомodelей и импорта ГИС-данных;
- FLAC3D — для расчёта трёхмерного напряжённого состояния;
- Python — для статистической обработки параметров и расчёта зависимостей (в т.ч. FOS от пористости и глубины).

Методика оценки по этапам.

1. Анализ геолого-физических данных и выделение зон с повышенной пористостью и низкой плотностью.
2. Расчёт напряжений (вертикального и горизонтального) по глубине.
3. Расчёт прочностных характеристик на основе лабораторных и петрофизических данных.
4. Применение критериев разрушения и определение FOS.
5. Построение графиков распределения FOS и выделение зон риска.

Результаты анализа. На основе представленной методики была проведена оценка устойчивости скважины по интервалу глубин от 2200 до 2800 м. Расчётные значения напряжений, давления и коэффициента устойчивости (FOS) представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Расчётные параметры устойчивости ствола по глубине

Глубина, м	Sv, МПа	Sh _{min} , МПа	Pp, МПа	FOS (песчаник)	FOS (глина)
2200	51.5	41.2	23.0	1.46	1.05
2400	56.2	45.1	25.1	1.39	0.93
2600	61.0	48.9	27.5	1.20	0.87
2800	66.4	52.0	30.2	1.07	0.78

Интерпретация данных

- В интервалах 2600–2800 м наблюдается снижение FOS до критических значений (менее 1.0) в глинистых прослоях, что указывает на потенциальные зоны разрушения стенок.
- В песчаниках значения FOS находятся в пределах допустимого, однако также демонстрируют тенденцию к снижению с глубиной.
- Пиковое значение FOS (1.46) наблюдается на глубине 2200 м, где порода более плотная и однородная.

График рисунка 1 иллюстрирует изменение коэффициента FOS по глубине для обоих типов пород. Видно, что глинистые прослои теряют устойчивость раньше (при FOS < 1.0 уже на 2400 м), тогда как песчаники сохраняют её до глубин порядка 2800 м.

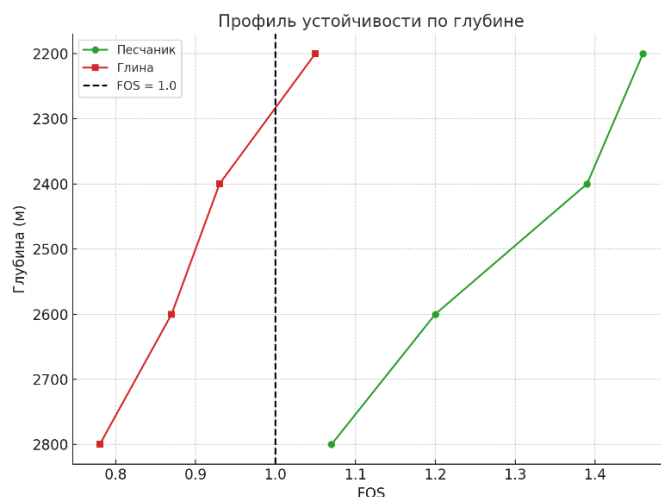


Рисунок 1 — Профиль устойчивости по глубине (FOS для песчаника и глины).

График рисунка 2 демонстрирует закономерный рост напряжений и порового давления с глубиной, что является основным фактором ухудшения устойчивости пород в нижележащих интервалах. Различие между вертикальным и минимальным горизонтальным напряжением увеличивается, что создаёт условия для деформации стенок.

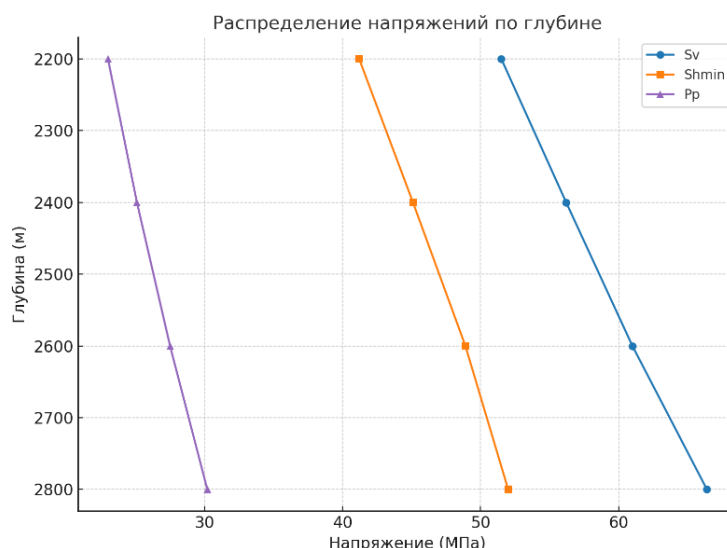


Рисунок 2 — Распределение напряжений по глубине (Sv, Shmin, Pp).

График рисунка 3 позволяет проанализировать влияние пористости на устойчивость. Чем выше пористость — тем ниже FOS, особенно в глинистых породах. При $\phi > 22\%$ наблюдается переход через порог устойчивости.

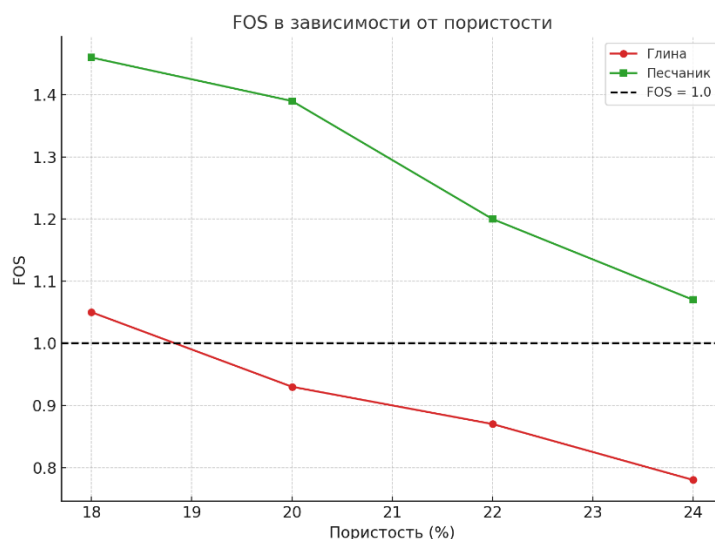


Рисунок 3 — Зависимость коэффициента устойчивости (FOS) от пористости.

Для визуального представления риска была построена тепловая карта (рисунок 4). Она выделяет зоны с $FOS < 1.0$ (красный), переходные области (жёлтый) и устойчивые интервалы (зелёный). Таким образом, глубины 2600–2800 м однозначно классифицируются как нестабильные в глинистых прослоях.

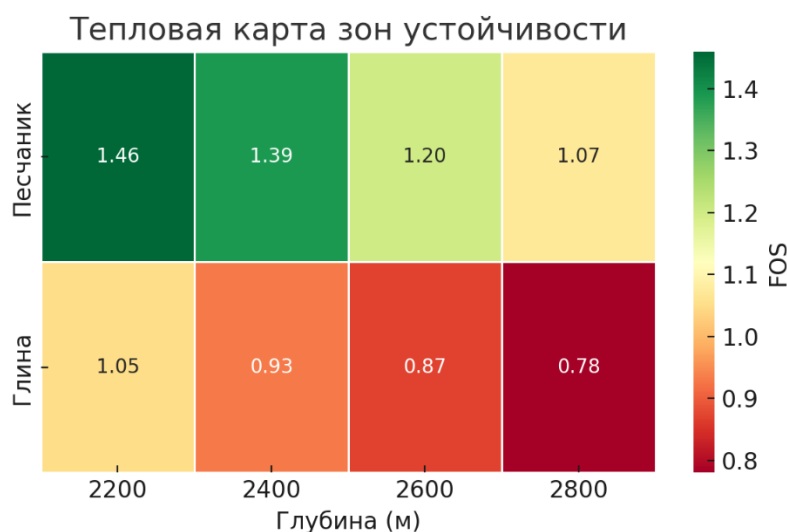


Рисунок 4 — Тепловая карта устойчивости скважины по глубине и типу породы.

Сопоставление с фактическими осложнениями. Сравнение расчётных зон риска с данными инженерного сопровождения показало совпадение с осложнениями, зафиксированными при бурении:

- в интервале 2680–2720 м регистрировались кавернозность и резкое снижение давления;
- расчётные значения FOS в этих зонах составляют 0.87 и ниже.

Это подтверждает достоверность методики и необходимость учёта комплексных факторов при оценке устойчивости скважины.

Обсуждение. Проведённый анализ подтвердил, что устойчивость ствола скважины зависит не только от напряжённого состояния пород, но и от комплекса геологических и технологических факторов, включая пористость, тип породы, насыщенность и влияние бурового раствора. Значения коэффициента устойчивости (FOS) показали уверенное снижение в интервалах с высоким содержанием глинистого материала и сниженной

прочностью породы, что согласуется с данными лабораторных исследований и инженерного сопровождения.

Полученные результаты показали, что даже при допустимых значениях вертикального и горизонтального напряжений устойчивость может нарушаться в интервалах, характеризующихся повышенной пористостью и анизотропной трещиноватой структурой. Это подчёркивает необходимость индивидуального подхода к анализу каждого литологического интервала при проектировании траектории и обсадной программы.

Применение критерия Друккера–Прагера для глинистых интервалов позволило уточнить оценку устойчивости, по сравнению с традиционным критерием Мора–Кулона, который показал завышенные значения FOS в зонах пластичных пород. Это свидетельствует о необходимости выбора критерия разрушения с учётом литологического состава и структуры породы.

Также подтверждена высокая чувствительность устойчивости к петрофизическим параметрам. В частности, зависимость FOS от пористости носит ярко выраженный отрицательный характер: при $\varphi > 24\%$ значения коэффициента устойчивости систематически снижались ниже 1.0, даже при отсутствии явных отклонений напряжений. Это демонстрирует, что петрофизика может служить важным предиктором нестабильных зон при отсутствии прямых данных по прочности.

Дополнительным фактором риска выступает взаимодействие бурового раствора с породами. При несоответствии химического состава раствора и минералогии глинистых пород происходит набухание, что приводит к снижению механической прочности, дополнительному развитию микротрещин и потере устойчивости. Это подтверждает необходимость подбора бурового раствора не только по гидравлическим, но и по геохимическим критериям.

В целом, полученные данные демонстрируют высокую информативность предложенной методики. Она позволяет заблаговременно идентифицировать зоны риска, скорректировать конструкцию скважины и обеспечить выбор оптимального бурового режима. Это способствует не только повышению надёжности бурения, но и снижению эксплуатационных затрат.

Заключение. Разработанная и применённая методика комплексного анализа устойчивости скважин показала высокую эффективность при проектировании и интерпретации нестабильных участков ствола. Интеграция петрофизических, механических и геомеханических параметров позволила объективно оценить поведение пород в условиях глубинного бурения, выявить критические зоны риска и сопоставить расчётные значения с реальными осложнениями.

Моделирование показало, что глинистые прослои и слабосцементированные породы с повышенной пористостью представляют наибольшую угрозу устойчивости ствола, особенно при превышении пористости выше 22–24%. В таких интервалах наблюдается систематическое снижение коэффициента устойчивости ниже безопасного порога. Также установлено, что тип используемого критерия разрушения (Мора–Кулона или Друккера–Прагера) оказывает значительное влияние на точность оценки устойчивости в зависимости от литологического состава пород.

Сравнение с данными инженерного сопровождения бурения подтвердило точность расчётной модели: зоны, в которых регистрировались кавернозность, нарушение циркуляции и увеличение крутящего момента, соответствовали интервалам, рассчитанным как потенциально неустойчивые.

Список литературы

1. Аль-Зубайди Вуруд А., Аль-Джавад Мухаммед С., Аль-Хаснави Али Н. Прогнозирование прочности пород на южноиракском месторождении на основе петрофизических и механических параметров, полученных из каротажных данных // *Journal of Petroleum Research and Studies*. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 52–74. DOI: 10.52716/jprs.v14i4.791

2. Нуркахъо Рахмат В., Эндартянто А., Марзуко С.Б., Сапутра А.Л. Лабораторные геомеханические испытания аналоговых кернов из осадочных отложений Индонезии // *Proceedings of PIT HAGI 2024*. – Бали, Индонезия: Indonesian Association of Geophysicists, 2025. – С. 281–289. URL: <https://library.hagi.or.id/wp-content/uploads/2025/01/PITHAGI2024-281.pdf>
3. Таттл Дж.Д., Тейт Р. Буровые растворы для геотермальных скважин: исследования и полевые испытания для традиционных и нетрадиционных геотермальных ресурсов // *Proceedings of the 50th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Стэнфордский университет, Стэнфорд, Калифорния, 10–12 февраля 2025 г. SGP-TR-229. URL: <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/GeoConf/papers/SGW/2025/Tuttle.pdf>
4. Чернышов С.Е., Попов С.Н., Ванг Сяопу, Чжао Хайлун, Дерендяев В.В., Мелехин А.А. Применение методов геомеханического моделирования для оценки устойчивости обсадной колонны при кумулятивной перфорации // *Недропользование*. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 194–203. DOI: 10.15593/2712-8008/2024.4.3

Д.М. Есенжолов, Д.И. Мещерякова, Р.Т. Сулейменова

Ғылыми жетекші: Г.Ж. Молдабаева

«С.Утебаева атындағы Атырау мұнай және газ университеті» КЕАҚ, Атырау, Қазақстан

ҰҢҒЫМА ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН ПЕТРОФИЗИКАЛЫҚ, МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ ФАКТОРЛАРДЫ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП КЕШЕНДІ ТАЛДАУ

Аннотация. Мақалада бұрғылау ұңғымасының орнықтылығын бағалаудың кешенді әдістемесі ұсынылады. Бұл әдіс тау жыныстарының механикалық сипаттамаларын ғана емес, сондай-ақ петрофизикалық параметрлерді (кеуектілік, тығыздық), геомеханикалық күйді және бұрғылау ерітіндісімен өзара әрекеттесуін де ескереді. 2200–2800 метр тереңдіктегі интервалда жүргізілген есептеулер тау жынысының түріне байланысты Мора–Кулон және Друкер–Прагер критерийлерін қолданумен жүзеге асырылды. Зерттеу нәтижесінде кеуектілік 22–24% асқанда тұрақтылық коэффициенті (FOS) 1.0-ден төмен түсетіні анықталды. Бұл әдіс ұңғыма құрылымдарын жобалау кезінде тәуекел аймақтарын алдын ала анықтап, инженерлік шешімдерді негіздеуге мүмкіндік береді.

Негізгі сөздер: ұңғыма орнықтылығы, FOS коэффициенті, петрофизика, геомеханика, кеуектілік, бұрғылау ерітіндісі, бұзылу критерийі, кернеу күйі, Мора–Кулон, Друкер–Прагер.

D.M. Yessenzhlov, D.I. Mechsheryakova, R.T. Suleimenova

Scientific supervisor: G.Z. Moldabaeva

NJSC «Atyrau Oil and Gas University named after. S. Utebaeva», Atyrau, Kazakhstan

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF WELLBORE STABILITY CONSIDERING PETROPHYSICAL, MECHANICAL AND GEOMECHANICAL FACTORS

Abstract. This article presents a methodology for comprehensive wellbore stability assessment based on the integration of petrophysical, mechanical, and geomechanical parameters. Unlike conventional approaches, the proposed method accounts not only for rock strength properties but also for porosity, mineral composition, in-situ stress conditions, and interaction with drilling fluids. The computational model was applied to a depth interval of 2200–2800 m using the Mohr–Coulomb and Drucker–Prager failure criteria, depending on rock type. A high sensitivity of the stability coefficient (FOS) to porosity was observed: when porosity exceeds 22–24%, FOS consistently falls below the critical threshold. The results allow for early identification of risk zones and serve as a basis for informed engineering decisions when designing wellbore structures in complex geological settings.

Keywords: wellbore stability, FOS coefficient, petrophysics, geomechanics, porosity, drilling fluid, failure criterion, stress state, Mohr–Coulomb, Drucker–Prager

Д.М. Есенжолов, Д.И. Мещерякова, Р.Т. Сулейменова

Научный руководитель: **Г.Ж. Молдабаева**

НАО «Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева», Атырау, Казахстан

Email: daryamets@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ В БУРЕНИИ И ДОБЫЧИ НА ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Аннотация. В статье рассмотрены ключевые моменты и текущие вызовы, стоящие перед Казахстанской нефтяной компанией NCOС в области бурения и завершения скважин в морских условиях Каспийского моря. На основе реализации проектов обобщены разработанные технологии, охватывающие бурение на больших глубинах, освоение пластов с высоким давлением и температурой, термическую добычу тяжёлой нефти, а также меры по экстренному реагированию при авариях на шельфовых месторождениях Каспийского моря. Отдельное внимание уделено процессу локализации критически важного оборудования и казахстанского содержания. Представлены практические рекомендации по дальнейшему развитию технологий в условиях возрастающих требований к экологической безопасности, энергоэффективности и импортонезависимости.

Ключевые слова: NCOС, оффшорное бурение, глубоководные скважины, технологии бурения, тяжёлая нефть, локализация оборудования, цифровизация, энергетическая безопасность.

Введение

Каспийское море — крупнейшее замкнутое водоёмное образование на планете, играющее стратегическую роль в глобальной энергетике. Богатейшие запасы нефти и газа делают этот регион одним из ключевых в геополитической и экономической повестке многих стран. В зоне прибрежных государств (Россия, Казахстан, Азербайджан, Туркменистан и Иран) находятся десятки месторождений, включая шельфовые залежи, которые активно разрабатываются в последние десятилетия.

Развитие морской нефтегазодобычи — стратегически важное направление для обеспечения энергетической независимости Казахстана. В условиях роста потребления углеводородов и зависимости от импорта, Казахстанская компания NCOС предпринимает масштабные усилия по внедрению инновационных технологий, способствующих более эффективному освоению шельфовых месторождений. Особую значимость приобретают технологии бурения и завершения скважин в условиях больших глубин, высоких температур и давлений, а также тяжёлых нефти.



Рисунок 1. Месторождение Кашаган в Каспийском море

Основная цель NCOC заключалась в разработке и внедрении технологий, обеспечивающих независимость от иностранных поставок оборудования и инструментов, а также в повышении эффективности и безопасности операций. Задачи включали:

- Разработку технологий для бурения в глубоководных условиях и высокотемпературных, высоконапорных средах.
- Локализацию ключевых инструментов и оборудования.
- Разработку методов, обеспечивающих экологическую устойчивость и безопасность операций.
- Усиление научно-исследовательской базы для адаптации к изменяющимся условиям рынка и геологии.

I. Методы

NCOC провела углубленные исследования в области моделирования процессов бурения, включая предсказание давления в пластах, проектирование обсадных колонн и анализ устойчивости скважин в условиях сложных геологических формаций. Особое внимание уделялось многопараметрическим моделям для прогноза аномального пластового давления. Так как бурение и добыча углеводородов в Каспийском бассейне является сложным процессом из-за аномально высокого давления пласта.

1. Разработка технологий:

- Разработка обсадных труб и цементажа, устойчивых к коррозии, высоким температурам и давлениям.
- Производство отечественных систем роторного бурения и подводных оборудования, таких как фонтанные ёлки и устройства для экстренного глушения скважин

2. Анализ данных

Применение технологий машинного обучения для анализа больших данных, полученных в процессе бурения и добычи, позволило оптимизировать операционные процессы.

II. Достижения в области технологий бурения

Скважины средней глубины: Благодаря разработке технологий повышения скорости проходки (ROP) и контроля пластового давления, удалось открыть крупное нефтяное

шельфовое месторождение Кашаган.

Глубоководное бурение: Разработка инструментов для бурения на глубинах до 1500 м позволила запустить первую скважину на шельфовом месторождении Кашаган

Тяжёлая нефть: Технологии термального извлечения тяжёлой нефти позволили повысить коэффициент извлечения нефти в Каспийском море, несмотря на ограниченное пространство платформ.

1. Локализация инструментов и оборудования

Одним из наиболее значимых достижений NCOC в рамках локализации является разработка и внедрение ключевых инструментов и оборудования, ранее импортируемых из-за рубежа.

Впервые в Казахстане были разработаны и успешно внедрены эти системы, что сделало страну обладающей этими технологиями. Они обеспечивают функции акустического каротажа, измерения давления и анализа пластов в реальном времени, а также увеличивают эффективность бурения на 20%. NCOC разработала устройство диаметром 480 мм с рабочим давлением 105 МПа и максимальной пропускной способностью 16 000 м³/сут. Более 90% компонентов произведены в Казахстане, что позволило достичь международного уровня качества и снизить себестоимость. Локализация ключевых инструментов и оборудования позволила сократить затраты на 35%, снизив зависимость от импорта и ускорив время реализации проектов.

Такое оборудование как фонтанная арматура для оффшорной добычи, глушители скважин под водой, буровые долота производятся в Казахстане, что делает поставку оборудования до месторождения в Каспийском море более быстрой и менее затратной.

Главным преимуществом в локализации бурового оборудования является

1. Оперативное произво или замена элементов оборудования,
2. Избежание простоев в бурении,
3. Сокращение стоимости за счёт местных материалов и рабочей силы.

Производство на месте позволяет оперативно контролировать стандарты и безопасность, адаптироваться к условиям Каспийского шельфа (ледовая нагрузка, коррозия, давление). Также повышается устойчивость отрасли к глобальным шокам — пандемиям, блокировкам цепочек поставок и др. На базе Атырау и Актау развиваются машиностроительные технопарки с участием таких компаний, как NCOC, КРО и ТШО. В 2022–2023 гг. была инициирована локализация производства устьевого оборудования, модулей автоматизации, кабельных систем. В Западном Казахстане так же производится буровое оборудование для традиционного бурения и бурения на шельфе в морских условиях.

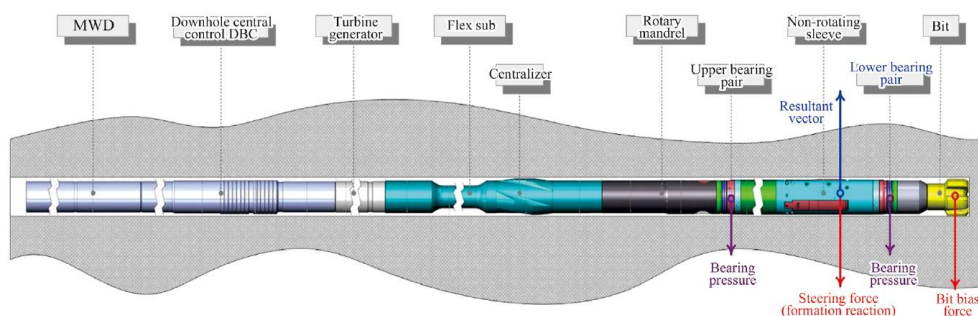


Рисунок 2- Разработанная в Казахстане буровая направляющая RSS для морского бурения

Так же, немало важным фактором в добычи нефти в морских условиях является обеспечение бесперебойной работы оборудования. И одна из разработок компании NCOC это Подводное устье скважины и подводная рождественская елка подводное устье скважины на

10000 PSI и подводную рождественскую елку для глубины воды 500 м (рис. 3) NCOC сейчас работает над разработкой, обработкой и производством соответствующих коммерческих продуктов. Более того, NCOC разработала первую в Казахстане мелководную подводную систему устья скважины и рождественской елки и испытала ее в Каспийском море, которая была проверена как надежная, безопасная и функциональная.

Благодаря введению в промыслы локализованного оборудования смогут быть открыты больше рабочих мест для местного казахстанского содержания. Для местных компаний больше не будет нужно привлекать иностранных специалистов для работы с нефтесервисным оборудованием, что поможет повысить необходимость создания кадров в нефтяной индустрии. Согласно требованиям Минэнерго РК, крупные недропользователи обязаны соблюдать определённую долю местного содержания (в закупках, услугах, кадрах). Локализация помогает выполнять квоты, что важно при получении лицензий и продолжении работ.



Рисунок 3- Подводное устьевое оборудование и Фонтанная елка

2. Экологическая устойчивость и безопасность

Каспийское море — уникальная экосистема, не имеющая естественного стока и обладающая высокой чувствительностью к техногенному воздействию. В казахстанском секторе Каспия ведётся активная добыча нефти и газа, особенно на таких месторождениях, как Кашаган, Курмангазы и Хвалынское. Учитывая хрупкость окружающей среды, важнейшей задачей для недропользователей является обеспечение безопасности бурения, минимизация загрязнения водной среды и соблюдение принципов устойчивого развития. Разработка технологий, обеспечивающих экологическую устойчивость и безопасность, является приоритетом NCOC:

1. Внедрены технологии раннего обнаружения газовых утечек, основанные на многопараметрических моделях, интегрирующих данные с подводных и наземных датчиков. Эти системы обеспечивают высокую точность обнаружения и предотвращают развитие аварийных ситуаций.

2. Разработаны цементные растворы с улучшенными свойствами для работы в высокотемпературных и высококоррозионных средах. Эти составы увеличивают долговечность скважин и снижают вероятность выбросов.

3. Создана интеллектуальная система контроля, которая анализирует данные со скважин в реальном времени, позволяя оперативно реагировать на изменения параметров.

Основные экологические риски:

1. Работы на шельфе сопряжены с несколькими экологическими вызовами;
2. Разливы нефти в результате аварийных выбросов или повреждения оборудования;

3. Загрязнение буровыми растворами и шламом, содержащими тяжёлые металлы и химикаты;
4. Механическое воздействие на дно, особенно в зонах размещения платформ и трубопроводов;
5. Шумовое загрязнение, влияющее на морскую фауну, включая осетровых и каспийскую нерпу;
6. Воздействие на миграционные маршруты рыб, изменение солевого и температурного баланса в зоне добычи.

Опыт компании NCOC в разработке Каспийского шельфа показывает, что при соблюдении строгих стандартов безопасности и экологического законодательства можно сочетать промышленную эксплуатацию с охраной природы. Устойчивое управление морскими ресурсами требует постоянного мониторинга, модернизации технологий и прозрачности деятельности компании. В условиях климатических и геополитических вызовов экологическая безопасность становится неотъемлемой частью энергетической стратегии государства.

III. Перспективы развития

1. Комплексные области разработки. Основные направления будущих исследований включают технологии бурения в условиях сверхвысоких температур и давлений, а также развитие систем циклического термального извлечения нефти.

2. Локализация и инновации. NCOC планирует продолжить локализацию производства глубоководных фототанных арматур, антикоррозийных труб и других ключевых компонентов.

3. Цифровизация. Создание интеллектуальных систем бурения и завершения скважин, включая автоматизированный мониторинг и управление данными в реальном времени, станет ключевым направлением.

Заключение. Разработка нефтегазовых ресурсов Каспийского моря представляет собой одно из важнейших направлений в энергетической политике Казахстана. Прибрежный шельф страны содержит значительные запасы углеводородов, способных обеспечить долгосрочную устойчивость национальной экономики и снизить зависимость от внешних поставок. Среди ключевых объектов особое место занимает месторождение Кашаган, обладающее уникальными геологическими и техническими характеристиками, требующими применения высокотехнологичных решений и комплексного подхода к организации производственных процессов.

На протяжении последних лет Казахстан последовательно выстраивает курс на устойчивое развитие морской добычи. Это включает в себя не только расширение инфраструктуры и привлечение инвестиций в локализацию оборудования, но и выработку новых стандартов экологической безопасности. Применение технологий автоматизированного бурения, мониторинга скважин в реальном времени, а также переход на инвертные буровые растворы являются доказательством того, что отрасль движется к более ответственному и экологически ориентированному подходу.

Особого внимания заслуживает направление локализации критически важного оборудования. Казахстан, осознавая свою зависимость от иностранных поставщиков и геополитических рисков, делает акцент на развитие машиностроительных мощностей в прикаспийском регионе. Производственные центры в Атырау и Актау, создание научно-инжиниринговых кластеров и вовлечение местных специалистов в международные проекты позволяют не только обеспечить независимость от внешнего давления, но и способствуют технологическому росту внутри страны. Это — путь к становлению Казахстана как не только поставщика сырья, но и игрока в сфере высоких технологий нефтегазовой отрасли.

Не менее значимым аспектом является экологическая составляющая. Каспийское море, будучи уникальной замкнутой экосистемой, крайне чувствительно к любым формам техногенного вмешательства. Нефтяные компании такие как NCOC, работающие в регионе, сталкиваются с необходимостью соблюдать строгие природоохранные нормы, внедрять системы раннего обнаружения утечек, реагировать на возможные разливы и минимизировать ущерб флоре и фауне моря. Использование автономных роботов, экологического моделирования и постоянного анализа воздействия на окружающую среду — это не только технологический вызов, но и этическая ответственность бизнеса перед будущими поколениями.

Стоит отметить, что развитие Каспийского шельфа неразрывно связано с вопросами международного сотрудничества и безопасности. Подписание Конвенции о правовом статусе Каспийского моря стало важным шагом к формированию единой платформы взаимодействия между прибрежными государствами. Однако остаются зоны неопределённости и потенциальных конфликтов интересов, требующих гибкой дипломатии и правовой проработки.

В совокупности, текущая модель освоения шельфовых месторождений Каспия в Казахстане может служить примером интеграции промышленного роста с природоохранной этикой. Страна делает ставку на долгосрочную устойчивость, вовлекая местное сообщество, развивая науку, внедряя цифровые решения и выстраивая ответственную бизнес-культуру. Будущее нефтегазовой отрасли Казахстана в акватории Каспия будет зависеть от способности сочетать технологические амбиции с осознанием ограниченности природных ресурсов и хрупкости окружающей среды.

Список литературы

1. Северо-Казахстанский проект https://psa.kz/proekty/?ELEMENT_ID=54
2. Tengrinews.kz. 29 November 2012. Retrieved 1 April 2014. - https://en.tengrinews.kz/industry_infrastructure/kazakhstans-kashagan-tagged-worlds-most-expensive-energy-14913/
3. Статья «Кашаган месторождение» из технической библиотеки
Источник: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/141663-kashagan/>
4. БОЛЬШАЯ НЕФТЬ КАСПИЯ Кандидат технических наук А. ОСАДЧИЙ
<https://www.nkj.ru/archive/articles/5119/>

Д.М. Есенжолов, Д.И. Мещерякова, Р.Т. Сулейменова

Ғылыми жетекші: Г.Ж. Молдабаева

«С.Утебаева атындағы Атырау мұнай және газ университеті» КЕАҚ, Атырау, Қазақстан

КАСПИЙ ТЕҢІЗІНДЕГІ ШЕЛЬФТІК КЕН ОРЫНДАРЫНДА БҰРҒЫЛАУ МЕН ӨНДІРУ САЛАСЫНДАҒЫ ЖАБДЫҚТАРДЫ ЖЕРГІЛІКТЕНДІРУ БОЙЫНША ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Бұл мақалада Каспий теңізіндегі теңіз жағдайында ұңғымаларды бұрғылау және аяқтау саласындағы Қазақстанның мұнай операторы — NCOC компаниясының алдында тұрған негізгі міндеттер мен қазіргі кездегі сын-қатерлер қарастырылады. Ірі өнеркәсіптік жобаларды іске асыру тәжірибесіне сүйене отырып, терең бұрғылау, жоғары қысым мен температура жағдайларында қабаттарды игеру, ауыр мұнайды термиялық әдіспен өндіру және шельфтегі төтенше жағдайларға әрекет ету технологиялары жүйелендіріліп берілген. Сонымен қатар, маңызды жабдықтарды жергіліктендіру және қазақстандық үлесті арттыру үрдісіне ерекше назар аударылады. Мақалада экологиялық қауіпсіздік, энергия үнемділігі және импортқа тәуелсіздік талаптары күшейіп отырған жағдайда технологияларды одан әрі дамыту бойынша практикалық ұсынымдар берілген.

Түйінді сөздер: NCOC, теңіздегі бұрғылау, терең су ұңғымалары, бұрғылау технологиялары, ауыр мұнай, жабдықтарды жергіліктендіру, цифрландыру, энергетикалық қауіпсіздік.

D.M. Yessenzholov, D.I. Mechsheryakova, R.T. Suleimenova

Scientific supervisor: **G.Z. Moldabaeva**

Email: daryamets@mail.ru

NJSC «Atyrau Oil and Gas University named after. S. Utebaeva», Atyrau, Kazakhstan

RESEARCH ON EQUIPMENT LOCALIZATION IN OFFSHORE DRILLING AND PRODUCTION AT THE CASPIAN SEA FIELDS

Abstract. This article examines the key aspects and current challenges faced by Kazakhstan's oil operator NCOC in the domain of offshore drilling and well completion in the Caspian Sea. Drawing on the implementation of major field development projects, the article summarizes technological advancements in deep water drilling, exploitation of high-pressure and high-temperature (HPHT) formations, thermal recovery of heavy oil, and emergency response measures for offshore incidents in the Caspian region. Special emphasis is placed on the localization of critical equipment and the development of Kazakhstani content. The article offers practical recommendations for advancing offshore drilling technologies amid increasing environmental safety requirements, energy efficiency standards, and national import substitution goals.

Keywords: NCOC, offshore drilling, deep water wells, drilling technologies, heavy oil, equipment localization, digitalization, energy security.

УДК 622.248.5

МРНТИ 52.47.15

Б. Ә. Ержан, А. З. Измагамбетов

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

E-mail: beksultan-03@mail.ru, amirkhan_izmagambetov@mail.ru

АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ ПРИХВАТОВ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ В НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ: ПРИЧИНЫ, ПРОФИЛАКТИКА И СТРАТЕГИИ УСТРАНЕНИЯ

Аннотация. В данной статье рассматриваются причины, механизмы возникновения и способы предотвращения прихватов бурильной колонны в процессе наклонно-направленного бурения. Прихваты являются одной из наиболее распространённых и экономически затратных проблем, приводя к увеличению времени бурения, снижению эффективности работ и значительным финансовым потерям. Рассмотрены основные виды прихватов: дифференциальные, механические и геометрические. Проведён анализ ключевых факторов, влияющих на вероятность их возникновения, включая геологические условия, параметры бурения и свойства бурового раствора. Описаны основные методы профилактики, такие как оптимизация параметров бурового раствора, контроль профиля скважины, использование современных технологий мониторинга и предиктивного моделирования. Также в статье уделяется внимание методам устранения возникших прихватов, в том числе механическим, гидравлическим и химическим способам освобождения бурильной колонны.

Ключевые слова: Прихват, бурильная колонна, набухание, обвалы, измерения во время бурения (MWD), RSS, буровой раствор, фильтрационная корка.

Введение. Наклонно-направленное бурение является неотъемлемой частью современной нефтегазовой промышленности, позволяя достигать сложных залежей углеводородов и повышать коэффициент извлечения нефти. Однако при бурении наклонных и горизонтальных скважин возникают специфические осложнения, наиболее распространённым из которых является прихват бурильной колонны.

Прихват бурильной колонны – это ситуация, при которой бурильный инструмент теряет подвижность в скважине. Это осложнение может привести к дорогостоящим работам по его извлечению, необходимости бурения обходного ствола и потере оборудования. В зависимости от механизма возникновения прихваты делятся на дифференциальные, механические и геометрические [1].

Задачей данной статьи является анализ причин возникновения прихватов, их диагностика и разработка стратегий предупреждения и ликвидации с учётом современных технологий бурения.

Основная часть

1. Классификация прихватов бурильной колонны

1.1. Дифференциальный прихват

Дифференциальный прихват происходит вследствие значительной разницы давления между буровым раствором и пластовым флюидом. В результате бурильная колонна прижимается к стенке скважины и теряет способность двигаться. Основной причиной возникновения дифференциального прихвата является высокий перепад давления между буровым раствором и пластом. Когда давление столба бурового раствора значительно превышает пластовое давление, бурильная колонна прижимается к стенке скважины с высокой силой. Это особенно критично в проницаемых породах, где буровой раствор может проникать в пласт, образуя плотную фильтрационную корку. Чем толще эта корка, тем выше вероятность прихвата бурильного инструмента.

Другой важный фактор – длительный контакт бурильного инструмента с породой. При остановке движения колонны в условиях высокого перепада давления происходит увеличение силы сцепления между инструментом и стенкой скважины, что приводит к его заклиниванию. Особенно подвержены дифференциальному прихвату участки скважины с высокой проницаемостью, где фильтрационная корка образуется быстрее [2]. Также большое влияние оказывает недостаточное содержание смазочных добавок в буровом растворе. Если буровой раствор не обладает достаточными смазывающими свойствами, сила трения между бурильным инструментом и стенкой скважины возрастает, что способствует возникновению прихвата. Кроме того, недостаточная циркуляция раствора может привести к накоплению осадка и ухудшению условий движения бурильной колонны.

Наличие неравномерностей в профиле скважины также может спровоцировать дифференциальный прихват. Резкие изменения угла наклона, локальные сужения ствола и другие геометрические особенности создают дополнительные зоны риска, в которых давление может неравномерно распределяться по поверхности бурильной колонны.

Таким образом, ключевыми причинами дифференциального прихвата являются высокий перепад давления между буровым раствором и пластом, наличие толстой фильтрационной корки, длительный контакт бурильного инструмента с породой, недостаточное содержание смазочных добавок в растворе и особенности профиля скважины [3]. Для предотвращения данного типа прихвата необходимо тщательно контролировать параметры бурового раствора, минимизировать перепад давления, обеспечивать регулярную циркуляцию раствора и применять современные технологии мониторинга состояния бурильной колонны.

1.2. Механический прихват

Механический прихват возникает в результате заклинивания бурильной колонны в скважине из-за геометрии ствола, неравномерного распределения напряжений в породе или обвала горных пород. Этот вид прихвата характерен для искривленных скважин с участками резких изменений угла наклона, а также для зон с нестабильными стенками.

Одной из основных причин механического прихвата является образование уступов и локальных сужений ствола скважины. При бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин бурильная колонна проходит через зоны измененного напряженного состояния пород, что может приводить к их деформации и локальным сужениям [4]. В

результате колонна оказывается зажатой в этих узких участках, что затрудняет её перемещение и может привести к полному заклиниванию.

Дополнительную роль играет нестабильность стенок скважины, вызванная геометрическими процессами. Обвалы пород, оползни и осыпи могут привести к закупорке бурильной колонны в скважине. Это особенно характерно для зон, подверженных высокому горизонтальному напряжению или для пластов с глинистыми включениями, которые при увлажнении буровым раствором могут набухать и деформироваться. Для предотвращения механического прихвата необходимо соблюдать ряд профилактических мер. Так же, в процессе бурения буровой раствор не всегда успевает эффективно выносить шлам из зоны разрушения породы, особенно при недостаточной циркуляции. Скопления шлама создают дополнительные препятствия для движения бурильной колонны и увеличивают вероятность её прихвата.

1.3. Геометрический прихват

Геометрический прихват бурильной колонны является следствием нестабильного состояния пород в стволе скважины. Он возникает из-за деформации или обрушения стенок скважины под воздействием горного давления, что приводит к заклиниванию бурильной колонны. Данный тип прихвата наиболее распространён в зонах с высоким напряжённо-деформированным состоянием горных пород, а также при проходке нестабильных пластов.

Основной причиной геометрического прихвата является нарушение равновесия между горным давлением и противодавлением бурового раствора. Если давление бурового раствора недостаточно, стенки скважины могут разрушаться и осыпаться, блокируя бурильную колонну. В зонах с высоким пластовым давлением возможно спонтанное сжатие стенок скважины, что также может привести к прихвату. Кроме того, геометрический прихват может быть вызван разуплотнением пород вследствие выбуривания и ослабления структурных связей внутри горной массы [5].

Другой важный фактор — наличие пластов, подверженных набуханию. Глинистые породы при контакте с буровым раствором могут увеличиваться в объёме, снижая проходимость бурильной колонны. Аналогично, карбонатные и сланцевые породы, имеющие трещиноватую структуру, могут обрушиваться, создавая препятствия для движения колонны [6].

2. Решения проблемы и стратегии предотвращения прихватов

2.1. Методы предотвращения и устранения дифференциального прихвата

Для предотвращения дифференциального прихвата необходимо контролировать плотность бурового раствора, чтобы минимизировать разницу давлений между пластом и стволом скважины. Использование малосолёных и маслянистых растворов снижает прилипание бурильной колонны к стенкам скважины. Применение специальных смазывающих добавок и снижающих фильтрацию агентов позволяет уменьшить вероятность дифференциального прилипания [7]. Также важно следить за скоростью бурения и перемещением инструмента, периодически осуществлять расхаживание колонны, чтобы предотвратить её фиксацию. При возникновении прихвата необходимо снизить осевую нагрузку, провести серию расхаживаний с одновременной подачей бурового раствора, а в сложных случаях использовать химические реагенты для разрушения фильтрационной корки.

2.2. Методы предотвращения и устранения механического прихвата

Механический прихват предотвращается за счёт оптимизации траектории скважины, избегая резких изменений угла наклона и геометрических аномалий в стволе. Для этого необходимо использование систем роторного управляемого бурения (RSS), измерения во время бурения (MWD) и периодический контроль траектории с помощью гироскопических инструментов. Очистка скважины от шлама играет ключевую роль, поэтому важно поддерживать высокую скорость циркуляции и применять буровые растворы с эффективными выносными характеристиками. Использование ингибирующих и смазывающих добавок в раствор помогает уменьшить накопление шлама и снижает коэффициент трения. Если механический прихват уже произошёл, следует провести расхаживание колонны, промывку

скважины увеличенным дебитом, а также возможно применение вибрационных или ударных инструментов для высвобождения инструмента [8].

2.3. Методы предотвращения и устранения геометрического прихвата

Геометрический прихват можно предотвратить, контролируя стабильность стенок скважины. Это достигается подбором бурового раствора с достаточной плотностью для компенсации горного давления, а также использованием растворов с ингибирующими добавками, предотвращающими набухание глинистых пород [9]. Важным аспектом является выбор оптимального режима бурения, включая контроль осевой нагрузки и крутящего момента, чтобы избежать избыточного механического воздействия на стенки скважины [10]. Регулярное применение стабилизаторов и расширителей помогает предотвратить образование локальных сужений. При возникновении геометрического прихвата используются методы промывки с постепенным увеличением дебита жидкости, снижение давления в стволе скважины для снятия напряжений и применение химических реагентов для стабилизации породы. В сложных случаях могут применяться расширительные инструменты для увеличения диаметра проблемного участка.

Заключение

В ходе анализа проблемы прихватов бурильной колонны в наклонно-направленном бурении было выявлено, что основные типы прихватов – дифференциальные, механические и геометрические – имеют разные причины возникновения и требуют различных подходов к профилактике и устранению. Эффективное предотвращение прихватов требует комплексного подхода, включающего оптимизацию параметров бурового раствора, применение современных технологий контроля траектории бурения, а также использование инструментов мониторинга напряжённого состояния горных пород. Предложенные в данной статье методы предотвращения и ликвидации прихватов могут значительно снизить финансовые потери и временные затраты, связанные с осложнениями в бурении. Развитие технологий и совершенствование методов мониторинга и диагностики продолжают повышать эффективность буровых работ, минимизируя риск возникновения прихватов и увеличивая производительность скважин.

Список литературы

1. И. Складнов, М.Перепелкин. Анализ современных способов и средств, применяемых для извлечения трубных колонн из скважин при проведении буровых и ремонтных скважин, 2018.
2. Коренский В., Батыров Т., Базаев Н. Анализ способов снижения прихватоопасности бурового инструмента, 2021.
3. А.Я. Третьяк, Ю.М. Рыбальченко. Способы борьбы с дифференциальными прихватами, 2001.
4. Маскаев А.Ю. Анализ методов снижения прихватов бурильного инструмента при бурении скважин с горизонтальным окончанием, 2013.
5. Д.Мартынов. Методики предупреждения прихватов и осложнений при бурении, 2019.
6. А.И.Аджам. Проблема прихватов бурильных и обсадных колонн, 2021.
7. Е.А.Рогов. Разработка состава технологической жидкости для ликвидации прихвата бурильного инструмента, 2019.
8. Е.В. Головань. К.Д.Угланов., Применение ударных механизмов для предупреждения и ликвидации прихватов бурильной колонны, 2020.
9. И.И.Джанзаков, Ж.К.Ниталиев. Моделирование начала процесса образования прихвата бурильной колонны, связанного с изменением свойств промывочной жидкости и геометрии скважины, 2007.
10. Селиванов Н.С., Комаров С.А., Чудинова И.В. Анализ мероприятий по предотвращению прихватов бурильной колонны на Харасавэйском газоконденсатном месторождении, 2022.

Б. Ә. Ержан, А. З. Измагамбетов

Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан

E-mail: beksultan-03@mail.ru, amirkhan_izmagambetov@mail.ru

КӨЛБЕУ-БАҒЫТТАЛҒАН БҰРҒЫЛАУ КЕЗІНДЕ БҰРҒЫЛАУ КОЛОННАСЫНЫҢ КЕПТЕЛУ ЖАҒДАЙЛАРЫН ТАЛДАУ: СЕБЕПТЕРІ, АЛДЫН АЛУ ЖӘНЕ ШЕШУ ЖОЛДАРЫ

Аңдатпа. Бұл мақалада қиғаш бағытталған бұрғылау процесінде бұрғылау бағанының ұстамаларының пайда болу себептері, механизмдері және алдын алу әдістері қарастырылады. Ұстамалар бұрғылау уақытының ұлғаюына, жұмыс тиімділігінің төмендеуіне және айтарлықтай қаржылық шығындарға әкелетін ең көп таралған және экономикалық шығындардың бірі болып табылады. Ұстамалардың негізгі түрлері қарастырылады: дифференциалды, механикалық және геометриялық. Олардың пайда болу ықтималдығына әсер ететін негізгі факторларға, соның ішінде геологиялық жағдайларға, бұрғылау параметрлеріне және бұрғылау ерітіндісінің қасиеттеріне талдау жасалды. Бұрғылау ерітіндісінің параметрлерін оңтайландыру, ұңғыма профилін бақылау, заманауи бақылау және болжамды модельдеу технологияларын қолдану сияқты алдын алудың негізгі әдістері сипатталған. Сондай-ақ, мақалада бұрғылау бағанасын босатудың механикалық, гидравликалық және химиялық әдістерін қоса алғанда, пайда болған ұстамаларды жою әдістеріне назар аударылады.

Түйін сөздер: жабыстыру, бұрғылау тізбегі, ісіну, үңгірлеу, бұрғылау кезіндегі өлшемдер (MWD), RSS, бұрғылау ерітіндісі, сүзгі торт.

B. A. Yerzhan, A. Z. Izmagambetov

Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev, Atyrau, Kazakhstan

E-mail: beksultan-03@mail.ru, amirkhan_izmagambetov@mail.ru

ANALYSIS OF DRILL STRING STUCK PIPE INCIDENTS IN DIRECTIONAL DRILLING: CAUSES, PREVENTION, AND REMEDIATION STRATEGIES

Annotation. This article discusses the causes, mechanisms of occurrence and methods for preventing drill string sticking during directional drilling. Sticking is one of the most common and costly problems, leading to increased drilling time, NPV, decreased efficiency and significant financial losses. The main types of sticking are considered: differential, mechanical and geometric. An analysis of the key factors affecting the likelihood of their occurrence is carried out, including geological conditions, drilling parameters and drilling fluid properties. The main prevention methods are described, such as optimization of drilling fluid parameters, well profile control, the use of modern monitoring technologies and predictive modeling. The article also focuses on methods for eliminating sticking that has occurred, including mechanical, hydraulic and chemical methods for releasing the drill string.

Keywords: Sticking, drill string, swelling, caving, measurements while drilling (MWD), RSS, drilling fluid, filter cake.

ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕХИМИИ И ЭКОЛОГИИ

УДК 665.75
МРНТИ 61.51.35

Б.Ғ. Ғабдысамат¹, М.М. Есиркепова²

¹КеАҚ «Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті», Атырау, Қазақстан
gabdysamat_23@aogu.edu.kz

²Оңтүстік Қазақстан медициналық академиясы, Шымкент, Қазақстан

ҚОСПАЛАРДЫҢ ДИЗЕЛЬ ОТЫНЫНЫҢ ТӨМЕН ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Жаздық маркалы дизель отындарының суықта жұмыс істеу қабілетін арттыру үшін оларды төмен қату температурасымен ерекшеленетін реактивті отындармен және арнайы депрессорлық қоспалармен араластыру ұсынылды. Бұл тәсіл дизель отынының төмен температуралық сипаттамаларын жақсартуға ықпал ететіні тәжірибе жүзінде дәлелденді.

Кілт сөздер: депрессорлық қосымдар, дизель отыны, бұлдырлану температурасы, қату температурасы, реактивті отын.

Кіріспе. Жаздық маркалы дизель отындарын 0°C-тан төмен температурада қолдану бірқатар қиындықтар туындатады. Себебі, пайдалану барысында отыннан жоғары балқу температурасына ие көмірсутектердің кристалдары бөлініп шығады. Бұл олардың қозғалысын тежеп, қозғалтқыштың толық тоқтауына әкелуі мүмкін. Осыған байланысты төмен қату температурасына ие отын түрлерін әзірлеу — өзекті мәселе болып табылады.

Жаздық дизель отындарында балқу температурасы жоғары көмірсутектер көптеп кездеседі. Барлық көмірсутек кластарында бір заңдылық байқалады: молекулалық массаның, яғни қайнау температурасының артуымен бірге көмірсутектердің балқу температурасы да өседі. Көмірсутектердің құрылымы да олардың балқу температурасына айтарлықтай әсер етеді. Бірдей молекулалық массаға ие, бірақ әртүрлі құрылымы бар көмірсутектердің балқу температурасы кең ауқымда өзгеруі мүмкін. Ең жоғары балқу температурасымен парафиндік, тармақталмаған тізбекті көмірсутектер сипатталады [1]. Ал ароматтық және нафтендік көмірсутектер, бензол мен n-ксилолдан басқа, төменірек температурада балқиды.

Мұнай өнімдерінің қату механизмін түсіндіретін әртүрлі теориялар бар. Солардың бірі бойынша, қату барысында парафин кристалдарынан үздіксіз кеңістіктік тор түзіледі, бұл сұйық фазадан әртүрлі кристалдану температурасымен сипатталатын қатты көмірсутектердің біртіндеп бөлінуі нәтижесінде жүзеге асады немесе бұл үрдіс жоғары деңгейдегі мицеллалық құрылымдар арқылы жүреді [2]. Басқа теориялар бойынша, қату — парафин мен көмірсутек жүйесінде құрылымдық структураның түзілуінен туындайды. Бұл структура сұйық фазаны иммобилизациялап, оның қозғалуына кедергі жасайды. Сонымен қатар, қату парафин кристалдарының айналасында сұйық фазадан сольваттық қабықшалардың түзілуімен де байланысты болуы мүмкін. Бұл қабықшалар кристалдардың көлемін ұлғайтып, жүйенің ішкі үйкелісін арттырады және тұтқырлығын жоғарылатады, нәтижесінде отын ағыны нашарлайды.

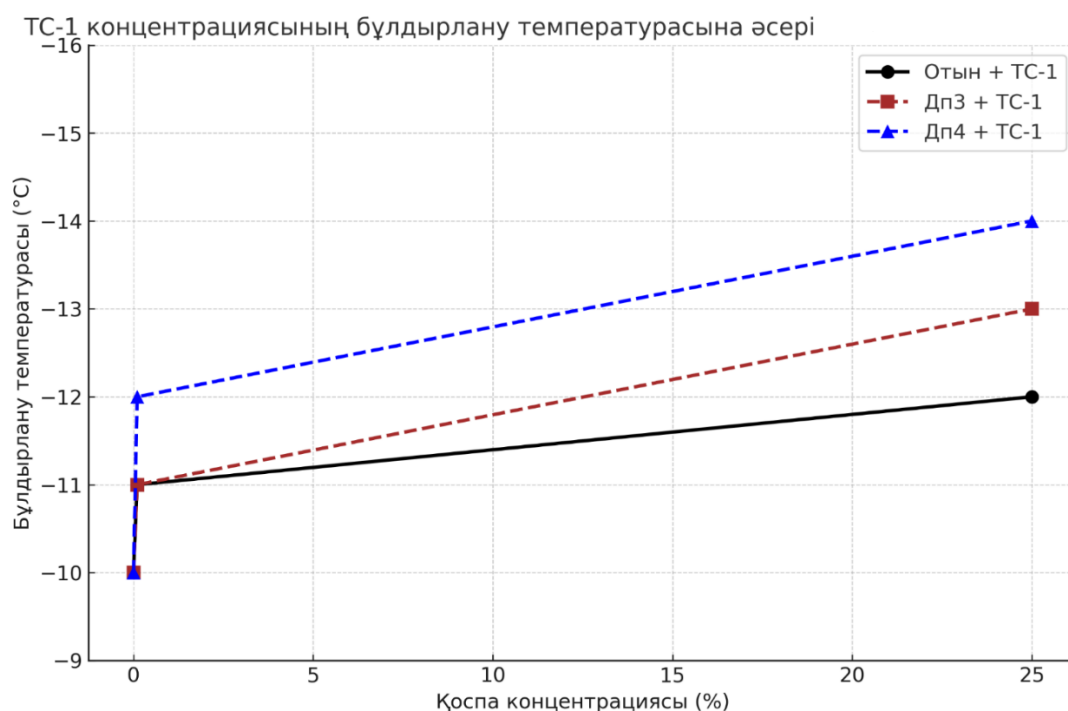
N-парафиндердің басқа көмірсутектердегі ерігіштігі орта температурасына, ортаның табиғатына және парафиндердің кристалдану температурасына байланысты [3]. Төмен температурада олар басқа көмірсутектерде шектеулі түрде ғана ериді. Отын құрамындағы парафиндердің ерігіштігіне байланысты отынның бұлдырлану температурасы өзгереді. Бұл ретте инициациялаушы факторлар ретінде механикалық қоспа бөлшектері, су немесе ауа көпіршіктері әрекет етеді.

Дизель отындарының құрамында C₆–C₂₇ көміртек тізбекті парафиндер (жаздық

маркалар үшін) және C_6-C_{19} (қысқы маркалар үшін) кездеседі. Қажетті бұлдырлану және қату температураларын қамтамасыз ету үшін қысқы дизель отындарын фракциялық құрамын жеңілдету арқылы алуға болады, бірақ бұл жағдайда мұнайдан алынатын дизель отынының шығымы 42%-дан 30,5%-ға дейін төмендейді [4]. Пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, жазғы дизель отынының төмен температуралық қасиеттерін жақсартудың экономикалық жағынан ең тиімді тәсілі – депрессорлық қоспаларды қолдану.

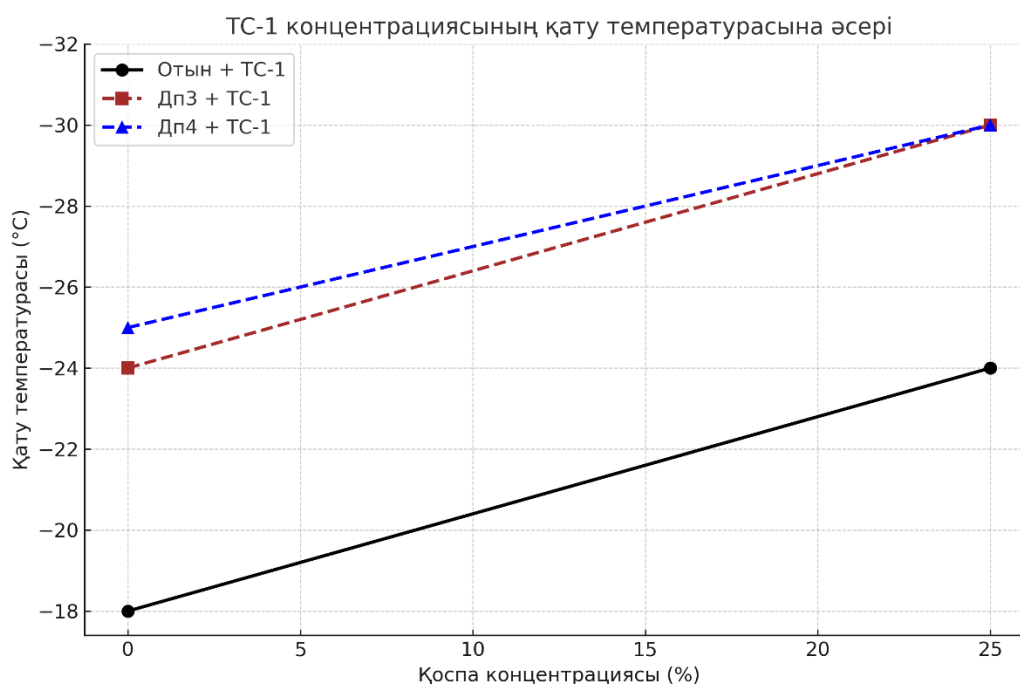
Эксперименттік бөлім. Практикада жазғы дизель отынының төмен температуралық қасиеттерін жақсарту үшін оған төмен қату температуралы TC-1 реактив отыны 25%-ға дейін қосылады. Мұндай қоспаның қозғалтқыш жұмысына немесе оның тозуына теріс әсері байқалмайды [5].

Осы зерттеулерімізде дизель отынының төмен температуралық қасиеттерін депрессорлар мен реактивтік отынның үйлесімі арқылы жақсартуға болатыны көрсетілді. Осы мақсатта біз TC-1 реактивтік отынының 25%-ға дейінгі мөлшерін және 0,21% $D_{п1}$ және 0,47% $D_{п2}$ депрессорлық қосымдарын қамтитын жазғы дизель отынының қоспаларын дайындадық. Кейін осы қоспалардың бұлдырлану және қату температуралары анықталды (1, 2-суреттер).



Сурет 1. ТС-1 концентрациясының отынның бұлдырлану температурасына әсері

1-ші суреттен көрініп тұрғандай, бастапқы дизель отынының бұлдырлану температурасы -10°C , ал құрамында 0,21% $D_{п1}$ және 0,47% $D_{п2}$ бар отын үшін бұл көрсеткіш -11°C және -12°C құрады. ТС-1 мөлшері 25%-ға дейін артқан жағдайда бұлдырлану температурасы тағы 2°C -қа төмендеді.



Сурет 2. ТС-1 концентрациясының отынның қату температурасына әсері

2-ші суреттен көрініп тұрғандай, ТС-1-дің қосылуы отынның төмен температуралық қасиеттерін жақсартады. Мәселен, құрамында 25% ТС-1 бар, қоспалармен байытылған отынның қату температурасы $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа дейін төмендеді.

Дизель отыны мен ТС-1 араласқан кезде бұлдырлану және қату температуралары аддитивтік заңдылыққа бағынбайды, керісінше жоғары қату температурасымен сипатталатын компонентке қарай ығысады. Бұлдырлану температурасының өзгерісі — парафиндік көмірсутектердің ерігіштігіне, ал қату температурасының өзгерісі — олардың концентрациясына тәуелді. Жоғары қату температурасымен сипатталатын компонентті төмен қату температурасындағы компонентпен сұйылту кезінде қоспадағы парафиндердің концентрациясы төмендейді, бұл өз кезегінде бұлдырлану мен қату температуралары арасындағы айырмашылықты арттырады [6]. Бұл айырмашылық парафиндердің бастапқы концентрациясы мен олардың балку температурасына тәуелді. Парафиндердің бастапқы концентрациясы төмен және балку температурасы неғұрлым аз болса, қоспада бұл айырмашылық соғұрлым үлкен болады.

Белгілі болғандай, қыс мезгілінде дизель отындарының қату температурасын төмендету үшін оны 50% және одан да көп мөлшерде керосинмен араластырады [7]. Алайда, бұл экономикалық тұрғыдан тиімсіз және бағалы реактив отынының артық шығынына әкеледі. Жүргізілген зерттеулеріміз жазғы дизель отынына 0,2% депрессор және 25% ТС-1 қосу арқылы қату температурасы $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ болатын қысқы дизель отынын алуға болатынын көрсетті. Сонымен қатар, 5% ТС-1 және 0,05% Дп₃ қосу арқылы қату температурасы $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ болатын қоспа да дайындалды.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, жазғы дизель отынының төмен температуралық қасиеттерін жақсартудың тиімді тәсілі ретінде депрессорлық қоспаларды және төмен қату температуралы ТС-1 реактивтік отынын қолданудың орындылығы дәлелденді. Алынған мәліметтер көрсеткендей Дп₂ және Дп₃ депрессорлық қоспалары мен ТС-1-дің оңтайлы мөлшерін қолдану арқылы дизель отынының бұлдырлану және қату температураларын айтарлықтай төмендетуге болады. Атап айтқанда, 0,05% Дп₃ және 5% ТС-1 қосылған қоспа $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ температурада қату қасиетін көрсетті, бұл Қазақстан Республикасының қыстағы климаттық жағдайлары үшін жеткілікті.

Қазақстанның көптеген аймақтарында қатты аяз ұзаққа созылмайды және температура

–30 °С-тан төмен сирек түсетіндіктен, қымбат реактив отынын көп мөлшерде пайдаланбай-ақ, отындардың қажетті сипаттамаларын қамтамасыз етуге болады. Осы тұрғыдан алғанда, ұсынылған технологиялық тәсіл – экономикалық жағынан тиімді әрі өндірістік тұрғыдан оңтайлы шешім болып табылады.

Жүргізілген зерттеу жұмысы еліміздің солтүстік, орталық және шығыс өңірлерінде қыс мезгілінде дизель отындарын сенімді қолдануға мүмкіндік беретін отын құрамын жасауға бағытталған нақты қадамдардың бірі болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Зинина Н.Д., Шеянова А.В., Фаерман В.И., Гришин Д.Ф. Исследование влияния углеводородного состава дизельных топлив на их низкотемпературные свойства // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2015. – №10. – С. 14-19.
2. Синюта В.Р., Орловская Н.Ф., Абрамова Л.В. Физико-химические свойства зимнего дизельного топлива // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2017. – Вып. 9. Ч. 1. – С. 346–356.
3. Безюков О.К., Жуков В.А., Маад М.М. Современные присадки к дизельному топливу // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2016. – №1 (61). – С. 28-33.
4. Агаев С.Г., Глазунов А.М., Гуляев С.В., Яковлев Н.С. Улучшение низкотемпературных свойств дизельных топлив: монография. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. – 145 с.
5. Вафаев О.Ш., Таджиходжаев З.А., Джалилов А.Т. Влияние добавок на низкотемпературные свойства дизельного топлива // Universum: Технические науки: электронный научный журнал. 2019. № 6(63).
6. Гилева М.В., Кулакова Н.А., Рябов В.Г. Применение депрессорно-диспергирующей присадки при получении дизельного топлива для арктического климата // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2015. – С.147-160.
7. Носова Е.В., Сапрыгина В.Н. Экспериментальное исследование качества дизельного топлива // Вестник иркутского государственного технического университета. – 2011. – С.69-72.

Б.Г. Габдысамат¹, М.М. Есиркепова²

¹НАО «Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева», Атырау, Казахстан
gabdysamat_23@aogu.edu.kz

²Южно-Казахстанская медицинская академия, Шымкент, Казахстан

ВОЗДЕЙСТВИЕ ДОБАВОК НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Аннотация: Повышение эксплуатационных характеристик летнего дизельного топлива при низких температурах может быть достигнуто за счёт введения реактивного топлива с пониженной температурой застывания и депрессорных присадок. Проведённые исследования подтвердили эффективность данного метода в улучшении низкотемпературных свойств дизельного топлива.

Ключевые слова: депрессорная добавка, дизельная топлива, температура помутнения, температуры застывания, реактивное топливо.

B.G. Gabdyssamat¹, M.M. Esirkepova²

¹S. Utebayev Atyrau Oil and Gas University, Atyrau, Kazakhstan

²South Kazakhstan Medical Academy, Shymkent, Kazakhstan

THE EFFECT OF ADDITIVES ON THE LOW-TEMPERATURE PROPERTIES OF DIESEL FUEL

Abstract: The performance of summer-grade diesel fuel at low temperatures can be improved by adding jet fuel with a low freezing point and using depressant additives. Experimental studies have confirmed the effectiveness of this approach in enhancing the low-temperature properties of diesel fuel.

Keywords: depressor additiv, diesel fuel, cloud point, temperature of hardening, jet fuel.

УДК 629.3.033
МРНТИ 61.61.91

М.К.Досмагамбетова, Д.К.Кулбатыров, Г.Р.Жаксиева, А.Б.Кулкайрова, А.А.Ауганбаев, Ж.Х.Кусманова, Д.Бисенкулов

НАО «Атырауский университет нефти и газа им. Сафи Утебаева», Атырау, Казахстан

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТАННОГО ПЛАСТИКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАТЕРИАЛОВ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

Аннотация. Пластиковые бутылки, являясь одним из самых распространённых видов упаковки, часто становятся источником загрязнения окружающей среды. Использование переработанного материала не только снижает количество отходов, но и уменьшает потребность в первичных ресурсах, способствуя более устойчивому производству. Подчёркиваем экологическую значимость этого процесса, а также его потенциал в снижении негативного воздействия на окружающую среду. Понимание вторичной переработки пластиковых бутылок как важного этапа в цикле их жизни способствует формированию ответственного подхода к потреблению и производству.

В статье рассматривается проблема утилизации отходов, акцентируя внимание на переработке пластика как на важной составляющей защиты окружающей среды. Описаны основные виды переработки полимеров (физико-химический и механический), а также приведены примеры успешных разработок и технологий переработки пластика.

Цель работы это внедрение в производства термопласта с добавлением пластика, для дорожной разметки. Наш проект совмещает в себе решение экологической проблемы и экономии нефтеполимерной смолы местного производства. Особое внимание уделено переработке полиэтилентерефталата (PET) для производства термопласта с уникальными свойствами, подходящего для использования в дорожной разметке. Подробно описан процесс переработки: от сбора и сортировки пластиковых бутылок до получения готового материала.

Основные преимущества переработки пластика включают снижение загрязнения окружающей среды, сохранение природных ресурсов, экономию затрат и повышение экологической осознанности. Указаны перспективы переработки пластика, трудности, связанные с недостатком технологий, и пути их преодоления.

Ключевые слова: пластик, пластик холодного отверждения, вторичное использование, дорожная разметка

Введение. В современном обществе наблюдается стремительный рост объемов потребления и производства, что приводит к увеличению количества отходов. Сегодня

большинство товаров (около 95%) поставляются в упаковке, чаще всего из пластика или полиэтилена. После использования продукции упаковка, как правило, выбрасывается, что способствует образованию крупных свалок, загрязняющих почву, воду и воздух. Это обостряет необходимость разработки эффективных методов утилизации и переработки отходов [1].

Особенно важна переработка пластика, поскольку этот материал разлагается свыше 100 лет. Его долговечность позволяет многократно использовать переработанное сырье, делая пластик одним из наиболее востребованных компонентов для вторичного использования (рисунок 1).



Рисунок 1. Инфографик переработки отходов

Каждый день на планете образуется свыше 3,5 миллиона тонн твердых бытовых отходов. По данным Всемирного банка, это в десять раз превышает показатели столетней давности. Крупнейшими производителями отходов считаются Канада, Болгария и США, согласно исследованию USA Today за 2019 год. Однако важно учитывать не только объемы мусора, но и их состав, источники данных и другие аспекты. Тем не менее, статистика подтверждает актуальность высказывания, приписываемого Нильсу Бору: «Человечество не погибнет в атомной катастрофе - оно задохнется в собственных отходах».

Переработка пластика уже давно вышла за рамки оптимистичных ожиданий потребителей, полагающихся на цветные контейнеры для раздельного сбора мусора. Сегодня инженеры и химики активно разрабатывают экономичные и эффективные технологии, чтобы дать отходам вторую жизнь. Примером может служить «СИБУР Холдинг», который создал уникальный концентрат для переработки сырья, такого как пластиковые бутылки, в полимеры с характеристиками, близкими к первичным материалам. Особенность изобретения заключается в повышении вязкости переработанного пластика, что решает проблему его низкой молекулярной массы и ограниченной применимости [2].

Аналогичное направление развивает литовская компания Neo Group. В 2020 году она запатентовала технологию переработки ПЭТ-упаковки, позволяющую производить материал, содержащий до 30% вторичного сырья, без необходимости модернизации существующего

оборудования [3].

Инновационное применение переработанного пластика продемонстрировали голландские разработчики Анне Кудстаал и Симон Йорритсма, представившие концепцию PlasticRoad — модульных дорог из переработанного пластика. Такие модули легко соединяются, обладают полыми конструкциями для прокладки коммуникаций и подлежат повторной переработке. Эту идею также развивают эстонские изобретатели, которые получили европейский патент на аналогичный проект пластиковых модулей для дорожного строительства [4].

Главной целью переработки отходов является минимизация их негативного влияния на окружающую среду. Однако в Казахстане ситуация в этой сфере оставляет желать лучшего. Основными проблемами являются недостаточное оснащение предприятий современными технологиями и низкий уровень развития инфраструктуры для переработки мусора. Тем не менее, прогресс движется вперед, и все больше компаний начинают задумываться о внедрении вторичного сырья в свои производственные процессы.

Особенно сложной остается переработка полимерных материалов. Полимеры делятся на несколько типов, которые в отходах зачастую перемешаны, что требует дополнительных усилий на их сортировку. Из-за этого пластик и пластмассы чаще всего производят из чистых полимеров. При этом переработанные полимеры находят широкое применение, особенно в строительной отрасли, где они давно заменили дерево и металл благодаря своей экономичности.

В Казахстане переработка пластика может стать прибыльным направлением бизнеса. В отличие от западных стран, в республике существует ограниченное число предприятий, занимающихся рециклингом, что снижает уровень конкуренции. Кроме того, сырье в буквальном смысле доступно повсюду.

Основными методами переработки полимеров являются физико-химический и механический. Первый метод, из-за его высокой стоимости, практически не используется в Казахстане. Второй, напротив, является наиболее популярным. Его суть заключается в измельчении пластика в гранулы с помощью специализированных машин, при этом свойства материала сохраняются. Наибольшие затраты связаны с приобретением оборудования. В результате переработки пластиковых бутылок и полиэтиленовых пакетов получают такие продукты, как гранулы ПВХ, флекс и химическое волокно. Эти материалы востребованы в строительстве, что делает их переработку особенно перспективной.

Переработка каждого вида материалов преследует свои уникальные цели. Например, переработка пластмасс помогает не только уменьшить количество мусора, но и защитить окружающую среду от вредных веществ, выделяемых полимерами при нагреве. Такие выбросы могут происходить как искусственно, так и под воздействием солнечного света.

Огромное количество пластикового мусора попадает в моря и океаны, где представляет угрозу для морских обитателей. Рыбы и другие животные запутываются в полиэтиленовых отходах или проглатывают их, что часто приводит к их гибели.

Рециклинг также способствует сохранению природных ресурсов, так как позволяет повторно использовать изделия, завершившие свой жизненный цикл. Можно уверенно утверждать, что переработка вторичного сырья — это шаг в будущее. Она не только помогает рационально использовать природные ресурсы, но и превращается в значимый и социально ответственный бизнес. Рециклинг — это не просто источник дохода, но и важный вклад в защиту окружающей среды и благородное дело [1].

Результаты исследования. В лаборатории Атырауского университета нефти и газа им. С. был разработан прототип, изготовленный на основе переработанного пластика с добавлением термопласта. Этот образец выделяется уникальными характеристиками: высокой прочностью, стойкостью к деформациям и отличной термостойкостью. Благодаря свойствам термопласта, материал легко поддается обработке, что открывает возможности для создания более точных и детализированных конструкций в будущем (см. рисунок 2).

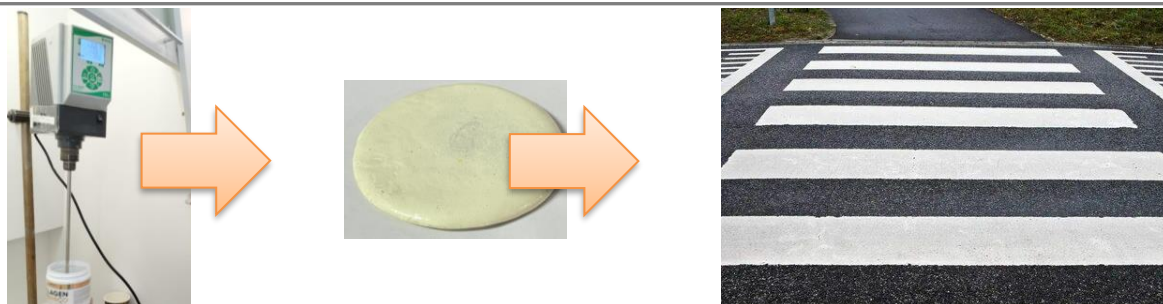


Рисунок 2. Процесс получения макета из пластика

Процесс переработки пластиковых бутылок в термопласт состоит из нескольких ключевых этапов:

1. **Сбор и сортировка:** Использованные пластиковые бутылки проходят этапы сбора, очистки и сортировки. Затем они измельчаются до порошкообразного состояния с помощью кофемолки, что делает переработанный пластик пригодным для использования в создании пластичных материалов.

Основным используемым материалом является переработанный полиэтилентерефталат (PET), который широко применяется для изготовления бутылок с водой, газированными напитками и упаковки. PET выбран благодаря своим уникальным свойствам: он представляет собой продукт поликонденсации этиленгликоля с терефталевой кислотой, что придаёт материалу дополнительные армирующие свойства. Эти характеристики делают его идеальным для использования в дорожной разметке, обеспечивая прочность и долговечность покрытия.

Сравнение PET с другими пластиками:

- Температура стеклования PET составляет 70°C , что делает его особенно подходящим для дорожных покрытий, так как она способствует оптимальной кристаллизации материала.
- Для сравнения:
 - ✓ Полиэтилен высокой плотности (HDPE) - 121°C
 - ✓ Поливинилхлорид (PVC) - $75\text{-}80^{\circ}\text{C}$
 - ✓ Полистирол (PS) - 100°C

PET демонстрирует лучшую кристаллизацию при 70°C , что обеспечивает равномерность нанесения и долговечность покрытия. Температура стеклования таких материалов, как полиэтилен низкой плотности (LDPE) и полипропилен (PP), не учитывалась в эксперименте из-за отсутствия данных.

2. **Подготовка, мойка и измельчение:** Перед переработкой бутылки тщательно очищаются от загрязнений, включая остатки жидкости и этикеток. Для создания термопласта, включающего переработанный пластик, требуется специализированное оборудование для смешивания и плавления компонентов. Однако из-за отсутствия финансирования для промышленного измельчителя был использован бытовой инструмент — кофемолка, которая справилась с измельчением пластика до нужной консистенции. Это решение позволило создать материал с оптимальной структурой, обеспечивающей его прочность и пригодность для дорожной разметки (см. рисунок 3).



Рисунок 3. Порошок измельченного пластика

Производство изделий из переработанного пластика холодного отверждения

Для создания пластичного материала холодного отверждения использовались следующие компоненты:

1. **Кварцевая мука** - это мелкодисперсный порошок, получаемый из кварцевого песка. Мы выбрали этот материал благодаря его размеру частиц (1-2 мкм), что делает его подходящим для автоматизированного нанесения. Более крупные фракции (350-650 мкм) требуют ручного нанесения, что менее эффективно. Машинный способ предпочтительнее, так как он ускоряет процесс и делает его удобнее.

2. **Пластиковый порошок** - переработанные ПЭТ-бутылки, измельченные до состояния порошка (1-2 мкм) с использованием кофемолки, что делает их пригодными для машинного нанесения.

3. **Мел (карбонат кальция)** - используется как белый наполнитель, снижающий потребление дорогого пигмента оксида титана. Благодаря мелу достигается необходимый оттенок с меньшим количеством пигмента.

4. **Пигмент (оксид титана)** - обеспечивает яркость и видимость дорожной разметки.

5. **Полигликоль** - связывающий компонент, придающий смеси прочность и устойчивость.

6. **Пластификатор (хлорпарафин)** - увеличивает пластичность и эластичность материала, что позволяет ему выдерживать значительные нагрузки.

7. **Катализатор** - добавление 2-3 капли ускоряют процесс затвердевания. Смесь перемешивается в лабораторном реакторе на скорости 1400 об/мин в течение 2-3 минут.

8. **Отвердитель** - вводится в количестве 1-1,5% для начала процесса полимеризации при температуре 73°C. Отверждение наступает через 25-30 минут. После добавления отвердителя смесь снова перемешивается 1-2 минуты на 1400 об/мин.

9. **Нанесение** - готовый состав наносится на дорожное покрытие, формируя прочный и гиперэластичный материал, устойчивый к деформации.

Преимущества материала:

1. **Экономичность переработки пластика** - переработанный ПЭТ является более лёгким и доступным материалом, что делает производство дешевле и экологичнее.

2. **Клейкость при плавлении** - переработанный пластик обладает естественной адгезией, что сокращает потребление дорогих связующих компонентов (например, полигликоля) без ущерба качеству.

3. Экологическая значимость - использование переработанного пластика способствует уменьшению загрязнения окружающей среды, снижая объёмы производства первичного полигликоля. Это предотвращает попадание отходов в природу и сохраняет ресурсы.

4. Температурная стабильность - материал на основе ПЭТ сохраняет свои свойства в разных климатических условиях, что уменьшает расходы на обновление разметки.

5. Снижение себестоимости - использование пластиковых бутылок в составе смеси позволяет сократить потребление полигликоля и тем самым снижает себестоимость продукта.

6. Вклад в переработку - ежегодная потребность Астаны в холодном пластике составляет 500 тонн. Добавление 10% переработанного материала утилизирует до 50 тонн пластиковых бутылок.

7. Борьба с загрязнением океанов - проект помогает решить проблему пластиковых «островов», таких как крупнейший в Тихом океане, состоящий из примерно 100 миллионов тонн пластика, который удерживается подводными течениями. Использование переработанного пластика снижает объем пластиковых отходов в океанах, что способствует защите экосистемы.

Требования для масштабирования проекта:

Для увеличения объёмов производства необходимо закупить:

- Сверхзвуковую термошоковую мельницу (СТМ) для измельчения ПЭТ и кварцевого песка.
- Диссоolver для смешивания компонентов.
- Промышленный вентилятор для очистки воздуха.
- Фильтры для удаления крупных частиц песка и пластика.
- Тару для упаковки готовой продукции.
- Специализированные машины для нанесения дорожной разметки.

Заключение

Переработка пластиковых отходов представляет собой один из ключевых шагов в решении экологических и экономических проблем современного общества. Исследования и разработка материалов на основе вторичного пластика показывают, что данный подход способен значительно снизить уровень загрязнения окружающей среды, уменьшить объёмы захоронений отходов и обеспечить рациональное использование ресурсов.

Создание пластичного материала холодного отверждения из переработанного ПЭТ продемонстрировало возможность получения прочного, устойчивого и экономически эффективного покрытия для дорожной разметки. Благодаря применению кварцевой муки, пластикового порошка и других компонентов удалось достичь высоких эксплуатационных характеристик материала при одновременном снижении себестоимости и экологической нагрузки. Такие решения имеют значительный потенциал для масштабного внедрения в Казахстане, где рынок переработки отходов все еще недостаточно развит.

Проект также подчеркивает важность системного подхода к утилизации отходов. Использование переработанного пластика способствует уменьшению количества мусора, предотвращению загрязнения мирового океана и сохранению природных ресурсов. Внедрение инновационных технологий переработки, включая использование специализированного оборудования, позволит существенно повысить эффективность и объёмы производства.

Переработка пластиковых отходов - это не только вклад в защиту экологии, но и возможность для создания устойчивого бизнеса. Расширение таких инициатив окажет положительное влияние на экологическую ситуацию в стране и позволит двигаться к более экологически ориентированному будущему.

Список литературы

1. Королева, А. Н. Вторая жизнь мусора. Переработка бытовых отходов. Молодой ученый. 2020. №8 (298). С. 32-34. - URL: <https://moluch.ru/archive/298/67580/> (дата обращения: 14.09.2024).
2. Волков А.М., Рыжикова И.Г. Изобретение № 2717664. Композиция концентрата и способ увеличения вязкости полимера. Публичное акционерное общество "СИБУР Холдинг". <https://onlinepatent.ru/patents/c/0002717664/> (дата обращения: 14.09.2024).
3. Хабр. Вторая жизнь мусора: реальность или утопия? <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/685282/> (дата обращения: 14.09.2024).
4. Publication Server <https://data.epo.org/publication-server/document?iDocId=6490393&iFormat=0> (дата обращения: 16.09.2024).

**М.К.Досмағамбетова, Д.К.Кулбатыров, Г.Р.Жаксиева, А.Б.Кулкайрова,
А.А.Ауғанбаев, Ж.Х.Кусманова, Д.Бисенкулов**

«Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті» КЕАҚ, Атырау, Қазақстан

ЖОЛ ТАҢБАЛАУ МАТЕРИАЛДАРЫН ӨНДІРУ ҮШІН ҚАЙТА ӨНДЕЛГЕН ПЛАСТИКТІ ПАЙДАЛАУ

Андатпа: Пластикалық бөтелкелер қаптаманың ең көп таралған түрлерінің бірі бола отырып, көбінесе қоршаған ортаның ластану көзіне айналады. Қайта өңделген материалды пайдалану қалдықтарды азайтып қана қоймайды, сонымен қатар тұрақты өндіріске ықпал ете отырып, бастапқы ресурстарға деген қажеттілікті азайтады. Біз бұл процестің экологиялық маңыздылығын, сондай-ақ оның қоршаған ортаға теріс әсерін азайтудағы әлеуетін атап өткіміз келеді. Пластикалық бөтелкелерді қайта өндеуді олардың өмірлік циклінің маңызды кезеңі ретінде түсіну тұтыну мен өндіріске жауапты көзқарасты қалыптастыруға ықпал етеді.

Мақалада қоршаған ортаны қорғаудың маңызды құрамдас бөлігі ретінде пластмассаны қайта өндеуге баса назар аударып, қалдықтарды жою мәселесі қарастырылады. Полимерлерді қайта өндеудің негізгі түрлері (физика-химиялық және механикалық) сипатталған, сонымен қатар пластикті қайта өндеудің сәтті дамуы мен технологияларының мысалдары келтірілген.

Жұмыстың мақсаты - жол белгілері үшін пластмасса қосылған термопластиканы өндіріске енгізу. Біздің жоба экологиялық проблеманы шешуді және жергілікті өндірілген мұнай-полимерлі шайырды үнемдеуді біріктіреді. Жол таңбалауында қолдануға жарамды бірегей қасиеттері бар термопластиканы өндіру үшін полиэтилентерефталатты (PET) қайта өндеуге ерекше назар аударылады. Қайта өндеу процесі егжей-тегжейлі сипатталған: пластикалық бөтелкелерді жинау мен сұрыптаудан бастап дайын материалды алуға дейін.

Пластмассаны қайта өндеудің негізгі артықшылықтарына қоршаған ортаның ластануын азайту, табиғи ресурстарды үнемдеу, шығындарды үнемдеу және экологиялық хабардарлықты арттыру жатады. Пластикті қайта өндеу перспективалары, технологиялардың жетіспеушілігімен байланысты қиындықтар және оларды еңсеру жолдары көрсетілген.

Түйін сөз: пластик, суықтай қатайтылған пластик, қайта пайдалану, жол белгілері

**M.K.Dosmagambetova, D.K.Kulbatyrov, G.R.Zhaksyieva, A.B.Kulkairova,
A.A.Auganbaev, Zh.H.Kusmanova, D.Bisenkulov**

Non-profit JSC «Atyrau Oil and Gas University named after Safi Utebayev», Atyrau, Kazakhstan

USE OF RECYCLED PLASTIC FOR THE PRODUCTION OF ROAD MARKING MATERIALS

Abstract: As one of the most common types of packaging, plastic bottles are often a source of environmental pollution. The use of recycled material not only reduces waste but also reduces the need for primary resources, contributing to more sustainable production. Emphasise the environmental importance of this process, as well as its potential to reduce the negative impact on the environment. Understanding

the recycling of plastic bottles as an important stage in their life cycle promotes responsible consumption and production.

The article discusses the problem of waste disposal, emphasising plastic recycling as an important part of environmental protection. The main types of polymer recycling (physico-chemical and mechanical) are described, and examples of successful developments and technologies of plastic recycling are given.

The aim of the work is to introduce the production of thermoplastics with added plastic for road markings. Our project combines the solution of ecological problem and saving of oil-polymer resin of local production. Particular attention is paid to the recycling of polyethylene terephthalate (PET) to produce a thermoplastic with unique properties suitable for use in road markings. The recycling process is described in detail, from the collection and sorting of plastic bottles to the finished material.

The main benefits of plastic recycling include reduced pollution, conservation of natural resources, cost savings and increased environmental awareness. The prospects for plastic recycling, the difficulties associated with the lack of technology and ways to overcome them are outlined.

Keywords: plastic, cold-cured plastic, recycling, road markings.

УДК 665.7.038+665.75

МРНТИ 61.51.35+61.51.29

Е.Г.Гилязов ¹, Д.К.Кулбатыров ^{1*}, Д.А.Амир ², М.Ф.Гилязов ²,
Н.В.Кузнецова ¹

¹НАО «Атырауский университет нефти и газа имени С.Утебаева», Атырау, Казахстан

²ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод»

*e-mail: dkkd@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗОБУТИЛОВОГО СПИРТА И ДИМЕТИЛЭТИНИЛКАРБИНОЛА НА ПОВЫШЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА ПРЯМОГОННОГО БЕНЗИНА

Аннотация. В работе рассматривается эффективность использования изобутилового спирта и диметилэтинилкарбинола для повышения октанового числа прямогонного бензина. Исследованы физико-химические свойства данных оксигенатов, а также их влияние на октановые характеристики прямогонного бензина. Для достижения результата были применены условия реакции Фаворского по конденсации ацетона с ацетиленом, экспресс-анализ на октанометре SHATOX SX-100K и приготовление тестовых образцов бензина с добавлением диметилэтинилкарбинола и изобутилового спирта. Проведенные эксперименты показали, что диметилэтинилкарбинол обладает большей эффективностью по сравнению с изобутиловым спиртом в плане повышения октанового числа. Полученные результаты подтверждают перспективность использования третичных ацетиленовых спиртов в качестве альтернативных антидетонаторов.

Ключевые слова: прямогонный бензин, оксигенат, октановое число, диметилэтинилкарбинол, изобутиловый спирт, детонация.

Введение

Стремительное увеличение потребления нефтегазовых ресурсов и их широкомасштабное использование способствуют возникновению значительных экологических проблем на глобальном уровне. Одним из основных источников химического загрязнения окружающей среды являются выхлопные газы, образующиеся при работе двигателей внутреннего сгорания. В результате сложных физико-химических процессов, происходящих внутри цилиндров двигателя, формируются многокомпонентные соединения, включающие токсичные вещества [1-3].

Автомобильные выбросы содержат значительное количество вредных соединений,

оказывающих неблагоприятное воздействие как на здоровье человека, так и на состояние экосистем, особенно в урбанизированных территориях. В промышленно развитых странах особое внимание уделяется вопросам энергосбережения, рационального использования топливных ресурсов, снижению негативного воздействия на окружающую среду, внедрению устойчивых транспортных систем, а также разработке и применению экологически безопасных видов топлива [4-6].

Оптимизация характеристик бензиновых двигателей, направленная на повышение их термической эффективности и снижение уровня выбросов вредных веществ, рассматривается в качестве одной из ключевых стратегий в области экологически безопасного транспорта. Основными странами, вносящими наибольший вклад в выбросы загрязняющих веществ, являются США, Китай, Индия, Индонезия, Бразилия, Россия и Япония. Однако конкретный порядок распределения лидирующих стран варьируется в зависимости от типа анализируемого загрязнителя [7].

Снижение уровня выбросов углекислого газа (CO_2) в транспортном секторе является одной из приоритетных задач в рамках международных экологических инициатив. На текущий момент вклад транспорта в глобальные выбросы CO_2 оценивается в 21,7%, при этом на автомобильный транспорт приходится около 74% от общего объема выбросов [8]. Несмотря на сокращение удельного потребления топлива на одно транспортное средство приблизительно на 20% [9], общий объем потребления топлива продолжает расти из-за увеличения количества транспортных средств. В 2023 году мировые продажи автомобилей достигли 75,3 млн единиц, что значительно превышает показатель 2022 года (67,3 млн единиц) [10].

Современные стандарты качества топлива постоянно ужесточаются, что обусловлено необходимостью минимизации негативного воздействия на окружающую среду [11]. В целях соответствия эксплуатационным требованиям транспортных средств рекомендуется использовать высококачественное топливо или специальные присадки, повышающие октановое число и улучшающие характеристики сгорания [12].

Одним из перспективных направлений в разработке высокооктановых бензинов является применение кислородосодержащих компонентов (оксигенатов). Для снижения уровня вредных выбросов в атмосферу используются такие соединения, как метанол, этанол, этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ), метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ), метил-трет-амиловый эфир (МТАЭ), диизопропиловый эфир (ДИПЭ) и другие. Введение оксигенатов способствует более полному сгоранию топлива, что позволяет уменьшить концентрацию токсичных веществ в выхлопных газах. Эти соединения рассматриваются в качестве альтернативы металлоорганическим антидетонаторам и высокооктановым ароматическим добавкам, традиционно используемым в бензинах [13].

Применение оксигенатов в качестве октаноповышающих добавок улучшает эксплуатационные характеристики топлива, снижает риск повреждения двигателя и уменьшает объем выбросов вредных веществ в окружающую среду [14, 15]. Метанол, обладая высоким октановым числом, позволяющим повышать степень сжатия двигателя до 16, активно используется в качестве топлива для гоночных автомобилей и мотоциклов [16, 17]. Смеси бензина с метанолом находят широкое применение в таких странах, как Германия, Италия, Япония, Польша, Франция и Индия, обеспечивая значительное сокращение выбросов оксидов азота, угарного газа и других загрязняющих веществ [18].

Актуальные исследования демонстрируют возможность внедрения новых компонентов в состав автомобильного бензина, получаемых из побочных продуктов нефтепереработки и нефтехимии. В частности, перспективными являются легкокипящие дистилляты, выделяемые при фракционировании реакционной смеси синтеза бутиловых спиртов, а также гексановая фракция, образующаяся в процессе изомеризации легкого прямогонного бензина [19]. Дополнительно изучается эффективность использования различных эфиров в составе бензинов и дизельных топлив. Например, моноэфиры гликолей, такие как целлозольвы (этилцеллозольв, бутилцеллозольв) и карбитолы (этилкарбитол, бутилкарбитол),

демонстрируют высокую антидетонационную активность. Добавление всего 1% этих компонентов к прямогонной бензиновой фракции позволяет повысить октановое число исследовательским методом (ОЧИ) с 82,1 до 87,7–90,0 единиц, что превышает показатели метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ) [20].

В промышленных условиях базовый бензин, представляющий собой смесь различных потоков нефтепереработки, дополняется октаноповышающими присадками для соответствия нормативным требованиям по октановому числу. В Китае, например, широко применяется метанол, получаемый из угля [21]. В научных обзорах представлены данные о различных химических соединениях, потенциально применимых в рецептурах перспективных бензинов для современных двигателей с искровым зажиганием [22]. Среди исследуемых высокооктановых компонентов выделяют изопарафины, олефины, ароматические углеводороды, спирты, эфиры, сложные эфиры, кетоны, фураны и карбонаты. Исследования [23] подтверждают, что арилбутилацетали обладают высоким октановым числом (ОЧИ до 110), что делает их перспективными компонентами для повышения детонационной стойкости бензинов.

Кроме того, активно изучается применение различных эфиров в качестве добавок к бензиновым и дизельным топливам. Анализ антидетонационных свойств моноэфиров гликолей показал, что целлозольвы и карбитолы, добавленные в количестве 1% к прямогонной бензиновой фракции, обеспечивают более высокие антидетонационные характеристики по сравнению с МТБЭ [24].

Одним из перспективных направлений исследований в области модификации бензинов является изучение третичных ацетиленовых спиртов [25]. Эти соединения, содержащие ацетиленовую тройную связь и гидроксильную группу, обладают уникальными химическими свойствами, которые могут способствовать значительному улучшению эксплуатационных характеристик топливных смесей.

В Республике Казахстан ведутся активные исследования, направленные на разработку новых кислородосодержащих добавок для повышения октанового числа бензинов. Однако данные разработки пока не имеют широких рекомендаций для промышленного применения. В рамках лабораторных исследований, проведенных в лаборатории инженерного профиля «Нефтехимия» Некоммерческого акционерного общества «Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева», были изучены свойства некоторых циклических третичных ацетиленовых соединений с целью их потенциального использования в качестве октаноповышающих компонентов бензиновых смесей [26].

По сравнению с традиционными оксигенатами третичные алифатические ацетиленовые спирты остаются малоизученными, однако их потенциал представляется значительным. Предварительные исследования демонстрируют, что данные соединения могут оказаться более эффективными в повышении октанового числа бензина, а также в снижении детонационной склонности топлива. Ацетиленовая тройная связь в структуре этих молекул способствует разрушению фронта детонации во время сгорания, что обеспечивает более стабильную работу двигателя и уменьшение объема выбросов загрязняющих веществ.

На сегодняшний день активно исследуются новые присадки, включая диметилэтинилкарбинол (ДМЭК), который может продемонстрировать улучшенные характеристики по сравнению с традиционными октаноповышающими добавками. Исследования показывают, что ДМЭК способствует не только увеличению детонационной стойкости бензинов, но и улучшению рабочих параметров двигателей за счет повышения октанового числа при одновременном сокращении выбросов вредных веществ [27].

Настоящее исследование направлено на изучение эффективности ДМЭК в качестве оксигената для бензиновых топлив. Основная цель проекта заключается в сравнении октановых характеристик нового алифатического третичного ацетиленового спирта ДМЭК с изобутиловым спиртом (ИБС) при его добавлении в прямогонный бензин в различных концентрациях.

Методы исследования

Алифатический ацетиленовый спирт ДМЭК получали конденсацией ацетона с ацетиленом в условиях реакции Фаворского под давлением в присутствии порошкообразного гидроксида калия в диэтиловом эфире по схеме:



Схема - Реакция получения диметилэтинилкарбинола

Физико-химические характеристики полученного ДМЭК полностью совпадают с данными, представленными в литературе и приведенными в таблице 1 [28, 29].

Таблица 1 – Методы исследования и физико-химические свойства ДМЭК

Характеристики	Методы исследования	Литературные данные		Результаты исследования
		[28]	[29]	
Состояние материи	визуальный	жидкость	жидкость	жидкость
Плотность	пикнометрический	0,86 г·см ⁻³	-	0,86 г·см ⁻³
Точка кипения	ГОСТ 18995.6-73	104 °С	102 - 104 °С	103-104 °С
Показатель преломления	рефрактометричный	1,4209-1,4220	1,4208-1,4214	1,4209-1,4212

Оксигенат ИБС – C₄H₁₀O, содержание основного вещества на уровне 98,5-99,3%. Спирт бутиловый нормальный технический, марка А, 1 сорт. Предназначен для использования в качестве растворителя в лакокрасочной промышленности, а также для синтеза различных органических продуктов, производства реактивов и т.п. ГОСТ 5208-2013 произведена в АО «Ангарская нефтехимическая компания» [30].

В ходе исследований использовались образцы прямогонного бензина, произведенного ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод». Определение октанового числа бензиновых смесей с добавлением предложенных компонентов проводилось с помощью экспресс-метода на октанометре SHATOX SX-100K, разработанном НПО «SHATOX» совместно с Институтом химических наук Сибирского отделения Российской академии наук. Для калибровки использовались данные, соответствующие ГОСТ Р 51866-2002 (ЕН 228-99) и ТУ 4215-002-60283547-2006. Результаты исследований основывались на среднем значении трех повторных испытаний.

Результаты

Влияние оксигенатов ИБС и ДМЭК на повышение октанового числа бензина нами определялось по приросту октанового числа прямогонного бензина (ПБ) производства ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод». Эффективность кислородсодержащих присадок (оксигенатов) в качестве высокооктановых компонентов исследовали при введении их в бензин в концентрации от 3-х до 11% (масс.).

В таблицах 2, 3 и на рисунках 1 и 2 представлены результаты добавки ИБС и ДМЭК по определению октанового числа исследовательским методом (ОЧИ) и моторным методом (ОЧМ).

Таблица 2. Изменение октанового числа прямогонного бензина, при добавлении ИБС

Содержание присадки, %	Октановое число, ОЧИ			Октановое число, ОЧМ		
	Без добавки	С добавкой	Прирост ОЧ	Без добавки	С добавкой	Прирост ОЧ
3	56,5	60,8	+4,3	52,8	53,8	+1,0
5		65,2	+8,7		55,8	+3,0
7		67,5	+11		57,5	+4,7
11		70,2	+13,7		60,2	+7,4

Таблица 3. Изменение октанового числа прямогонного бензина при добавлении ДМЭК

Содержание присадки, %	Октановое число, ИМ			Октановое число, ММ		
	Без добавки	С добавкой	Прирост ОЧ	Без добавки	С добавкой	Прирост ОЧ
3	56,5	67,5	+11,0	52,8	58,1	+5,3
5		68,3	+11,8		58,9	+6,1
7		69,6	+13,1		59,6	+6,8
11		73,5	+17,0		63,5	+10,7

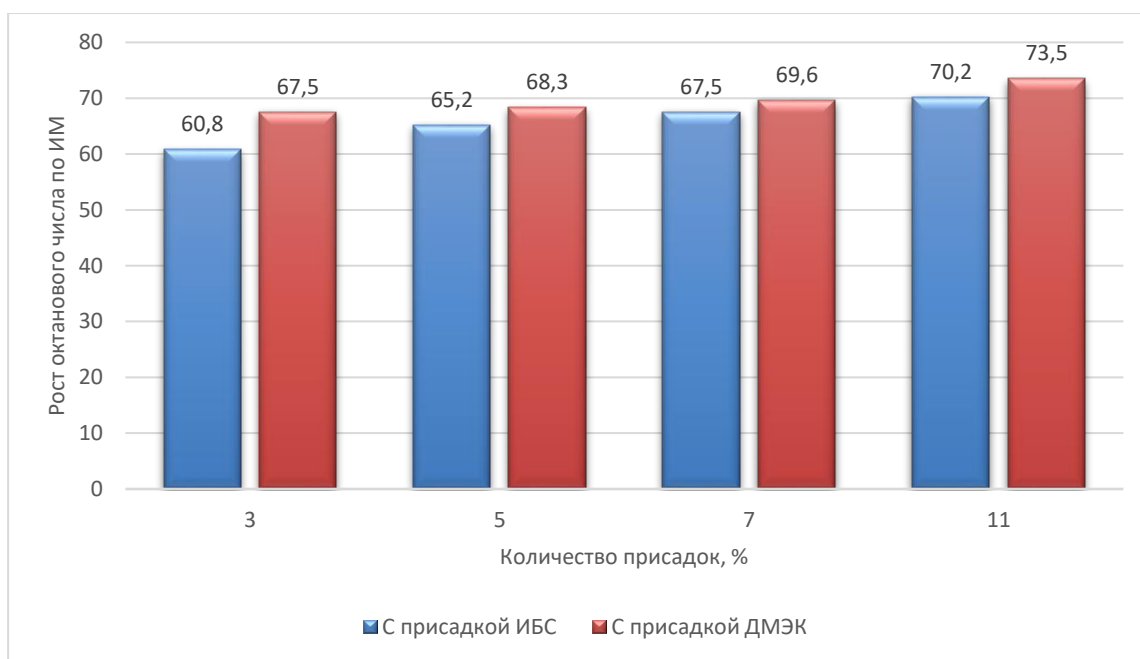


Рисунок 1. Изменение октанового числа прямогонного бензина при добавлении ИБС и ДМЭК по ОЧИ

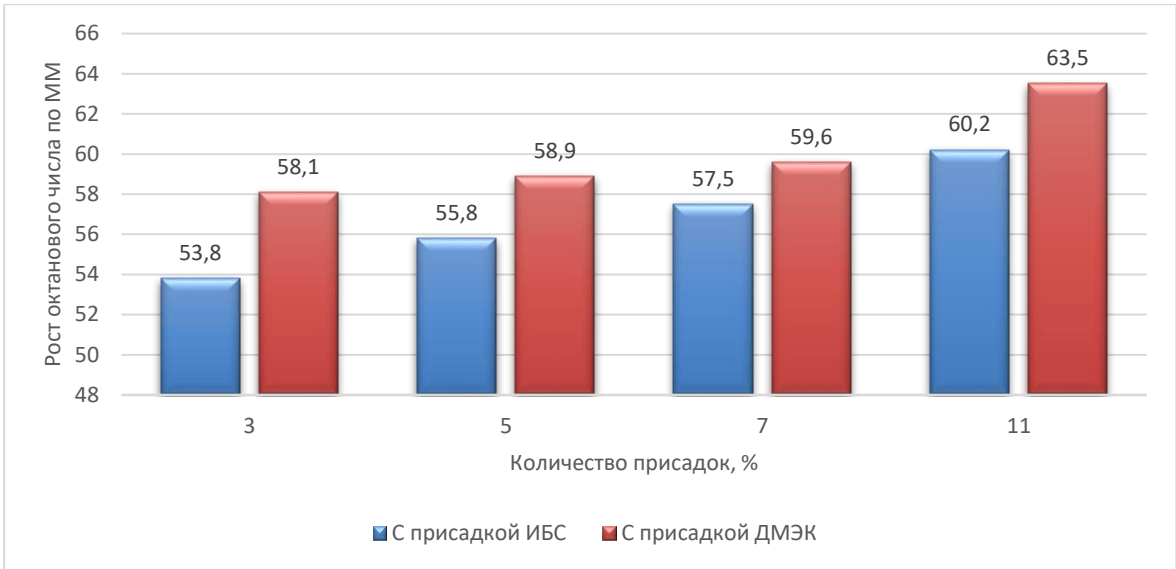


Рисунок 2. Изменение октанового числа прямогонного бензина при добавлении МТБЭ и ДМЭК по ОЧМ

Октановые числа смешения присадок ИБС+ДМЭК = 1:1 в прямогонном бензине представлены в таблице 4 и на рисунках 3 и 4.

Таблица 4. Изменение октанового числа прямогонного бензина, при добавлении ИБС +ДМЭК = 1:1

Бензин	ИБС + ДМЭК= 1:1 кол-во, %	Октановое число, ОЧИ, ГОСТ 8226-82			Октановое число, ОЧМ, ГОСТ 511-82		
		без добавки	с добавкой	прирост ОЧ	без добавки	с добавкой	прирост ОЧ
ПБ	3	56,5	64,2	+7,7	52,8	56,0	+3,2
	5		66,8	+10,3		57,4	+4,6
	7		70,6	+14,1		58,6	+5,8
	11		71,7	+15,2		61,9	+9,1

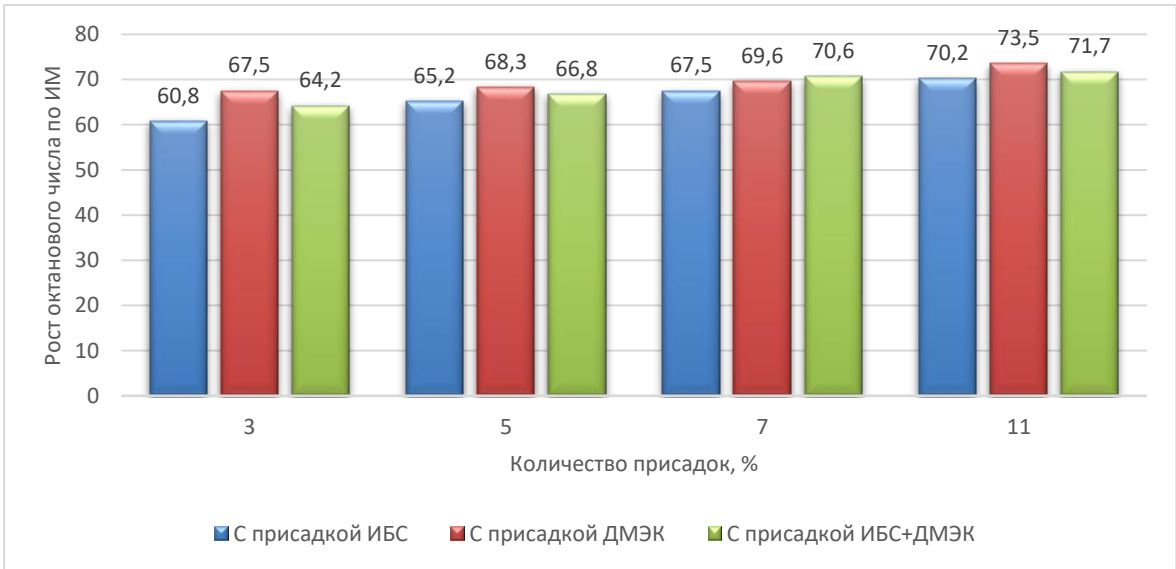


Рисунок 3. Изменение октанового числа прямогонного бензина при добавлении присадок ИБС+ДМЭК = 1:1 по ОЧИ

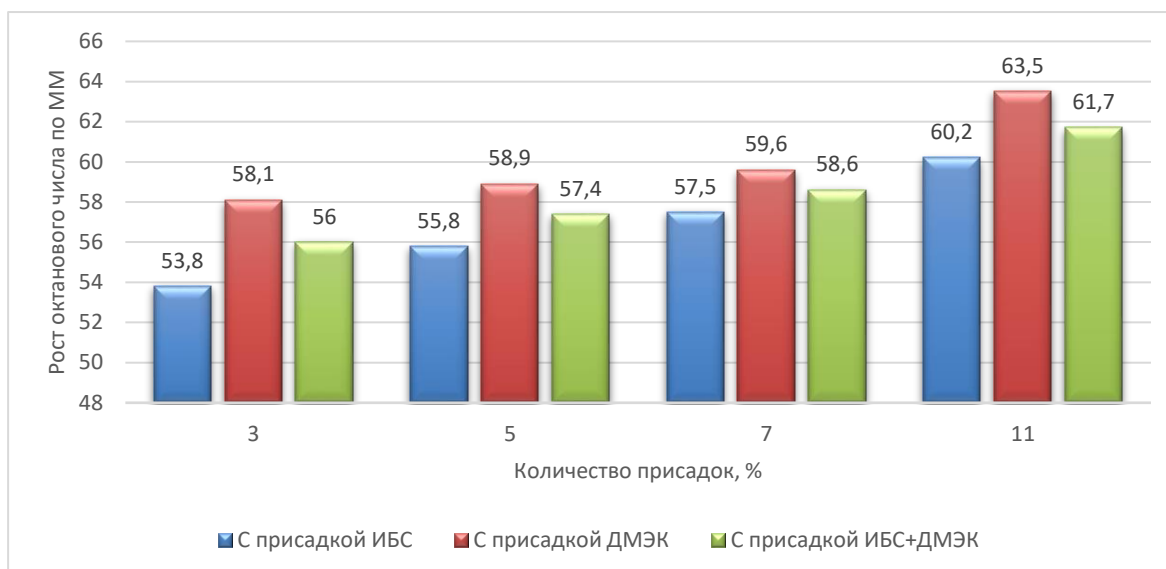


Рисунок 4. Изменение октанового числа прямогонного бензина при добавлении присадок ИБС+ДМЭК = 1:1 по ОЧМ

Обсуждение

Результаты исследований показывают, что добавление ДМЭК к прямогонному бензину способствует значительному увеличению октанового числа по сравнению с ИБС. Так, при концентрации 11% массовой доли ДМЭК октановое число исследовательским методом (ОЧИ) увеличивается на 17,0 единиц, тогда как ИБС демонстрирует прирост лишь на 13,7 единиц. Аналогичная тенденция наблюдается и при моторном методе (ОЧМ), где ДМЭК также демонстрирует более высокие показатели.

Одной из возможных причин высокой эффективности ДМЭК является его уникальная химическая структура, включающая ацетиленовую тройную связь и гидроксильную группу. Эта комбинация способствует разрушению фронта детонации во время сгорания, что обеспечивает более равномерное горение топлива и снижение выбросов вредных веществ. В отличие от традиционных оксигенатов, таких как метанол и МТБЭ, ДМЭК обладает более высокой антидетонационной активностью и перспективен для применения в современных бензиновых смесях.

Дополнительно были рассмотрены смеси ИБС и ДМЭК в соотношении 1:1. Данные экспериментов показали, что такая комбинация также способствует увеличению октанового числа, однако суммарный эффект не превышает показатели, полученные при использовании чистого ДМЭК. Таким образом, целесообразнее применять ДМЭК в качестве самостоятельного оксигената.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что диметилэтинилкарбинол является более эффективной добавкой по сравнению с изобутиловым спиртом для повышения октанового числа прямогонного бензина. Добавление ДМЭК приводит к значительному увеличению октанового числа как исследовательским, так и моторным методами, что подтверждает его высокую антидетонационную активность.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования ДМЭК в качестве альтернативного антидетонатора в бензиновых топливах. Однако для внедрения данной технологии в промышленное производство необходимы дополнительные исследования, направленные на изучение влияния ДМЭК на эксплуатационные характеристики двигателей, а также экологическую безопасность его применения.

Список литературы

1. Merkisz J., Pielecha J. The Process of Formation of Particulate Matter in Combustion Engines. In: Nanoparticle Emissions From Combustion Engines // Tracts on Transportation and Traffic. – 2015. - Vol. 8. - P.19-25. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15928-7>
2. Fayyazbakhsh A., Bell M., Zhu X., Mei X., Koutný M., Hajinajaf N., Zhang Y. Engine emissions with air pollutants and greenhouse gases and their control technologies // Journal of Cleaner Production. - 2022. - Vol. 376. - P. 134260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134260>
3. Leach F., Kalghatgi G., Stone R., Miles P. The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines // Transportation Engineering. – 2020. - Vol. 1. - P. 100005. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005>
4. Lan T., Wang Y., Ali R., Liu H., Liu X., He M. Prediction and measurement of critical properties of gasoline surrogate fuels and biofuels // Fuel Process Technology. – 2022. - Vol. 228. – P. 107156. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.107156>
5. Ershov M.A., Klimov N.A., Burov N.O., Abdellatif T.M.M., Kapustin V.M. Creation a novel promising technique for producing an unleaded aviation gasoline 100UL // Fuel. – 2021. - Vol. 284. – P. 118928. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118928>
6. Sun X., Liu H., Duan X., Guo H., Li Y., Qiao J. et al. Effect of hydrogen enrichment on the flame propagation, emissions formation and energy balance of the natural gas sparkignition engine // Fuel. – 2022. - Vol. 307. – P. 121843. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121843>
7. Lekaki D., Kastori M., Papadimitriou G., Mellios G., Guizzardi D., Muntean M., Crippa M., Oreggioni G., Ntziachristos L. Road transport emissions in EDGAR // Atmospheric Environment. – 2024. - Vol. 324. - P. 120422. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120422>
8. Patil G., Pode G., Diouf B., Pode R. Sustainable Decarbonization of Road Transport: Policies, Current Status, and Challenges of Electric Vehicles // Sustainability. – 2024. - Vol. 16. - Is. 18. – P. 8058. <https://doi.org/10.3390/su16188058>
9. Romero C.A., Correa P., Ariza Echeverri E.A., Vergara D. Strategies for Reducing Automobile Fuel Consumption // Applied Sciences. – 2024. - Vol. 14. - Is. 2. – P. 910. <https://doi.org/10.3390/app14020910>
10. Statista. <https://www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990/> (accessed on 12 November 2024).
11. Sandaka B.P., Kumar J. Alternative vehicular fuels for environmental decarbonization: A critical review of challenges in using electricity, hydrogen, and biofuels as a sustainable vehicular fuel // Chemical Engineering Journal Advances. – 2023. - Vol. 14. – P. 100442. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100442>
12. Bennett J., Mabill C. 8 - Advanced fuel additives for modern internal combustion engines. Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance (Second Edition) // Woodhead Publishing. – 2022. – P. 197-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90979-2.00002-0>
13. Lim C.S., Lim J.H., Cha J.S., Lim J.Y. Comparative effects of oxygenates-gasoline blended fuels on the exhaust emissions in gasoline-powered vehicles // Journal of Environmental Management. – 2019. - Vol. 239. – P. 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.039>
14. Wen M., Zhang C., Yue Z., Liu X., Yang Y., Dong F., Liu H. and Yao M. Effects of gasoline octane number on fuel consumption and emissions in two vehicles equipped with GDI and PFI spark-ignition engine // Journal of Energy Engineering. – 2020. - Vol. 146. - Is. 6. – P. 04020069. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000722](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000722)
15. Karches T. Fine-tuning the aeration control for energy-efficient operation in a small sewage treatment plant by applying biokinetic modeling // Energies. – 2022. - Vol. 15. - Is. 17. – P. 6113. <https://doi.org/10.3390/en15176113>
16. Sharudin H., Abdullah N.R., Najafi G., Mamat R., Masjuki H.H. Investigation of the effects of iso-butanol additives on spark ignition engine fuelled with methanol-gasoline blends //

- Applied thermal engineering. – 2017. – Vol. 114. – P. 594-603. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.017>
17. Wang C., Li Y., Xu C., Badawy T., Sahu A., Jiang C. Methanol as an octane booster for gasoline fuels // *Fuel*. – 2019. – Vol. 248. – P. 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.02.128>
 18. Waluyo B., Setiyo M., Saifudin, Wardana I. Fuel performance for stable homogeneous gasoline-methanol-ethanol blends // *Fuel*. – 2021. – Vol. 294. – P. 120565. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120565>
 19. Ganina A.A., Kuzora I.E., Dyachkova S.G., Dubrovsky D.A. & Semenov I.A. Developing a Method for Producing a New Component of Automobile Gasolines on the Basis of a By-Product of Petrochemistry // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. – 2020. – Vol. 54. – P. 581–587. <https://doi.org/10.1134/S004057952004017X>
 20. Nikulin R.M., Kharlampidi K.E., Khamidullin R.F., Sitalo A.V. & Sharaf F.A. Synergistic Blend Based on Glycol Ethers as Antiknock Additives to Motor Fuels // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. – 2017. – Vol. 52. – P. 762–772. <https://doi.org/10.1007/s10553-017-0771-0>
 21. Wang C., Li Y., Xu C., Badawy T., Sahu A., Jiang C. Methanol as an octane booster for gasoline fuels // *Fuel*. – 2019. – Vol. 248. – P. 76-84 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.02.128>
 22. Badia J.H., Ramírez E., Bringué R., Cunill F. and Delgado J. New Octane Booster Molecules for Modern Gasoline Composition // *Energy & Fuels*. – 2021. – Vol. 35. – Is. 147. – P. 10949-10997 <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c00912>
 23. Oparina L.A., Kolyvanov N.A., Ganina A.A. *et al.* Aryl Butyl Acetals as Oxygenate Octane-Enhancing Additives for Motor Fuels // *Petroleum Chemistry*. – 2020. – Vol. 60. – P. 134-139. <https://doi.org/10.1134/S0965544120010107>
 24. Olson A.L., Tunér M., Verhelst S. A concise review of glycerol derivatives for use as fuel additives // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9. – Is. 1. – P. e13041. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13041>
 25. Voronin V.V., Ledovskaya M.S., Bogachenkov A.S., Rodygin K.S., Ananikov V.P. Acetylene in Organic Synthesis: Recent Progress and New Uses // *Molecules*. – 2018. – Vol. 23. – P. 2442. <https://doi.org/10.3390/molecules23102442>
 26. Gilazhov E., Saginayev A., Aronova A., Urazgalieva M., Kulbatyrov D. Effectiveness of ethynylcyclohexanol and methyl-tert-amyl ether in increasing the octane number of gasoline compositions // *Petroleum Science and Technology*. – 2024. P. 1-16. <https://doi.org/10.1080/10916466.2024.2384526>
 27. Ги́лазов Е.Г., Кулбатыров Д.К., Уразғалиева М.Д., Максот К.Р. Эффективности оксигенатов на повышение октанового числа бензина риформинга. Нефть и газ. – 2024. - №3. - С. 136-147. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-3.11>
 28. Academic dictionaries and encyclopedias. <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/411193> (accessed on 10 November 2024).
 29. Щелкунов А.В., Васильева Р.Л., Кричевский Л.А. Синтез и взаимные превращения монозамещенных ацетиленов. Алма-Ата: Наука, 1975 - С. 44-45.
 30. Ангарская нефтехимическая компания. <https://anhk.ru/production/departement.html?p=h&n=3> (accessed on 10 March 2025).

Ги́лазов Е.Г.¹, Кулбатыров Д.К.^{1*}, Амир Д.А.², Ги́лазов М.Ф.², Кузнецова Н.В.¹

¹«С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті», Атырау, Қазақстан

²«Атырау мұнай өңдеу зауыты» ЖШС

ИЗОБУТИЛОВОГО СПИРТІ МЕН ДИМЕТИЛЭТИНИЛКАРБИНОЛДЫҢ ТІКЕЛЕЙ АЙДАУДАН АЛЫНҒАН БЕНЗИННІҢ ОКТАН САНЫН АРТТЫРУ ТИІМДІЛІГІ

Аннотация. Жұмыста изобутил спирті мен диметилэтинилкарбинолды тікелей айдайтын бензиннің октан санын арттыру үшін қолданудың тиімділігі қарастырылады. Бұл оксигенаттардың

физика-химиялық қасиеттері, сондай-ақ олардың тікелей бензиннің октандық сипаттамаларына әсері зерттелді. Нәтижеге қол жеткізу үшін Фаворскийдің ацетонды ацетиленмен конденсациялау реакциясы қолданылды, SHATOX SX-100K октанометріндегі жедел талдау және диметилэтинилкарбинол қосылған бензиннің сынақ үлгілерін дайындау шарттары пайдаланылды. Жүргізілген тәжірибелер диметилэтинил карбинолдың октан санын арттыру тұрғысынан изобутил спиртімен салыстырғанда тиімділігі жоғары екенін көрсетті. Нәтижелер үшіншілік ацетилен спирттерін балама антидетонаторлар ретінде пайдалану перспективасын растайды.

Түйін сөздер: тікелей айдаудан алынған бензин, оксигенат, октан саны, диметилэтинил карбинол, изобутил спирті, детонация.

Gilazhov Y.G.¹, Kulbatyrov D.K.^{1*}, Amir D.A.², Gilazhov M.F.², Kuznetsova N.V.¹

¹Non-profit JSC «Atyrau Oil and Gas University named after Safi Utebayev», Atyrau, Kazakhstan

²«Atyrau oil refinery» LLP

EFFECTIVENESS OF ISOBUTYL ALCOHOL AND DIMETHYLETHYNYLCARBINOL ON INCREASE OF OCTANE NUMBER OF STRAIGHT-RUN GASOLINE

Annotation. The paper deals with the efficiency of using isobutyl alcohol and dimethylethynylcarbinol to increase the octane number of straight-run gasoline. Physicochemical properties of these oxygenates as well as their influence on octane characteristics of straight-run gasoline were investigated. The conditions of Favorsky reaction on condensation of acetone with acetylene, express-analysis on SHATOX SX-100K octanometer and preparation of test samples of gasoline with addition of dimethylethynylcarbinol were used to achieve the result. The experiments showed that dimethylethynylcarbinol is more effective than isobutyl alcohol in increasing the octane number. The results obtained confirm the promising use of tertiary acetylene alcohols as alternative antiknock detonators.

Keywords: straight-run gasoline, oxygenate, octane number, dimethylethynylcarbinol, isobutyl alcohol, detonation.

ӨОК 541.128:542.97: 544.478.13:547.21:549.67

FTAXP 61.51.37

А.Т. Сағынаев, Ә. Н. Ибрашева, А.Н. Қуанышева

С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан

E-mail: asaginaev@mail.ru

МЕТАНДЫ ОКСИКОНДЕНСАЦИЯЛАУ РЕАКЦИЯСЫН ЖАҒАНДЫҚ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аннотация. Мақалада талдау нәтижелері мен кинетикалық объективті заңдарды жалпылауға негізделген метанның оксиконденсация процесін оңтайландыру ұсынылған. Бірнеше кинетикалық теңдеулер таңдалып, олардың сәйкестігі тексерілді. Адекватты теңдеу негізінде метанның оксиконденсация реакциясын жүргізудің оңтайлы шарттары таңдалды: $T = 1023\text{K}$; $P_{O_2} = 0,038\text{ МПа}$; көлемдік жылдамдық $55,8\text{ моль/кг.кат.сағ}$; сызықтық жылдамдық $\omega = 2,2\text{ см/сек}$; катализатордың өлшемі $2,4\text{ мм}$.

Түйінді сөздер: газ хроматографиясы, метан, оттегі, этилен, катализатор, симплекс әдісі, оңтайландыру.

КІРІСПЕ

Жеңіл көмірсутектерді конверсиялаудың негізгі әдістерінің бірі – гетерогенді каталитикалық тотығу [1]. Метаннан пайдалы өнімдер алуға бағытталған гетерогенді каталитикалық тотығу процесін зерттеуді шартты түрде екі бағытқа бөлуге болады. Олардың

бірі құрамында оттегі бар құнды қосылыстар – метанол мен формальдегидті алуға байланысты. Бұл бағыт бұрыннан дамып келеді және процесс механизмін және катализаторлардың белсенді орталықтарының табиғатының олардың тиімділігі мен селективтілігіне әсерін зерттеуде белгілі бір жетістіктерге қол жеткізілді.

Екінші бағыт – метанның жоғары көмірсутектерге (негізінен этан, этилен, пропилен және ацетилен) каталитикалық тотығу конденсациясы – салыстырмалы түрде жақында дами бастады.

Дегенмен, осы уақыт ішінде, 30% өнімділікпен C_2 көмірсутектерін алуға мүмкіндік беретін тиімді катализаторлардың айтарлықтай саны әзірленді [1-2].

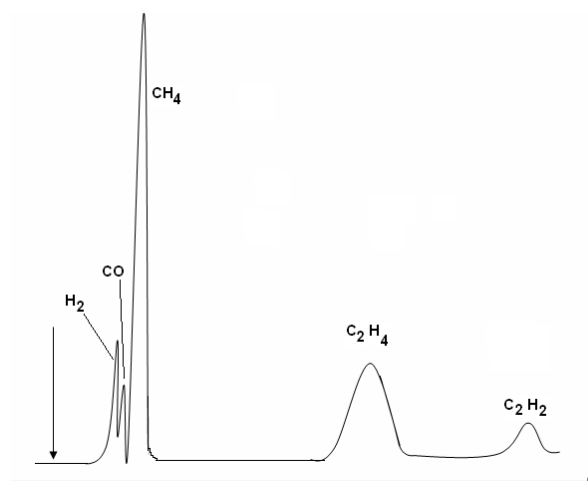
Метанның ауадағы оттегімен тотығу конденсациясының реакциясы бойынша этилен алу технологиясын әзірлеудегі бірінші кезектегі міндеттердің қатарына белгілі катализаторлармен салыстырғанда жоғары белсенділігі, селективтілігі және өнімділігі бар жаңа катализаторды әзірлеу жатады.

ЭКСПЕРИМЕНТТІК БӨЛІМ

Соңғы жылдары каталитикалық реакциялардың газ тәрізді және сұйық өнімдерін талдау үшін газ хроматография әдістері басқа әдістермен салыстырғанда анағұрлым қолайлы [4]. Бұл компоненттерді бір мезгілде сапалық және сандық талдау, каталитикалық процесті тоқтатпай сынама алу, талдауды үздіксіз жүргізу мүмкіндігі. Бұл реакциялардың кинетикалық объективті заңдылықтарын зерттеу кезінде сенімді нәтижелерге қол жеткізуді қамтамасыз етеді. Сондықтан метанның оксиконденсация реакциясының газ тәрізді және сұйық өнімдері газ хроматографиясы (Clarus 580 Gas Chromatograph) әдісімен талданды [5].

Метанның ауамен оксиконденсациясы процесінде азот, сутегі, оттегі, көміртегі оксидтері, метан, этилен және ацетиленнен тұратын газ қоспасы түзіледі. Мұндай қоспаны бөлудің оңтайлы шарттарын табу үшін ұқсас құрамның жасанды қоспасы дайындалды. Хроматографиялық бағандағы компоненттерді бөлу үшін белсендірілген көмір сорбент ретінде пайдаланылды. Қоспа компоненттерінің ең жақсы бөлінуін қамтамасыз ететін параметрлердің оңтайлы мәндері адекватты регрессия теңдеулерінен симплекс әдісімен табылды. Осылайша, белсендірілген көмірдегі хроматографиялық бағанда бөлінген қоспаның құрамдас бөліктерін бөлудің оңтайлы шарттары келесідей: баған термостатының температурасы – $50\text{ }^{\circ}\text{C}$; тасымалдаушы газдың (азоттың) ағын жылдамдығы – 35 мл/мин ; шыны бағанның өлшемі – $1,0 \times 0,003\text{ м}$; TCD детекторы.

Оңтайлы жағдайда алынған реакция қоспасының хроматограммасы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. $(Mn_2O_3)_x - (KCl)_y - (ZrO_2)_z$ катализаторында жүргізілген реакция өнімдерінің хроматограммасы

1-Суретте оңтайлы жағдайларда қоспаның компоненттері толығымен бөлінетіні көрсетілген. Сутегі, көміртегі (II) оксиді және реакцияға түспеген метанның ұстау уақыты

бірдей, дегенмен олардың толық бөлінуін көрсететін жеке шыңдар көрсетілген ($RS > 0,85$). Этилен мен ацетиленді ұстау уақыты сәйкесінше ұзағырақ, сондықтан олардың шыңдары айтарлықтай алшақ орналасқан ($RS = 4,32$). Таңдалған жағдайларда реакцияның басқа газ тәрізді өнімдері (O_2 , CO_2) анықталмайды.

Қоспаның сапалық құрамы эталондық қосылыстардың хроматографиялық ұстау уақытымен салыстыру арқылы, ал сандық құрамы абсолютті калибрлеу әдісімен анықталды. Алынған өнімдердің саны бойынша өнімнің шығымы анықталды. Нәтижелердің қайталануын тексеру үшін әр үлгіге 7 рет талдау жүргізіліп, талдаудың метрологиялық сипаттамалары табылды. Нәтижелердің қайталануы қалыпты шектерде, салыстырмалы қателік 2,3%-дан аспайды және бұл метанның оксиконденсация реакциясын зерттеу кезінде сенімді нәтижелерге қол жеткізуді қамтамасыз етеді. Осылайша, процестің кинетикалық заңдылықтары осы әдіс арқылы зерттелді.

Метанның каталитикалық оксиконденсациясының кинетикалық теңдеулерін анықтау кезінде катализатор бетіндегі метан мен оттегінің адсорбциясы (оның жылдамдығы) анықтаушы (шектеу) сатысы ретінде таңдалды. Катализатордың бетінде пайда болатын адсорбция моноқабатты болып табылады, метан мен оттегі әртүрлі белсенді орталықтарда адсорбцияланады.

Көмірсутектердің каталитикалық тотығу реакциясы Марс-Ван-Кревелен механизмі бойынша жүреді және кинетикалық теңдеуге бағынады [3]:

$$W = \frac{k_{red} \cdot k_{ox} \cdot P_R^m \cdot P_{O_2}^n}{k_{red} \cdot P_R^m + k_{ox} \cdot P_{O_2}^n} \quad (1)$$

Катализатордың тотықсыздану және тотығу кезеңдері іс жүзінде қайтымсыз, сондықтан Лангмюр-Хиншельвуд механизміне сәйкес келетін параметрлер, яғни адсорбция (1) теңдеуде кірістірілмеген. Марс-Ван Кревелен теңдеуіндегі $n = 1$ үшін ол көмірсутектердің каталитикалық тотығу реакцияларына толық жауап береді.

Каталитикалық тотығудың сатылы тотығу-тотықсыздану механизмі жоғары температурада оксидтердің қатысуымен жүретін көптеген реакцияларға тән. Бұл жағдайда тотықсыздану және тотығу жылдамдығы өте жоғары мәндерге ие.

Төмен температурада реакция ассоциативті, "қабысқандық" механизмі бойынша жүруі мүмкін. Бұл жағдайда оттегі мен тотығатын реагент катализаторға бір уақытта әсер етеді. Содан кейін реакцияның кинетикалық теңдеуі Лангмюр-Хиншельвуд теңдеуіне сәйкес келеді:

$$W = k \frac{K_R P_R^m}{1 + K_R P_R^m + K_{O_2} P_{O_2}^n} \cdot \frac{K_{O_2} P_{O_2}^n}{1 + K_R P_R^m + K_{O_2} P_{O_2}^n} = k \frac{K_R \cdot P_R^m \cdot K_{O_2} P_{O_2}^n}{(1 + K_R P_R^m + K_{O_2} P_{O_2}^n)^2} \quad (2)$$

мұнда K_R және K_{O_2} – көмірсутек пен оттегінің адсорбция коэффициенттері.

Реагенттердің катализатормен әрекеттесуінің жеке қадамдарының жылдамдығы жалпы каталитикалық реакция жылдамдығынан едәуір аз. Сондықтан метан оксиконденсациясының каталитикалық реакциясы жоғары температурада жүретінін ескере отырып, оны Лангмюр-Хиншельвуд механизміне сәйкес кинетикалық теңдеулермен сипаттауға болады.

Катализатор бетіндегі сорбция процесі Лангмюр изотермасына бағынатынын ескере отырып, метанның каталитикалық оксиконденсациясының кинетикалық теңдеулері ретінде [3] келесі Лангмюр-Хиншельвуд типті теңдеулер ұсынылды:

$$W = \frac{k \cdot K_{CH_4} \cdot P_{CH_4} \cdot K_{O_2} \cdot P_{O_2}}{(1 + K_{CH_4} \cdot P_{CH_4} + K_{O_2} \cdot P_{O_2})} \quad 3$$

$$W = \frac{k \cdot K_{CH_4} \cdot P_{CH_4} \cdot K_{O_2} \cdot P_{O_2}}{(1 + K_{CH_4} \cdot P_{CH_4} + K_{O_2} \cdot P_{O_2})^2} \quad 4$$

$$W = \frac{k \cdot K_{CH_4} \cdot P_{CH_4} \cdot K_{O_2} \cdot P_{O_2}}{K_{CH_4} \cdot P_{CH_4} + K_{O_2} \cdot P_{O_2}} \quad 5$$

Эксперимент негізінде алынған теңдеулердің біреуінің (3-5) дифференциалдық реакторда алынған кинетикалық заңдарға жеткілікті сәйкестігін анықтау маңызды.

Осы теңдеулер мен эксперименттердің нәтижелері негізінде эксперименттік мәндер квадраттарының қосындысы теориялық тұрғыдан есептелгеннен минималды ауытқу жағдайында кинетикалық теңдеулердің параметрлері анықталуы керек. Сондықтан кинетикалық теңдеудің сәйкестік критерийі ретінде келесі шартты орындау таңдалады:

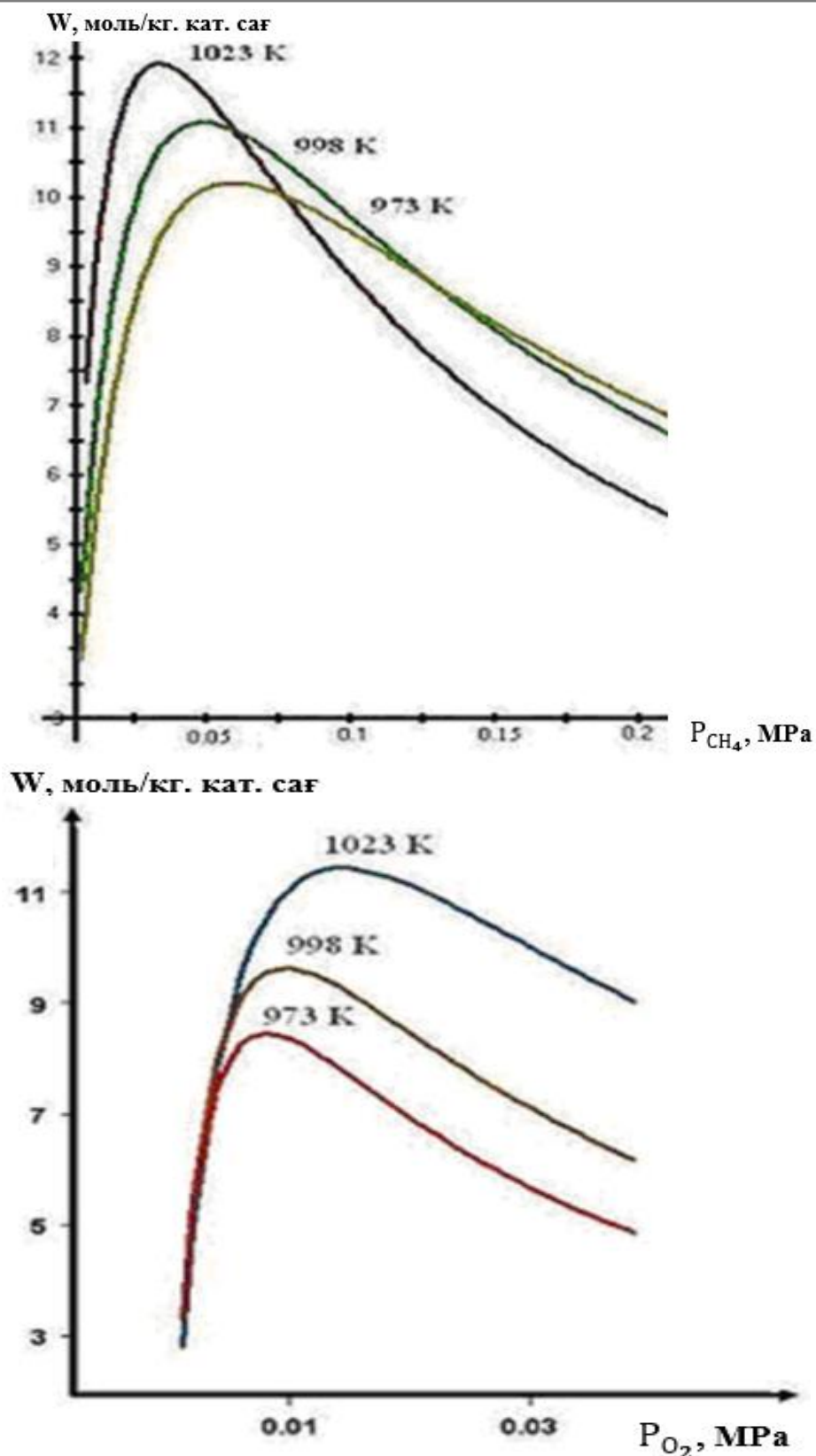
$$\sum_{i=1}^n (W_{\text{exper}} - W_{\text{theor}})^2 \Rightarrow \min$$

Кинетикалық тұрғыдан алғанда, бұл теңдеулердің шешімі кинетикалық параметрлердің өзгеруіне және олардың есептелген параметрлермен сәйкестігіне эксперименталды түрде табылды, яғни теңдеулердің сәйкестігі дәлелденді. Метанның каталитикалық оксиконденсация реакциясы үшін ұсынылған кинетикалық теңдеулердің шешімі реакция жылдамдығы константаларының мәндері (k), оттегі мен метанның адсорбция коэффициенттері (K_{O_2}, K_{CH_4}), олардың парциалды қысымдары (P_{O_2}, P_{CH_4}) және эксперименттік реакция жылдамдығы (W) негізінде табылды. Адекваттылықтың жоғары дәрежесі бар деректер (4) теңдеуімен есептелген тұрақтылар мен коэффициенттер одан әрі есептеу үшін таңдалды. Осы теңдеу бойынша ұсынылған Стандартты ауытқу ~5% - дан аспайды және процестің кинетикалық параметрлерінің өзгеруі шегінде адекватты жауап береді. Осы себепті $(Mn_2O_3)_x - (ZrO_2)_y - (KCl)_z$ құрамының катализаторындағы метан конденсациясының оксиконденсация реакциясының барысын қанағаттандыратын теңдеу ретінде (4) теңдеу таңдалды.

Әдебиеттерден метанның толық тотығуының активтену энергиясы $E \sim 250$ кДж/моль екені белгілі. Бұл мән метанның толық тотығуы қатаң жағдайларда болатынын білдіреді. Сонымен бірге метан молекуласындағы C–H-байланысының үзілу энергиясы $E \sim 84$ кДж/моль құрайды [3].

Катализаторға енгізілген галогенидтер реакцияның активтену энергиясын 16 кДж/мольге дейін төмендетеді. Реакция радикалды механизмі бойынша жүреді. Сондықтан құрамы $(Mn_2O_3)_x - (ZrO_2)_y - (KCl)_z$ тұратын катализаторда жүретін осы реакцияның активтену энергиясын (E_a) анықтау катализатордың тиімділігі туралы да, реакция механизмі туралы да маңызды ақпарат береді. Аталған катализатордағы метанның оксиконденсация реакциясы үшін активтену энергиясы (E_a) жылдамдық константасы логарифмінің тәуелділігімен және реакцияның абсолютті температурасының кері мәнімен анықталады. Оның мәні 35,5 кДж/моль және C–H-байланысын үзу үшін таңдалған катализатордың тиімділігін көрсетеді.

Зерттелетін реакция үшін таңдалған кинетикалық теңдеу процестің оңтайлы шарттарын таңдау үшін қолданылды. Метан мен оттегінің адсорбция жылдамдығының тұрақтылары мен коэффициенттерінің мәндерін қолдана отырып, метан мен оттегінің парциалды қысымынан реакция жылдамдығы есептелді, сонымен қатар осы тәуелділіктердің графиктері салынды (2- және 3-сурет). 2-суреттен зерттелген температура диапазонында реакция жылдамдығының метанның парциалды қысымына тәуелділігі экстремалды сипатта болатындығын көруге болады. Этиленнің түзілу жылдамдығы температураға пропорционалды, бірақ метанның парциалды қысымына пропорционалды емес. Метанның парциалды қысымы 0,038 МПа жеткенде реакция жылдамдығы максималды болады (12,0 моль/кг.кат.сағ). Дәл осындай заңдылық реакция жылдамдығының оттегінің парциалды қысымына тәуелділігін зерттеу кезінде де байқалды (сурет. 3).



Сурет 2. Реакция жылдамдығының метанның қысымынан тәуелділігі

Реакцияның ең оңтайлы жағдайлары маналар: температура 1023 К және оттегінің парциалды қысымы 0,014 МПа. Этилен түзілудің оңтайлы шарттары: $P_{CH_4} = 0,038$ МПа және $P_{O_2} = 0,014$ МПа.

Метанның этиленге айналу реакциясының стехиометриялық қатынасы 2:1 болуы керек.

Алайда, жоғарыда келтірілген әдістеме бойынша жасалған есептеулер 2,7:1 қатынасын көрсетеді.

4-ші теңдеуге сәйкес таңдалған оңтайлы жағдайларда ($T = 1023 \text{ K}$, салыстырмалы көлемдік жылдамдық $55,8 \text{ моль/кг.кат.сағ.}$, $P_{\text{CH}_4} = 0,038 \text{ МПа}$, $P_{\text{O}_2} = 0,014 \text{ МПа}$) этиленнің түзілу жылдамдығы $113,8 \text{ моль/кг.кат.сағ.}$ тең болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Керамзитке сіңірілген, құрамы $(\text{Mn}_2\text{O}_3)_x - (\text{ZrO}_2)_y - (\text{KCl})_z$ тұратын катализаторда метанның оксиконденсация реакциясының кинетикалық заңдылықтары зерттелді.

2. Реакция жылдамдығының бастапқы заттардың парциалды қысымынан және дифференциалды реактордың температурасынан тәуелділігі көрсетілген және процестің кинетикалық моделі жасалған.

3. Кинетикалық теңдеу ұсынылды және оның сәйкестігі бағаланды.

4. Адекватты теңдеуден табылған оңтайлы жағдайлар: $T = 1023 \text{ K}$; $P_{\text{CH}_4} = 0,038 \text{ МПа}$; $P_{\text{O}_2} = 0,014 \text{ МПа}$; көлемдік жылдамдық $55,8 \text{ моль/кг.кат.ч.}$; тізбекті жылдамдық $\omega = 2,2 \text{ см/сек}$; катализатордың мөлшері $2,4 \text{ мм}$. Мұндай жағдайда этиленнің түзілу жылдамдығы $11,8 \text{ моль/кг.кат.сағ.}$ тең болады.

Әдебиеттер

1. Махлин В.А., Магомедов М.В., Зыскин А.Г., Локтев А.С., Дедов А.Г., Моисеев И.И. Математическое моделирование кинетики окислительной конденсации метана // Кинетика и катализ. - 2011. - V. 52. - № 6. - С. 1-9.

2. Галанов С.И., Галанов А.И., Смирнов М.Ю., Смирнова О.И., Смирнов О.В., Смирнов В.В., Сидирова Л.Н. Окислительное присоединение метана к этилену на оксидных марганецсодержащих системах // Труды Политехнического университета. - 2005. - V. 308. - № 1. - С. 126-130.

3. Крылов О.В. Гетерогенный катализ. М.: Академкнига. - 2004. - 679 с.

4. Fayzullaev N.I., Saginayev A.T., Xolliyev Sh.X., Qobilov E.E. Investigation of the activity of a molybdenum-containing catalyst in the methane aromatization reaction // Int. Journal of Advanced Research in Engineering and Technology. - 2020, - Vol 11. - Issue 11. - P. 461-472.

5. Fayzullaev N.I., Saginayev A.T., Xolliyev Sh.X., Khakimov F.Kh., Buronov A.Y. Kinetics and Mechanisms of The Reactions of Catalytic Synthesis of Aromatic Hydrocarbons from Methane // Solid State Technology. – 2020. - Vol. 63. - Issue: 6. - P. 2748-2761.

А.Т. Сагинаев, Ә.Н. Ибрашева, А.Н. Қуанышева

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

ГЛОБАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕАКЦИИ ОКСИКОНДЕНСАЦИИ МЕТАНА

Аннотация. В статье представлена оптимизация процесса оксиконденсации метана на основе обобщения результатов анализа и кинетических объективных законов. Было выбрано несколько кинетических уравнений и проверено их соответствие. На основе адекватного уравнения были выбраны оптимальные условия проведения реакции оксиконденсации метана: $T = 1023 \text{ K}$; $P_{\text{O}_2} = 0,038 \text{ МПа}$; объемная скорость $55,8 \text{ моль/кг.кат.ч.}$; линейная скорость $\omega = 2,2 \text{ см/сек}$; размер катализатора $2,4 \text{ мм}$.

Ключевые слова: газовая хроматография, метан, кислород, этилен, катализатор, симплекс-метод, оптимизация.

A.T. Saginayev, A.N. Ibrasheva, A.N. Kuanysheva
 Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev, Atyrau, Kazakhstan

GLOBAL OPTIMISATION OF METHANE OXYCONDENSATION REACTION

Annotation. The paper presents the optimisation of the methane oxycondensation process based on the generalisation of analysis results and kinetic objective laws. Several kinetic equations were selected and their adequacy was checked. Based on the adequate equation, the optimal conditions for the methane oxycondensation reaction were selected: $T = 1023\text{K}$; $P_{O_2} = 0.038\text{ MPa}$; volume rate 55.8 mol/kg.cat.h ; linear velocity $\omega = 2.2\text{ cm/sec}$; catalyst size 2.4 mm .

Keywords: gas chromatography, methane, oxygen, ethylene, catalyst, simplex method, optimisation.

ӘОЖ 66.092

А.И.Әбілхайыров, А.А.Тилегенов
 С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан
 E-mail: tlegenov.aisultan@bk.ru

МҰНАЙ ӨНДЕУ ЗАУЫТЫНДА МҰНАЙДЫҢ АУЫР ҚАЛДЫҚТАРЫН ҰТЫМДЫ ПАЙДАЛАНУ ЖОЛДАРЫ

Андатпа. Мақалада мұнай өңдеу зауыттарында мұнай өңдеу сатыларында пайда болатын ауыр мұнай қалдықтарын ұтымды пайдаланудың өзекті бағыттары қарастырылады. Термиялық және каталитикалық крекинг, гидрокрекинг, кокстеу сияқты технологиялық процеске, сондай-ақ энергетика мен құрылыс индустриясындағы қалдықтарды кәдеге жарату әдістеріне ерекше назар аударылады. Ауыр қалдықтарды қайта өңдеуге кешенді тәсілді қолдану өндірістің экономикалық тиімділігін арттыруға, қалдықтар көлемін азайтуға және қоршаған ортаға зиянды әсерді азайтуға ықпал ететіні көрсетілген. Мақала мұнай-химия саласының мамандарына, сондай-ақ мұнай өңдеу өндірісін тұрақты дамыту және экологияландыру мәселелерімен айналысатын ғылыми қызметкерлерге пайдалы болуы мүмкін.

Кілт сөздер: мұнайдың ауыр қалдығы, өңдеу, термиялық крекинг, каталитикалық крекинг, гидрокрекинг, кокстеу, мұнай өңдеу зауыты.

Қазіргі заманғы мұнай өңдеу өнеркәсібі шикізаттың барлық компоненттерін, соның ішінде ауыр қалдықтарды тиімді пайдалану қажеттілігіне тәуелді. Мұнай айдау процесінде пайда болған бұл қалдықтар экономикалық тұрғыла тиімді емес және экологиялық проблемаларды тудырушы фактор болып саналды. Алайда, энергия ресурстары бағасының өсуі және табиғатты қорғау заңнамасының қатаңдауы жағдайында оларды ұтымды пайдалану мәселелері ерекше өзектілікке ие болады.

Мұнай өңдеу саласы энергетикалық қауіпсіздікті қамтамасыз етуде және экономиканы дамытуда шешуші рөл атқарады. Бұл ретте күрделі міндеттердің бірі ауыр мұнай қалдықтарын — мұнайды бастапқы айдаудан кейін алынатын өнімдерді тиімді өңдеу болып қала береді. Олардың саны шикізаттың сапасына және өңдеу тереңдігіне байланысты. Ашық түсті мұнай өнімдеріне сұраныстың артуы және экологиялық нормалардың қатаңдауы жағдайында мұндай қалдықтарды ұтымды пайдалану қазіргі заманғы мұнай өңдеу зауыттарының МӨЗ дамуының басым бағытына айналады.

Соңғы жылдары дүниежүзілік мұнай өндірісінің көлемі ұлғайғанымен, жеңіл және сапалы мұнай қорларының азаюы байқалуда. Бұл жағдай мұнай өңдеу зауыттарын жеңіл мұнай түрлерінен (API тығыздығы $30\text{--}32^\circ$) тығыз әрі ауыр мұнай сорттарына (API $10\text{--}24^\circ$) көшуді талап етеді. Осындай өзгерістер нарықтағы мұнай өнімдеріне деген сұранысты өтеу

үшін ауыр және аса ауыр шикізатты немесе қалдық фракцияларды құнды өнімдерге, әсіресе орта дистилляттарға, түрлендіру қажеттілігін туындатады [1].

Алайда, мұнайдың ауыр қалдықтарын өңдеу технологиялық тұрғыдан күрделі процесс болып табылады, себебі олардың құрамында күкірт, азот, металл қоспалары мен асфальтендердің мөлшері жоғары. Бұл жағдай мұнайдың ауыр қалдықтарын тиімді әрі терең өңдеуді мұнай-химия саласы үшін күрделі міндетке айналдырады [2].

Мұнайдың ауыр қалдықтарына мазут, гудрон, вакуумдық қалдық, мұнай шламдары сияқты компоненттер жатады. Олар жоғары тұтқырлықпен, күкірттің, металдардың және асфальттардың мөлшерінің жоғары болуымен сипатталады. Тиісті қайта өңдеусіз олар экономикалық шығынды да, қоршаған ортаның ластану көзін де білдіреді.

Мұнай өңдеудің негізгі ауыр қалдықтарына мыналар жатады:

- Мазут – мұнайды атмосфералық айдау кезінде алынған тікелей айдау қалдығы.
- Гудрон – мазутты вакуумдық айдаудан кейінгі қалдық.
- Асфальтты шламдар – жабдықтар мен резервуарларды тазарту процесі кезеңінде түзілетін жанама өнім қалдықтары.
- Ауыр газойлдар – термиялық және термокаталитикалық процесстер нәтижесінде пайда болатын қалдықтар.
- Мұнай коксы және көміртегі шөгінділері – кокстеу процесі нәтижесінде түзілетін қалдықтар.
- Сулы және эмульсиялық қалдықтар – құрамында мұнай өнімдері, су және механикалық қоспалар бар қалдықтар.
- Ауыр және битуминозды мұнайлар.

Ауыр мұнай қалдықтарын ұтымды пайдалану шикізатты өңдеу тереңдігін арттырып қана қоймай, кәдеге жаратылатын қалдықтардың мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді. Өңдеудің заманауи технологияларын енгізу зиянды заттар шығарындыларын азайтуға және кәсіпорындардың экологиялық қауіпсіздігін арттыруға ықпал етеді.

Ауыр мұнай қалдықтарының жоғары тығыздығын, тұтқырлығын және ластануын ескере отырып, дәстүрлі қайта өңдеу әдістері тиімсіз болады. Мұндай қалдықтардың құрамында күкірт, азот, металдар мен асфальтендердің көп мөлшері бар, бұл мамандандырылған және технологиялық жетілдірілген процестерді қолдануды қажет етеді. Қазіргі жағдайда, құнды өнімдердің максималды санын алу ғана емес, сонымен қатар қатаң экологиялық стандарттарды сақтау маңызды болған кезде, мұнай өңдеу өнеркәсібіне прогрессивті, ресурстарды үнемдейтін технологияларды енгізу міндеті жүктеледі. Төменде жетекші мұнай өңдеу зауыттарында қолданылатын ауыр қалдықтарды өңдеудің ең сұранысқа ие және перспективалы әдістерін қарастырамыз.

Термиялық крекинг және каталитикалық крекинг. Аталған процестердің негізгі мақсаты — ауыр көмірсутектердің молекулалық массасын төмендету немесе олардың қайнау температурасын азайту. Термиялық крекингтің жұмсақ режимі — **висбрекинг** деп аталады және ол, әдетте, қалдық фракциялардың, әсіресе вакуумдық айдау қалдықтарының тұтқырлығын азайту үшін пайдаланылады. Ал неғұрлым қатаң термиялық крекинг процесі ауыр газойльді өңдеуде қолданылып, нәтижесінде сұйытылған көмірсутек газдары, этилен, сондай-ақ жеңіл және орташа дистилляттар алынады. Бұл процестің жанама өнімі болып табылатын **этилен шайыры** — құрамында хош иісті қосылыстары көп термиялық крекинг нәтижесінде түзіледі. Этилен мұнай-химия өндірісінде маңызды шикізат болып табылады, ал этилен шайыры техникалық көміртек (сажаны) өндіруде қолданылады [3].

Каталитикалық крекинг болса ауыр газойльдерді жоғары октанды бензинге айналдыру үшін кеңінен қолданылады. Бұл әдіс мұнай өнімдерінің құнын арттырып, өндірістің экономикалық тиімділігін жоғарылатады. **Сұйық қабаттағы каталитикалық крекинг** — қазіргі таңда әлем бойынша кеңінен қолданылатын ауыр газойль мен жеңіл вакуумдық газойльді конверсиялау технологиясы. Бұл процесс жоғары октанды бензин өндірудің ең тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Сонымен қатар, ол бірқатар маңызды жанама өнімдердің түзілуімен ерекшеленеді. Процесс нәтижесінде алынатын негізгі компоненттерге

— **жеңіл олефиндер мен изоалкандар, жеңіл және ауыр регенератталған майлар**, сондай-ақ **тазартылған сұйық май** (кейде **декантацияланған май** деп аталады) жатады. Жеңіл май фракциясы одан әрі **гидрокрекинг** әдісі арқылы жоғары сапалы **дизель отынына** айналдырылады.

Гидрокрекинг. Гидрокрекинг – жоғары қысым мен температура жағдайында катализатордың қатысуымен ауыр көмірсутек молекулаларын жеңіл фракцияларға бөлетін тиімді термокаталитикалық процесс. Бұл әдіс сутегінің артық мөлшерімен жүреді, нәтижесінде өнім құрамындағы күкірт, азот және металдар секілді қоспалар тиімді түрде жойылады. Гидрокрекинг технологиясы ауыр газойльдерді, вакуумдық газойльдерді және басқа да қалдық фракцияларды жоғары сапалы дизель отынына, авиациялық керосинге және жеңіл нафта өнімдеріне айналдыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл процесс арқылы алынған өнімдер экологиялық талаптарға сай келеді және күкірттің мөлшері айтарлықтай төмен болады [4].

Гидрокрекингтің қосымша артықшылығы – өндіріс икемділігі: процесті басқару арқылы қажетті өнім құрамын өзгертуге болады. Бұл әдіс қазіргі заманғы мұнай өңдеу зауыттарының құрамында жоғары сұранысқа ие өнімдерді алу үшін кеңінен енгізілген [5].

Кокстеу – ауыр қалдықтарды (мысалы, вакуумдық қалдықтар немесе декантацияланған майлар) термиялық жолмен өңдеу арқылы газ, сұйық фракциялар және қатты көміртекті қалдық – мұнай коксын алу процесі. Бұл процесс жоғары температурада (450–500 °C) және салыстырмалы түрде төмен қысымда жүзеге асады. Кокстеу кезінде алынатын мұнай коксының бірнеше түрі бар, олардың ішінде ине коксы, графиттелетін кокс және флюктуациялық кокс ерекше орын алады. Ине тәрізді құрылымды мұнай коксы графит электродтарын өндіру үшін негізгі шикізат болып табылады және металлургия саласында, әсіресе электр доғалы пештерде қолдануға аса қолайлы. Кокстеудің негізгі жанама өнімдері – крекинг газдары, жеңіл және ауыр сұйық фракциялар, олар ары қарай бензин немесе дизель отыны өндірісіне бағытталуы мүмкін. Сонымен қатар, кокстеу ауыр қалдықтарды кәдеге жаратудың экологиялық тұрғыдан тиімді тәсілі болып саналады, себебі бұл әдіс қалдықты минималды көлемде қатты көміртекті қалдыққа айналдырады.

Мұнайдың ауыр қалдықтарын ұтымды пайдалану мұнай өңдеу саласының тұрақты даму стратегиясының маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Заманауи технологиялар экологиялық тәуекелдерді азайтып қана қоймай, қайта өңдеу кірістілігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Гидрокрекинг, кокстеу және деасфальтизация сияқты озық процестерді енгізу энергетикалық пайдалану мен құрылыс материалдарын өндірумен бірге кәдеге жаратудың жоғары дәрежесін қамтамасыз етеді және сыртқы нарықтарға тәуелділікті азайтады [6].

Мұнай өңдеу процесінің болашағы жоғары экологиялық талаптар мен сұранысқа ие өнімдерді өндірудің теңгерімді тәсілдерін іздеумен байланысты болады. Бұл бағытта үнемі ғылыми зерттеулер жүргізіліп, жаңа катализаторлар мен процестерді әзірлеу қажеттілігі туындайды. Мұнай өңдеу саласындағы инновациялар мен ғылыми жетістіктердің нәтижесінде, ауыр мұнай қалдықтары мен қалдық фракцияларын толық көлемде қайта өңдеуге мүмкіндік туындайды, бұл өз кезегінде табиғи ресурстарды тиімді пайдалану мен өнеркәсіптің тұрақтылығының кепілі бола алады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Ahmed M. Al-Otaibi, Tahani A. Al-Shamary, Rashed Bouresli, A. Marafi “Heavy oil atmospheric residue: HDS performance and life test using ARDS catalysts system”. Volume 204, April 2024, Pages 536-543
2. Рудин М.Г., Драбкин А.Е. Краткий справочник нефтепереработчика.-Л.: Химия, 1980.-328с.
3. Abbasov, V.M. Influence of temperature to the hydrocracking of mazut in the presence of a suspended aluminosilicates catalyst // V.M. Abbasov, G.S. Mukhtarova, F.A. Babayeva, A.B.

Hasanova, A.A. Aliyeva // Processes of petrochemistry and oil refining. – 2017. – Vol. 18, N 1. – pp. 13-17.

4. Химия нефти и газа//Под ред. Проскурякова В.А. – Л.: Химия, 1981.–359с.

5. Jafari, M. Simulation and techno-economic analysis of hydrotreating process of mazut / M. Jafari, Khalili-Garakhani A. // Journal of Applied Research of Chemical-Polymer Engineering. – 2021. – Vol. 5, N 1. – pp. 17-30.

6. Gaile, A.A. Extraction Refining of Heavy Vacuum Gas Oil / A.A. Gaile, O.M. Varshavskiy, L.V. Semenov, A.S. Erzhakov // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2001. – Vol. 74, N 2. – pp. 330-332.

А.И.Абилхайров, А.А.Тилегенов

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

E-mail: tlegenov.aisultan@bk.ru

СПОСОБЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ОТХОДОВ НЕФТИ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные направления рационального использования тяжелых нефтяных отходов, образующихся на стадиях нефтепереработки на нефтеперерабатывающих заводах. Особое внимание уделяется такому технологическому процессу, как термический и каталитический крекинг, гидрокрекинг, коксование, а также методам утилизации отходов в энергетической и строительной промышленности. Показано, что применение комплексного подхода к переработке тяжелых отходов способствует повышению экономической эффективности производства, сокращению объемов отходов и снижению вредного воздействия на окружающую среду. Статья может быть полезна специалистам нефтехимической отрасли, а также научным работникам, занимающимся вопросами устойчивого развития и экологизации нефтеперерабатывающего производства.

Ключевые слова: тяжелые нефтяные остатки, переработка, термический крекинг, каталитический крекинг, гидрокрекинг, коксование, нефтеперерабатывающий завод.

Amangeldi I. Abilkhairov, Aisultanbek A. Tilegenov

Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev, Atyrau, Kazakhstan

E-mail: tlegenov.aisultan@bk.ru

WAYS OF RATIONAL USE OF HEAVY OIL WASTE AT AN OIL REFINERY

Abstract. The article discusses topical areas of rational use of heavy oil waste generated at oil refineries at the stages of oil refining. Particular attention is paid to such technological processes as thermal and catalytic cracking, hydrocracking, coking, as well as waste disposal methods in the energy and construction industries. It is shown that the use of an integrated approach to the processing of heavy waste contributes to increasing the economic efficiency of production, reducing the volume of waste and reducing the harmful impact on the environment. The article may be useful to specialists in the petrochemical industry, as well as researchers dealing with the problems of sustainable development and ecologization of oil refining production.

Keywords: heavy oil residue, refining, thermal cracking, catalytic cracking, hydrocracking, coking, oil refinery.

¹Ж.Е. Молдажанова, ²А.С. Калауова^{1*} Атырауский университет нефти и газа им. С.Утебаева, Атырау, Казахстан, zhibek_03@bk.ru² Атырауский государственный университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ С ПОМОЩЬЮ СИНТЕТИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА

Анотация. В данной статье рассматриваются химические методы улучшения качества моторных масел с использованием синтетического компонента. Проведен анализ свойств различных моторных масел, выявлены основные факторы, влияющие на их эффективность. В ходе исследования изучены механизмы воздействия синтетических добавок на характеристики масел, такие как вязкость, термостабильность и устойчивость к окислению. Полученные результаты демонстрируют значительное улучшение эксплуатационных характеристик моторных масел при введении синтетических компонентов, что подтверждается лабораторными испытаниями. Данное исследование имеет практическую значимость для повышения эффективности смазочных материалов и увеличения ресурса работы двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: моторные масла, синтетические компоненты, химические методы, вязкость, термостабильность, окислительная устойчивость, смазочные материалы.

1. Введение

Снижение добычи нефти при расширении парка машин и механизмов требует экономного расходования топливно-энергетических ресурсов и в частности, смазочных масел как их важной составляющей. Экономия масел в технике реализуется прежде всего в повышении их работоспособности за счет улучшения качества. На начало 90-х годов приходится период интенсивной работы национальных и международных организаций систематизирующих в области создания, испытания, примерения и контроля качества наиболее обширной группы масел моторных и присадок к ним.

Наряду с требованиями к качеству выпускаемых масел особое внимание уделяется полноценному использованию имеющихся мощностей энерго- и трудоемкого их производства – одному из необходимых условий для повышения эффективности работы нефтеперерабатывающего предприятия.

Для выпуска конкурентоспособных моторных масел предприятиями отрасли отслеживается непостоянство состава нефтесмесей, поступающих на переработку, что бы регулированием режимов технологических процессов добиваться качества базовых масел с хорошей приемистостью к соответствующему пакету присадок. Кроме этого в условиях рыночных отношений требуется свободное ориентирование в конъюнктуре рынка для оперативного решения сложных вопросов: что выгоднее – производить ли присадку для данного конкретного масла на своем предприятии или приобретать ее на другом заводе, в том числе и по импорту из стран дальнего зарубежья; можно ли на своем предприятии создать новую присадку взамен традиционной, что бы масло стало традиционной, чтобы масло стало дешевле, но не ухудшило бы при этом своего качества. Столь высокие требования к качеству моторных масел в течение последнего десятилетия и в близкой перспективе в основном обуславливаются следующими факторами [1].

- Изменением конструкций поршневых двигателей с целью улучшения их топливной экономичности, в особенности с совершенствованием процесса сгорания, рециркуляцией отработавших газов с применением турбонадува, при одновременном увеличении ресурса и снижении объема технологического обслуживания двигателей.

- Все более широким использованием каталитических нейтрализаторов отработавших газов автомобилей, которое обуславливает жесткие ограничения на содержание активных

элементов присадок (фосфора, галогенов, металлов) в моторных маслах;

- Изменением состава и свойств топлив в двигателях, которое также вызвано экологическим законодательством ряда стран и целых регионов.

Для целого ряда регионов, в том числе и Казахстана, актуальна задача организации производства высококачественных моторных масел требуемого уровня качества на предприятиях.

2. Влияние синтетического компонента на качество нефтяного масла

Как правило, выбираемый синтетический компонент более полярен при введении в нефтяное масло активно взаимодействует с его углеводородами. В результате такого взаимодействия образуются ассоциаты, позволяющих неаддитивному изменению вязкостно-температурных и смазочных свойств композиции. Образование ассоциатов обусловлено возникновением межмолекулярных связей типа водородных, в образовании которых участвуют как полярные соединения нефтяного масла, так и полярные группы синтетического компонента, в частности, эфирного. Не исключено также влияние синтетического компонента на структурообразование самого масла. Например, синтетический компонент может влиять на жидкокристаллическое состояние масла. Изменяя величину и заряд жидких кристаллов, он упрочняет или разупрочняет жидкокристаллическую структуру, вызывая тем самым эффект синергизма или антагонизма.

Межмолекулярные взаимодействия нефтяных и синтетических компонентов приводят к аномалии объемных и поверхностных свойств, чем часто пользуются при создании полусинтетических масел с улучшенными эксплуатационными свойствами. Для регулирования объемных свойств (вязкостно-температурных, термоокислительной, коллоидной и механической стабильности) добавляет 10-30% синтетического компонента, а для улучшения поверхностных свойств (защитной и смазочной способности) 3-7%. Влиянию синтетического компонента на объемные свойства нефтяного масла посвящены работы [5]. В основе регулирования объемных свойств лежит физическое воздействие синтетического компонента. При охлаждении нефтяных масел параллельно протекают процессы аморфного и кристаллизационного структурообразования компонентов, суммарный эффект которых приводит к потере подвижности. Добавки синтетического компонента регулируют эти процессы и улучшают вязкостно-температурные свойства смеси. Зависимость вязкости от температуры для смешанных масел, как правило, существенно отличается от линейной, особенно при низких температурах. Связано это с усилением ассоциации и структурообразования более вязких компонентов смеси.

На объемные свойства масел влияет концентрация и природа синтетического компонента, коллоидное состояние его молекул в растворе. Так, от того, в каком состоянии находятся молекулы диоктилсебацата (DOC) в масле, меняется его функциональное действие. В зависимости от температуры и концентрации молекулы DOC могут находиться в растворе нефтяного масла в свободном состоянии в виде ассоциатов-мицелл, надмицеллярных образований, жидких кристаллов. Возможны последовательная смена одного состояния другим или их сосуществование. Это отражается на многих свойствах системы, а том в числе на окислении нефтяного масла: в зависимости от концентрации наблюдается как ингибирующее, так и проокислительное действие DOC (по поглощению кислорода). Более чувствительны к присутствию синтетического полярного компонента поверхностные свойства масел: это проявляется в тонких граничных слоях даже при малых его концентрациях.

Синтетические масла сами по себе отличаются низкими защитными (антикоррозионными) свойствами (диэфиры, полисилосаны), но введение их в нефтяные масла позволяет добиться выраженного синергического эффекта. То же относится и к смазочным свойствам.

Для нефтяных масел любого состава характерно увеличение коэффициента трения с ростом температуры, нагрузки. Для масел на смешанной основе это увеличение значительно меньше. Чувствительны к концентрации синтетического полярного компонента и

противоизносные свойства нефтяного масла: с ростом концентрации износ сначала снижается из-за уменьшения адгезионной составляющей, а в дальнейшем усиливается в связи с возрастанием роли химических процессов.

Чем выше полярность синтетического компонента, тем более выражен эффект улучшения противоизносных свойств. Высокие концентрации синтетического компонента, необходимые для регулирования объемных свойств масел, могут приводить к ухудшению поверхностных свойств, поэтому и те и другие свойства должны регулироваться с помощью присадок.

3. Объекты исследования

Для целого ряда регионов на территории СНГ важной народнохозяйственной задачей является организация производства высококачественных смазочных материалов, адаптированных к местным сырьевым и технологическим возможностям.

Рассматривались следующие возможные пути повышения качества получаемого товарного продукта: улучшение качества базового нефтяного масла смешением его с синтетическим маслом, подбор и создание эффективного пакета присадок.

Исходя из поставленной задачи, базовыми нефтяными маслами служили М-12 и М-14, которые, согласно имеющимся данным, не соответствовали требованиям для получения высококачественного товарного масла с пакетом присадок для масел группы Г1 (таблица 1).

Как можно видеть из таблицы 6, где представлены физикохимические свойства масла М-12 трех разных партий, его качество является стабильным: разный индекс вязкости, в большой степени различны по кислотному числу. В то же время групповой химический состав этих масел практически одинаков и свидетельствует о высоком содержании в них средних ароматических углеводородов и смол (таблица 2). Дополнительная очистка М-12м [27] фурфуролом (кратность масла: фурфурол 1:1), привели к повышению содержания парафино-нафтеновых и удалению основного количества средних ароматических углеводородов.

Таблица 1. Физико-химические свойства базовых масел

Наименование	М-8	М-12			М-14	DOC
		1	2	3		
1	2	3	4	5	6	7
Кинематическая вязкость при 100°C, ν , мм ² /с	8,4	12,3	12,8	12,3	14,4	3,3
Индекс вязкости	101	96	92	90	90	165
Температура, °C-застывания, не выше	-15	-15	-15	-15	-15	-60
T, °C-вспышка, не ниже	200	220	222	220	222	245
Цвет на колориметре ед.	5	5	5	5	5	-
Кислотное число, мг КОН/г	-	0,08	0,01	0,10	0,02	0,41
Содержание S, % масс.	-	1,2	1,3	1,5	0,6	-

В качестве модели для оценки эффективности смешения нефтяного базового масла с синтетическими использовали также фирменные эталонные образцы масел гидрокрекинга различной вязкости и существенно отличающиеся по химическому составу от М-12 селективной очистки (таблицы 3, 4) Это парафино-нафтеновые масла с содержанием моно и диалкилбензолов в пределах 2-4% масс (ИК-спектроскопия).

Таблица 2. Групповой химический состав масел

Наименование	М-12, образцы			М-12(1)(1:1) после очистки фурфуролом при кратности 1:1	М-14
	1	2	3		
Парафино-нафтеновые углеводороды	50,1	49,9	49,0	57,1	53,5
Легкие ароматические, nD=1/49-1/53	29,7	30,0	28,0	40,1	26,7
Средние ароматические nD=1/53-1/59	18,8	18,7	19,9	1,8	18,5
Смолы	1,4	1,4	3,1	1,0	1,3

Для производства масел на смешенной основе используют в основном высокоочищенные нефтяные компоненты в смеси с эфирами или поли- α -олефинами.

Таблица 3. Характеристика модельных масел гидрокрекинга

Назначение масла по рекомендации изготовителя	Вязкость кинематическая, мм ² /с при температуре, °C		Индекс вязкости
	40	100	
Основа всесезонного масла класса 10W	22/0	4/64	130
Основа всесезонного масла класса 5W	15/7	3/69	123
Основа масла SAE 30	41/1	7/14	136
Основа масла SAE 20	31/5	5/85	131

Таблица 4. Групповой химический состав масел* гидрокрекинга

		Масло-прототип	Опытное масло
1	2	3	4
Парафино-нафthenовые	Выход, %	92,5	92,6
	Уд. дисп.	103,3	102,6
	n^{20}	1,462	1,4673
	ρ^{20}	0,8318	0,8374
	ν_{50}	15,22	16,74
	ν^{100}	4,55	4,75
	ИБ	136	122
Легкие ароматические	Выход, %	2,3	2,0
	Уд. дисп.	105,7	113,4
	n^{20}	1,4825	1,4835
	ρ^{20}	0,8625	0,8696
Среднее ароматические	Выход, %	2,3	3,1
	Уд. дисп.	156,3	137,4
	n^{20}	1,5115	1,5102
	ρ^{20}	0,9001	0,9136
Тяжелые ароматические	Выход, %	2,2	2,0
	Уд. дисп.	197,2	166,7
	n^{20}	1,5435	1,5373
	ρ^{20}	0,9413	0,9484
Смолы	Выход, %	0,55	0,30
	n^{20}	1,5176	1,5270

*Определен по показателю удельной дисперсии

4. Влияние ДОС на термоокислительную стабильность базовых масел и их приемистость к присадкам.

Появление новых теплонагруженных дизельных двигателей вызвало повышение температуры в зоне верхних поршневых колец до 240-260 °С. При этих температурах масла имеют состояние молекулярного раствора, а это сопровождается их способностью значительно понижать работу выхода электрона и, как следствие, увеличивать трение и износ смазываемых поверхностей. Подтверждением последнего служат сопоставление зависимости электродного потенциала с результатами исследований смазочных свойств температурным методом на машине трения КТ-2 (35,36), т.е. оценка перехода масла в молекулярной раствор в данном случае определяется его поверхностными свойствами.

Изменение состояния масла по объемным свойствам хорошо характеризует показатель оптической плотности. Между ним и количеством образовавшегося осадка в масле под действием высоких температур, кислород и металла установлена линейная зависимость. При 240-260 °С начинают преобладать процессы термолитиза конденсированных ароматических углеводородов с появлением парамагнитных продуктов, образующих отложения без проявления выраженного процесса окисления. При этом перестали удовлетворительно

работать в моторных маслах нейтральные алкилфенольные детергенты и их сочетания с антиокислителями, которые не способны противостоять более тяжелым условиям работы нефтяных масел и их термолизу при высокой температуре. Потребовались базовые масла с меньшим содержанием ароматических углеводородов, а, следовательно, повышенной очистки.

Возникла необходимость создания лабораторного метода, в условиях которого масла стареют при температурах, характерных для верхней поршневой канавки современных двигателей, и каталитического действия металлов при высоких скоростях перемещения масел относительно металлических поверхностей, когда возникают электрическое поле высокой напряженности и электрические разряды. Такой метод был разработан во ВНИИ НП и в настоящее время широко используется, т.к. хорошо дифференцирует масла по периоду осадкообразования. Исследование различных масел, базовых и с присадками показало, что высокоочищенные базовые масла имеют наибольший период осадкообразования (34,35). Следовательно, для моторных масел наблюдается та же тенденция, которая характерна для современных авиационных масел: наиболее эффективными продуктами, в качестве последних являются высокоочищенные нафтеновые, изопарафиновые, полиальфаолефиновые, сложноэфирные масла, их смеси, содержащие антиокислительную и проивоизносную присадки. Необходимости для авиационных масел в детергентно – диспергирующих присадках нет. Единственный недостаток высокоочищенных масел – невысокие смазочные свойства. Масла исследовали как таковы (таблица 5) и с уменьшенным содержанием ароматических углеводородов и смол, достигнутым в лабораторных условиях при очистке фурфуролом и алюмосиликатным адсорбентом. В составе базовых масел использовали сложноэфирное масло – DOC.

Известно, что в смесях нефтяных и сложноэфирных масел наблюдается довольно сильное межмолекулярное взаимодействие и в первую очередь между молекулами (мицеллами) сложных эфиров и ароматических углеводородами или смолистыми (полярными) соединениями нефтяных масел. Взаимодействия эти проявляются в аномальных изменениях вязкостных и низкотемпературных свойств системы.

При введении DOC в состав нефтяного масла наблюдали существенное улучшение его антиокислительных свойств, объясняя это межмолекулярным взаимодействием между DOC и ароматическими углеводородами масла. В пользу этого утверждения автор приводит факт, что с увеличением содержания ароматических углеводородов в нефтяном масле усиливается влияние DOC на его антиокислительные свойства при температуре 165 °С, (метод РСЛ). Аналогичное влияние оказывал DOC и на масло С-220, не содержащее ароматических углеводородов, но оптимальное 3203 DOC было пониженным. Поэтому следует полагать, что механизм действия сложноэфирных компонентов на стабильность нефтяных масел к окислению лишь отчасти обусловлен коллоидно-химическим состоянием системы при таких температурах. В частности, отмечается, что DOC активизирует некоторые природные ингибиторы окисления. На положительное влияние DOC в составе нефтяного масла И-20А обращено внимание в работе [31]. Методом хемилюминесценции при 70 °С было обнаружено, что концентрациях 0,25-10% масс. DOC увеличивает индукционный период окисления, в то время как сам он характеризуется значительно меньшей стабильностью, чем И-20 А. В зависимости от концентрации всех содержащихся в нефтяной основе ингибиторов окисления, как природных, так и образующихся в процессе ее окисления. В число продуктов окисления сложных эфиров входят кислоты, лактоны, кетосоединения. Как условлено Е.Т. Денисовым [32], лактоны и кетосоединения являются стимуляторами распада гидроперекисей на радикалы, следствием чего скорость инициированного окисления возрастает в 7-10 раз. Известно также, что оксиперекисные радикалы спиртов $> C(OH)OO\cdot$, образующиеся при окислении сложных эфиров, способны как промотировать окисления, так и восстанавливать антиокислители до первоначальной формы. Поэтому, если DOC добавляется во фракции парафино – нафтеновых углеводородов, то с повышением его концентрации из-за отсутствия природных ингибиторов окисления индукционный период окисления таких углеводородов

снижается. Введения DOC в легкие и особенно средние ароматические углеводороды нефтяной основы способствует увеличению продолжительности индукционного периода окисления благодаря оксиперекисным радикалам, которое интенсивно гидроксيليрует алкилароматические углеводороды и способствуют накоплению фенолов, тормозящих окисление.

Все описанные результаты исследований касались DOC в нефтяном масле при температурах не выше 165 °С.

Совершенно очевидно, что в условиях, когда компоненты нефтяного масла подвержены термолизу (метод ВНИИ НП), предсказать положительную или отрицательную роль DOC на процесс осадкообразования в масле и прирост вязкости невозможно, тем более, что неизвестно поведение DOC в столь жестком режиме воздействия.

Этим вопросом посвящены исследования, описанные ниже.

4. 1 Анализ термоокислительной стабильность масел

Поскольку одной из задач настоящей работы являлось предложение пути улучшения качества моторного масла, их подвергли углубленной селективной очистке, применив кратность фурфурола к маслу 1; 2, что позволило уменьшить содержание ароматических углеводородов в масле (таблица 13), которые по данным [33] являются источниками образования асфальтенов – предшественников лака.

Кроме того на базовых маслах М-12 и М-14 опробовали эффективность их контактной доочистки алюмосиликатным адсорбентом при расходе к маслу 2 и 5% масс. И и температуре 80°С, что снизило содержание смолистых соединений в масле на 20 и 50%, соответственно. Исходные товарные масла и масла, полученные после соответствующей очистки в лабораторных условиях, исследовали на стойкость к термокаталитическим превращениям, оценивая и влияние на этот процесс композиции присадок –ДФ-11 (1,2% масс.) и С-300 (1,5% масс.), а также АС-60.

Как следует из данных таблицы, метод ВНИИ НП чувствителен к маслам разной глубины и способа очистки. Он зафиксировал, что удаление из товарного М-12 средних ароматических углеводородов и части смол при очистке фурфуролом (таблица 5) снижает показатели его качества при термокаталитическом воздействии: резко возрастает вязкость масла, свидетельствующая об интенсификации процессов окисления в нем, и повышается величины оптической плотности масла на синем светофилтре – показателе склонности к образованию осадка; снижение показателя дисперсности (D_c/D_k) говорит о развивающихся коагуляционных процессах в среде окисленных масел. На накопление продуктов окисления в маслах определенную роль оказывает их испаряемость.

Поскольку последнюю с достаточной степенью точности оценить методом ВНИИ НП затруднительно, масло М-12 товарное подвергли испарению прт такой же температуре (230°С) в течение 1 часа в чашечках-испарителях, после испарения оценивали изменения его группового химического состава и физико – химических свойств (таблица 6). Видно, что выдерживание масла при 230°С при менее жестких условиях, чем имеют место в условиях ВНИИ НП, приводит к потере его массы, значительному концентрированию кислых соединений и смол, а также предшественников образования лака – асфальтенов, прочно удерживаемых порами адсорбента при разделении оставшегося после испарения масла на силикагеле. Повышающееся содержание средних ароматических углеводородов в масле приводит к значительному приросту вязкости при воздействии высоких температур.

Таблица 5. Термоокислительная стабильность базовых масел в зависимости от глубины их очистки и содержания присадок

Наименование образца	Показатели термоокислительной стабильности			
	Оптическая плот.на синем светофилтре, Dc	Показатель дисп-и Dc/Dк	Прирост вязкости, %	
			υ40	υ100
Масло М-12 (образец 1)	0,762	4,6	58	29
То же +1,2% ДФ-11+1,5% С-300	0,490	5,7	36	13
Кратность-0,5:1	0,860	3,5	82	47
То же +1,2% ДФ-11+1,5% С-300	0,454	5,7	56	36,5
Кратность 1:1	0,800	4,0	71	39
То же +1,2% ДФ-11+1,5% С-300	0,330	5,0	60	32
Кратность 2:1+1,2% ДФ-11+1,5% С-300	0,305	7,0	39	27
Масло М-12 после контактной очистки (5% масс.)+1,2% ДФ-11+1,5% С-300	0,378	6,3	29	-
Масло М-14	0,520	4,3	46	27
То же +1,2% ДФ-11+1,5% С-300	0,486	5,7	33	16

Для сравнения в той же таблице приводится характеристика высококачественного европейского базового масла, подвергнутого испарению при тех же условиях: низкая испаряемость этого масла, отсутствие в его составе средних ароматических углеводородов и меньшее содержание смол способствуют менее интенсивному протеканию окислительных процессов; хотя и с образованием повышенного содержания смол, соизмеримого с концентрацией в М-12 после его испарения, однако образование асфальтенов в масле 500 SN после испарения при 230 °С, 1 часа не обнаруживается. Значительно более высокая устойчивость этого масла к термокаталитическим процессам проявлялась и при испытании его по методу ВНИИ НП.

Таким образом повышенная испаряемость М-12, так же как и плохая способность противостоять термокаталитическим процессам и превращениям в условиях метода ВНИИ НП способствует накоплению в масле продуктов термоллиза и окисления, влияющих на прирост вязкости и осадкообразование. Увеличение концентрации этих продуктов в окисленном масле углубленной очистки вызвано удалением из него природных ингибиторов окисления, которыми, по всей видимости, являются сернистые соединения, содержащиеся в М-12 (таблица 5).

Аналогичное наблюдали, когда по методу ВНИИ НП испытали масло М-14. С увеличением расхода алюмосиликатного адсорбента при контактной доочистке этого масла его термоокислительная стабильность ухудшается: увеличивается прирост вязкости масла и показатели оптической плотности по мере уменьшения содержания смолистых соединений в свежем масле. Следует отметить, что это характерно, очевидно, для масел из сернистых нефтей. Как следует из таблицы 7 термическая стабильность масла с углублением его очистки повышается (показатель D'₂₄₀- оптическая плотность масла на синем светофилтре).

Таблица 6. Влияние испаряемости масел на изменение свойств и химического состава

Показатели	Масло			
	М-12		500 SN	
	Свежее	После испарения	свежее	После испарения
Испаряемость при 230 °С, % масс	12,5	-	1,5	-
Вязкость, мм ² /с при температуре, °С				
-40	122,0	140,8	100,8	104,1
-100	12,7	14,1	10,9	-
Кисл. число, мг КОН/г	0,08	0,44	0,05	0,23
Оптическая плотность, D540	0,200	2,0	0,037	0,940
Групповой химический состав, % масс.				
-парафино-нафтеновые	49,9	43,5	68,8	58,1
-легкие ароматические	30,0	27,7	30,3	36,4
-средние ароматические	18,7	24,0	-	-
-смолы	1,4	5,6	0,9	5,5
-недесорбированные с силикагеля	-	0,2	-	-

Поэтому можно ожидать, что их уменьшение достигнутое при дополнительной очистке базовых масел с помощью фурфурола или алюмосиликата, должно способствовать большей эффективности действия сульфонатных и алкилсалицилатных присадок. Реальность этих ожиданий зафиксирована в таблица 13.

При введении в масла М-12 и М-14 композиции присадок из диалкилдитиофосфата цинка и высокоочищенного сульфоната достигается значительное снижения величины оптической плотности масла и увеличение показателя его дисперности при термокаталитических процессах, причем, чем выше глубина очистка масла, тем эффективнее работа композиции присадок.

Таблица 7. Качество масел различной глубины очистки

Масло	ν_{100} , мм ² /с	Индекс вязкост и	Содер. серы, % масс.	Пока-ль пре- лом- ления, η_D^{20}	Содержание масс.			D' ₂₄₀	
					Параф.- нафте- нов	аром. с η_D^{20}			смо- лы
						до 1.51	1.51- 1.59		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Средне- вязкий дистиллят	6,5	95	0,48	1,4850	53,4	30,3	15,0	1,3	0,43
То же угубл. очистка	6,0	98	0,34	1,4820	73,5	14,5	11,3	0,7	0,28
Остат. компонент	21,8	88	0,57	1,4949	43,7	32,0	22,7	1,9	0,94
То же углу очист	20,3	90	0,41	1,4905	65,0	15,8	18,1	1,5	0,72

Еще большая эффективность диспергирующего действия в масле достигается, когда вместо указанной композиции вводится одна алкилсалицилатная присадка АС-60с (табл. 8), но в повышенной концентрации (3% масс), чтобы щелочность соответствовала 1,5% масс. С-300. Согласно литературным данным [34, 35] сульфонатные и алкилсалицилатные присадки в несколько большей степени взаимодействуют с парамагнитными продуктами термолитического конденсированной ароматики, т.е. с асфальтенами – ассоциатами стабильных свободных радикалов, чем с продуктами окисления масла. Асфальтены – предшественники лакообразования, поэтому по лакообразованию в масле можно судить о большей или меньшей эффективности этих присадок, что иллюстрируется данными таблица 9[36]. Из таблицы видно, что при условиях определения проявляются антиокислительная эффективность алкилсалицилатной присадки МАСК и моющие свойства сульфонатной и той же алкилсалицилатной присадок, хотя механизм их действия различен.

При термомеханическом воздействии на масло М-11 с алкилсалицилатной присадкой зафиксированный сигнал ЭПР (показатель парамагнитных свойств) при 160-240°C оказался сильнее, чем у того же масла без присадки.

Таблица 8. Эффективность действия присадок в М-12 (2)

Образец	Показатели термодинамической стабильности	
	D _c	D _c /D _к
Масло М-12	0,612	4,6
То же +композиция присадок	0,338	6,5
То же +3% АС-60с	0,278	9,3

Таблица 9. Склонность масел к лакообразованию

Масло	Количество лака при 240 °С, % масс.	
	Без загрязнителя	С 7% окисленного масла
М-11 западно-сибирское	3,7	12,3
М-11+3% С-300	3,9	0
М-11 +3% МАСК	0	0

Не исключено, что эта присадка при термоллизе образует свои парагмагнитные частицы, которые нейтрализуют стабильные свободные радикалы базового масла. Для масла с сульфонатной присадкой при всех температурах собственный сигнал ЭПР отсутствует. Механизм ее действия связан, по видимому, с соллюбилизацией дисперсной фазы продуктов термоллиза базового масла, в результате которой объем мицелл увеличивается, что приводит к росту вязкости масла с сульфонатной присадкой в процесс соллюбилизации продуктов старения.

Присутствие в масле ДФ-11 в композиции с сульфонатом, повышающим ее термическую стабильность, в какой-то степени способно тормозить процесс окисления базового масла, причем эта способность связана с структурой химических соединений, входящих в состав масла, ибо, как можно видеть из таблицы 18, при практически одинаковом групповом составе образцов М-12, эффективность композиции присадок большая во 2-ом.

Причина разной эффективности композиции присадок в образцах М-12 возможно связана с присутствием во 2-ом образце большего количества активных природных ингибиторов окисления, которые по данным группового химического состава определить трудно. В связи с отмеченным выше посчитали целесообразным проследить за накоплением продуктов термоллиза в маслах разной вязкости.

Таблица 10. Эффективность композиции ДФ-11 с сульфонатом С-300 в образцах М-12

Масло М-12	СВЕЖЕЕ					ОКИСЛЕННОЕ		
	Групповой состав, % масс.				Содерж серы, % масс.	D _c	D _c / D _к	Δv ₄₀ , %
	параф- нафтенны	аромат		смолы				
		Лег.	Сред.					
Обр-ц 1	50,1	29,7	18,8	1,4	1,2	0,490	5,7	36,0
Обр-ц 2	49,9	30,0	18,7	1,4	1,3	0,338	0,5	34,0

Результаты этих сравнений иллюстрирует таблица 11. Видно, что наилучшей стабильностью обладает базовое М-8. Оно менее склонно к осадкообразованию. Прирост же его вязкости в большой степени вызван повышенной испаряемостью.

Таблица 11.Термоокислительная стабильность масел разной вязкости

Масло	Групповой химический состав,% масс.				Испаряе- мость,% масс. 230 ⁰ С, 1 час.	Метод ВНИИ НП		
	Параф- нафтенy	Ароматические		смолы		D _c	D _c /D _k	Δv ₄₀ , %
		легкие	средние					
М-8	67,1	25,6	6,2	1,2	39	0,41	4,3	41
То же + 1,2%ДФ- 11+1,5% С-300	-	-	-	-	-	0,30	5,4	40
М-12 (№1)	50,1	29,7	18,8	1,4	12,5	0,76	4,6	58
То же+ 1,2%ДФ- 11+1,5% С-300	-	-	-	-	-	0,49	5,7	58
М-14	53,5	26,7	16,4	3,2	9,0	0,52	4,3	46
То же+ 1,2%ДФ- 11+1,5% С-300	-	-	-	-	-	0,49	5,7	33

Наименьшая стабильность у базового М-12, хотя при хорошей очистке в процессе его производства оно должно было бы быть более устойчивым к термохимическим превращениям, чем М-14, т.к. известно, что склонность к осадко-и лакообразованию повышается с увеличением вязкости масел из одних и тех же нефтей. В данном случае базовое М-14 оказалось стабильнее М-12. Эффективность композиции присадок в маслах примерно одинакова.

Для более полного представления о способности присадок влиять на окислительные процессы в маслах, последние окисляли в условиях, когда окисление превалировало перед деструкцией содержащихся в маслах соединений, активно протекающей в условиях метода ВНИИ НП.

Повысить эффективность природных и синтетических ингибиторов окисления в маслах по данным Н.Н.Поповой и И.Н.Ильиной возможно добавлением ДОС. Применив для исследования структурных характеристик масел авторы показали, что ДОС вызывает увеличение подвижности молекулярных структур, облегчая действие антиокислителей в маслах. В качестве примера рассматривалось базовое масло М-12 из западно-сибирских нефтей как таковое и обессмоленное.

Таким образом, ДОС способствует более стабильной работе присадок в маслах, независимо от структуры углеводородов, содержащихся в пределах одного химического ряда. Он, судя по всему, в большой степени влияет на образование и разрушение ассоциативных образований при окислении и термолитизе масел. Несмотря на близость 2-х образцов М-12 по физико-химическим свойствам и групповому составу, 1-ый образец имеет более низкую приемистость к присадкам. Возможно, содержащиеся в нем ароматические углеводороды и смолы являются более сильными растворителями по отношению к мицеллам присадок,

поэтому показатель дисперсности за первый час окисления масла достаточно высок, однако быстрое уменьшение D_c/D_k во времени свидетельствует об интенсивном образовании в нем поверхностно-активных продуктов, нейтрализующих поверхностную активность сульфоната- в результате усиливаются коагуляционные процессы в масле. Во втором образце присадки работают эффективно более длительное время, при этом прирост вязкости не происходит, т.е. проявляются их антиокислительные действия.

Как мы отмечали выше, для улучшения приемистости М-12 к присадкам опробовали углубление его очистки фурфуролом (1-ый образец). Изменение качества этих масел после 3-х часов воздействия условий метода ВНИИ НП по сравнению с исходными маслами мы обсуждали. Сейчас же мы хотим остановиться на кинетике процесса в зависимости от глубины очистки базового масла. Очистка фурфуролом при кратности 0,5:1 не изменила характер кинетической кривой D_c/D_k - t исходного масла, но углубление очистки (1:1) сделало ее аналогичной для 2-ого образца, хотя величина отношения D_c/D_k последнего оставалась большей.

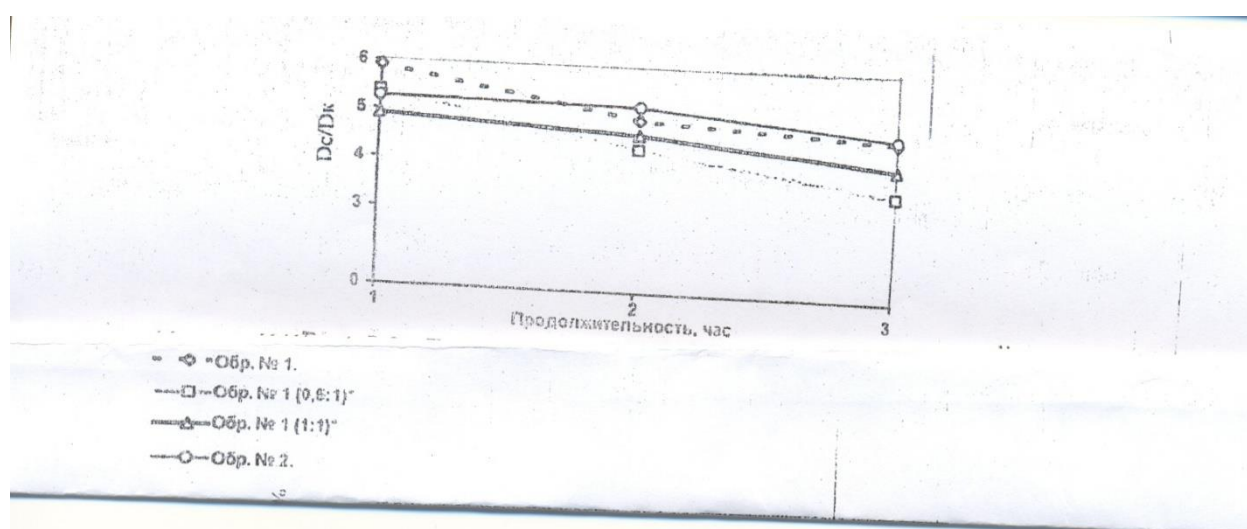


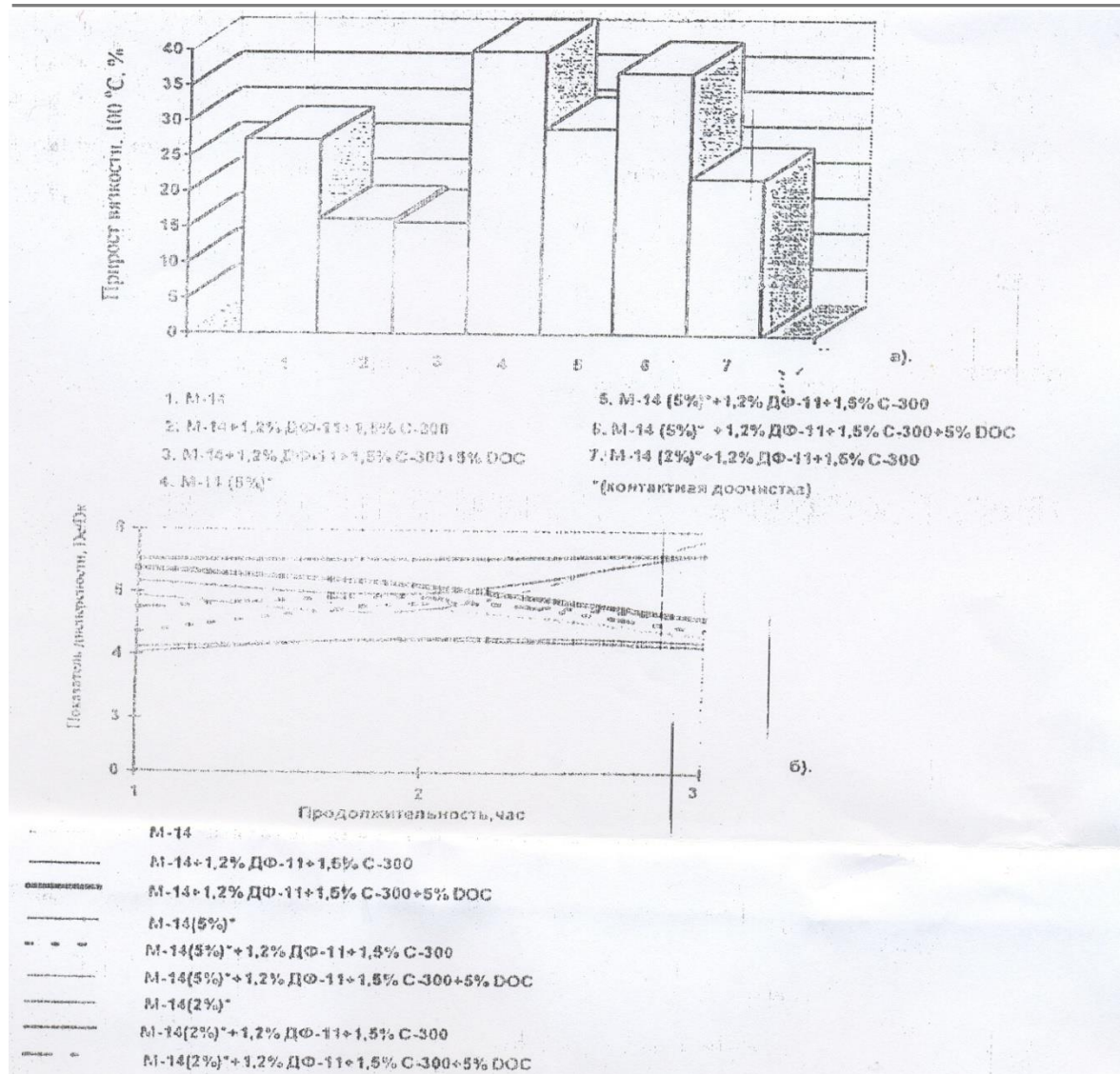
Рисунок 1. Влияние глубины очистки М-12 (образец 1) фурфуролом на его стойкость при термокаталитическом окислении

Не дала положительных результатов доочистка фурфуролом и на собственно процесс окисления (рисунок 5).

Можно еще раз констатировать, что даже при столь жестких условиях окисления, которые создаются в методе ВНИИ НП, просматривается роль природных ингибиторов окисления в масле и, по всей видимости, возможность их ассоциирования с ДОС.

О роли природных ингибиторов окисления при кинетике термохимического превращения компонентов масла судили по анализу более вязкого масла М-14, подвергнутого дополнительной адсорбционной очистке алюмосиликатом при его расходе 2% и 5%. Из рисунка 6 следует, что чем более очищено масло от смолистых соединений, тем выше прирост его вязкости при окислении. Коагуляция в системе увеличивается, однако характер ее изменения во времени практически одинаков.

Для масла с расходом сорбента 2% и 5% масс. величина D_c/D_k одинакова. Что же касается эффективности действия присадок, то для масла, очищенного 2% сорбента, она наибольшая, влияние ДОС в этом случае резко отрицательно. Более глубокое извлечение природных ингибиторов окисления (5%- расход сорбента) ухудшило восприимчивость к присадкам, но в присутствии ДОС, особенно в конце окисления, величина D_c/D_k значительно возросла (рисунок 6).



а) –прирост вязкости; б) –изменение показателя дисперсности масла

Рисунок 2 Влияние ДОС и глубины контактной доочистки масла М-14 на восприимчивость к присадкам при термокаталитическом окислении

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована возможность снижения интенсивности процессов окисления и термокаталитической деструкции нефтяных базовых масел с разным содержанием конденсированных ароматических углеводородов с помощью ДОС и присадок в условиях, моделирующих работу масел. Показано отрицательное влияние ДОС как компонента таких масел из-за образования при его окислении кислот, способствующих коагуляции продуктов термоллиза полиароматических углеводородов в среде масла. Для проявления эффективности соответствующего пакета присадок в таких маслах необходимо усиление его компонентом активно нейтрализующим продукты окисления масла.

В ходе проведенного исследования изучено влияние синтетических добавок на свойства моторных масел, в частности диоктилсебагината (ДОС). Установлено, что применение ДОС в маслах с различным содержанием ароматических углеводородов оказывает разное воздействие на их стабильность. Показано, что в маслах с высоким содержанием ароматических углеводородов окисление ДОС приводит к образованию кислот,

вызывающих коагуляцию продуктов разложения, что может снижать стабильность масла. В то же время в маслах с низким содержанием ароматических углеводородов ДОС способствует повышению растворимости присадок, улучшая их эффективность. Таким образом, использование ДОС требует тщательного подбора состава масла и дополнительных мер по нейтрализации продуктов окисления. Результаты исследования подтверждают значительное влияние синтетических компонентов на эксплуатационные характеристики моторных масел и их потенциальное применение для улучшения смазочных материалов.

Список литературы

1. Резников В.Д. Сб.трудов «Проблема совершенствования технологии производства и улучшения качества нефтяных масел», М., Нефть и газ. 2005,с 88-99.
2. Шор Г.И., Винокуров В.А., Голубева И.А.- Факультатив «Производство и применение присадок к нефтепродуктам в новых условиях хозяйствования» М., ГАНГ им. Губкина 2008, 43 с.
3. Казакова Л.П.- в Сб. Трудов «Проблема совершенствования технологии производства и улучшения качества нефтяных масел», М., Нефть и газ, 2008. С.35-48.
4. Лебедев В.С.- Влияние природных и синтетических ингибиторов на окисление нефтяных масел. М., 2009, МИНХ и ГП им. И.М.Губкина, 184 с.
5. Беренсон С.П. О лакообразующей способности масел в паровой фазе., ХТТМ., 2008, №10, с.38.
6. Казакова Л.П., Крейн С.Э.-Физико-химические основы производства нефтяных масел. М., Химия, 2010, с.319.
7. Казакова Л.П., Гундырев А.А., Сочевко Т.И., Литвин.-в Сб.Трудов «Проблемы совершенствования технологии производства и улучшения качества нефтяных масел». М., Нефть и газ. 2010. с.108-117.
8. Фукс Г.И.-ХТТМ., 2008, №3. с.2-6.
9. Бронштейн Л.А. и др.-ХТТМ., 2000, №2, с.24-26.
10. Папок К.К., Зусева Б.С. Влияние алкилполисилоксанов на моющий потенциал масел. ХТТМ., М., 2010, с.60.
11. Попова Н.Н., Ильина Н.А., Бэгар В.А. «Вопросы хемилюминесценции», 2010, Издание второе, №2, с.13-16.
12. Шор Г.И. и др.-ХТТМ.,2009, №3,с.33-34.
13. Фукс И.Г., Лашхи В.Л., Тар О.Э.- Улучшение качества товарных масел смешением нефтяных и синтетических компонентов. М., ЦНИИТЭнефтехим, 2011, с.70.
14. Денисов Е.Т., Мицкевич П.И., Агабеков В.Е., Минск «Наука и техника», 2010, с.334.
15. Великовский Д.С., Червова Л.В.-ХТТМ., 1959,№6,с.38-43.
16. Шебле Э.Ю., Фукс И.Г., Киташов Ю.Н. и др.-ХТТМ., 2010, с.17-20.
17. Мусаев З.З., Куковицкий М.М., Биккулов А.З. и др.- В книге «Нефтехимические продукты и процессы». Уфа. УНИ, 2011. Издание второе, с.171-181.
18. Варфоломеев Д.Ф., Мусаев З.З., Куковицкий М.М. и др.-ХТТМ., 2011, с.42-43.
19. Иванов В.И., Школьников В.М.,-ХТТМ., 2012, с.39-42.
20. Сюняев З.И.- Физико-химическая механика нефтяных дисперсных систем. М., МИНХ и ГП им. И.М.Губкина, 2012,с.91.
21. Фукс Г.И.- Коллоидная химия нефти и нефтепродуктов. М., Знание,2013,с.64.
22. Виноградов Г.В., Наметкин Н.С., Носов М.И.- Нефтехимия,2010, с.170-175.;
23. Шор Г.И., Кюречян С.К., Мещерин Е.М. и др.ХТТМ., 2013, с.13-16.
24. Антипова К.М., Шехтер Ю.Н., Фукс И.Г.- Защита металлов, 2013 с.214-217.
25. Ребров И.Ю., Борщевский С.Б., Кузнецов М.Б. и др.-ХТТМ.,2013, с.22-24.
26. Шехтер Ю.Н. и др.- Синтетические смазочные материалы. Сб. научн.трудов/ ВНИИ НП, М., ЦНИИТЭнефтехим,2014, с.82-88.

27. Лашхи В.Л., Шор Г.И., Боренко Л.Б. и др. ХТТМ., М., 2014, с.13.
28. Лашхи В.Л., Фукс И.Г.- Коллоидная стабильность композиции присадок в смазочных маслах. М., ЦНИИТЭнефтехим, 2014, с.73.
29. Фукс И.Г., Шибряев С.Б., Чесноков А.А., Туманян А.А. Роль кислородосодержащих ПАВ при хранении и эксплуатации промышленных масел с композициями присадок. ХТТМ., 2015, №3, с.20-22.
30. Главати О.Л., Суховерхов В.Д., Марченко А.И., Мысак Н.П. «Нефтепереработка и нефтехимия» вып. II. Сборник трудов, Новые смазочные материалы. М., 2015, с.45-47.
31. Лашхи В.Л., Фукс И.Г., Шор Г.И.-ХТТМ., 2015, №6, с.16-20.
32. Носов М.И. Теория смазочного действия и новые материалы. М., Наука, 2015. Второе издание, с.68-72.
33. Шор Г.И.- Механизм действия и экспресс-оценка качества масел с присадками. М., ЦНИИТЭнефтехимия, 2017, с.106.
34. Шор Г.И., Лихтеров С.Д., Ваванова Л.А.-ХТТМ., 1989, №12, с.16-21.
35. Лашхи В.Л.-ХТТМ., 2017, №6, с.17-1.
36. Заславский Ю.С., Заславский Р.Н.- Механизм действия противоизносных присадок к маслам. М. Химия, 2017, с.224.
37. Шехтер Ю.Н. и др.- Синтетические смазочные материалы. Сб.научн.трудов. ВНИИ НП-М., ЦНИИТЭнефтехим, 2018.

¹Ж.Е. Молдажанова, ²А.С.Қалауова

¹С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан,

²Х.Досмұхамедова атындағы Атырау мемлекеттік университеті, Атырау, Қазақстан

СИНТЕТИКАЛЫҚ КОМПОНЕНТТІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, МОТОР МАЙЛАРЫНЫҢ САПАСЫН ЖАҚСАРТУДЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Бұл мақалада синтетикалық компонентті пайдалана отырып, мотор майларының сапасын жақсартудың химиялық әдістері қарастырылады. Өртүрлі мотор майларының қасиеттеріне талдау жүргізіліп, олардың тиімділігіне әсер ететін негізгі факторлар анықталды. Зерттеу барысында синтетикалық қоспалардың майлардың тұтқырлық, термиялық тұрақтылық және тотығуға төзімділік сияқты сипаттамаларына әсер ету механизмдері зерттелді. Алынған нәтижелер синтетикалық компоненттерді енгізу арқылы мотор майларының пайдалану қасиеттерінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді, бұл зертханалық сынақтармен расталды. Бұл зерттеу жану қозғалтқыштарының жұмыс ресурсын арттыру және майлау материалдарының тиімділігін көтеру үшін практикалық маңызға ие.

Кілт сөздер: Мотор майлары, синтетикалық компоненттер, химиялық әдістер, тұтқырлық, термиялық тұрақтылық, тотығуға төзімділік, майлау материалдары.

¹ Zh. E.Moldazhanova, ²Al. S.Qalauova

¹ Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev, Atyrau, Kazakhstan, zhibek_03@bk.ru

² Atyrau State University named after. Kh. Dosmukhamedova, Atyrau, Kazakhstan,

RESEARCH ON CHEMICAL METHODS TO IMPROVE THE QUALITY OF MOTOR OILS USING A SYNTHETIC COMPONENT

Annotation. This article examines chemical methods for improving the quality of motor oils using a synthetic component. An analysis of various motor oils' properties was conducted, identifying key factors affecting their efficiency. The study explores the mechanisms by which synthetic additives influence oil characteristics such as viscosity, thermal stability, and oxidation resistance. The obtained results demonstrate a significant improvement in the operational properties of motor oils with the introduction of synthetic components, as confirmed by laboratory tests. This research is of practical importance for enhancing the efficiency of lubricants and extending the service life of internal combustion engines.

Keywords: motor oils, synthetic components, chemical methods, viscosity, thermal stability, oxidation resistance, lubricants.

МРНТИ 61.51.29

¹ Ж.Е. Молдажанова, ² А.С. Калауова¹ Атырауский университет нефти и газа им. С.Утебаева, Атырау, Казахстан, zhibek_03@bk.ru² Атырауский государственный университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДЯЩЕГО МОТОРНОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Анотация. В связи с растущей важностью экологических проблем в современном обществе мировая экономика была вынуждена еще больше переориентироваться на экологически чистые технологии с низким уровнем загрязнения окружающей среды, основанные на переработке отходов. Кроме того, эти технологии не только обеспечивают экономическую ценность продукции в конце ее жизненного цикла, но и позволяют решить проблему неадекватного хранения отходов на свалках. В то же время, учитывая тенденции к увеличению количества транспортных средств, спрос на смазочные материалы также растет, что влечет за собой создание все более крупного количества отработанного моторного масла. Поскольку оно относится к категории опасных отходов, его утилизация требует соблюдения принципов устойчивого развития, и в качестве предпочтительного метода переработки рекомендуется вторичная переработка, поскольку оно по-прежнему имеет высокую экономическую ценность. Цель этой статьи - представить некоторые из технологий, которые были эффективно внедрены в глобальном масштабе для переработки отработанного моторного масла, а также ряд преимуществ, которые дают эти процессы, как с экологической, так и с экономической точки зрения.

Ключевые слова: Моторное масло, зеленые технологии, утилизация отходов, экологическая безопасность, регенерация масла.

1. Введение

Масла для двигателей, независимо от того, получены ли они из нефтепродуктов или синтезированы, применяются в широком спектре задач, включая смазку, передачу тепла и энергии, защиту деталей двигателя, очистку компонентов и так далее. Эти масла загрязняются и разлагаются в зависимости от условий эксплуатации и рабочей среды, что требует их утилизации, в результате чего образуются отработанные масла. Эти отходы классифицируются как опасные и попадают в подкатегории Y8 и Y9 Конвенции Базеля [1].

Отработанное моторное масло представляет собой угрозу как для окружающей среды, так и для здоровья человека из-за высокого уровня опасных загрязнителей. Из них наиболее известны:

- * Полициклические ароматические углеводороды (бензантрацен, бензопирен, нафталин и другие): появляются в результате неполного сгорания топлива и представляют собой высокую канцерогенную угрозу [2];

- * Полихлорированные бифенилы: органические соединения, которые ранее использовались как добавки для смазочных материалов. Они особенно опасны из-за их канцерогенной опасности и высокой токсичности [3];

- * Тяжелые металлы (Fe, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn): результат износа металлических компонентов двигателя [4].

Основное внимание в данной статье уделено представлению всестороннего обзора современных методов переработки отработанных моторных масел, применяемых в мире, включая описание их технологических процессов и предприятий, которые их используют. Также будет обсуждаться польза от применения этих технологий как с экологической, так и с экономической точки зрения.

2. Обзор литературы

Увеличение внимания к переработке использованных моторных масел в основном связано с экологическими проблемами, возникшими в связи с ростом уровней загрязнения и необходимостью сохранения природных ресурсов. Также недавние технологические разработки и акцент на восстановление отходов привели к появлению технологий, которые облегчают процессы переработки. В некоторых странах с высоким уровнем технологических инноваций до 50% использованных моторных масел поступают из переработанных масел. Однако, например, в Европейском Союзе только 13% необходимого на рынке объема базовых масел производится из использованного моторного масла, прошедшего процесс очистки [5].

Самый старый способ обработки использованного моторного масла, который одновременно давал лучшие результаты до разработки современных технологий переработки [18], — это обработка кислотами и глиной. Процесс основывается на обработке использованного масла различными кислотами (серной, уксусной, муравьиной) для удаления загрязнителей, а затем используется различная глина (например, бентонит) для нейтрализации полученного продукта [6]. Также для нейтрализации может использоваться активированный уголь [7]. Однако в настоящее время этот процесс не поддерживается из-за низкого уровня устойчивости (образующийся кислотный осадок считается опасным отходом и не имеет экологического потенциала для восстановления).

Вакуумная дистилляция и обработка глиной — это другой процесс, который позволяет удалять примеси из использованного моторного масла, преобразуя его в базовое масло. На первом этапе, атмосферной дистилляции, происходит разделение воды и легких соединений. Затем применяется вакуумная дистилляция (колонна TDA — термическое удаление асфальтовых веществ) и фракционирование: на этом этапе органо-металлические соединения и асфальтовые минералы отделяются, и три фракции использованного масла разделяются. Далее следует ТСТ (термическая обработка глиной): на этом этапе улучшаются характеристики трех фракций отработанного масла, разделенных на предыдущем этапе. Последним шагом является фильтрация под давлением [6].

Вакуумная дистилляция и гидрогенизация — это технология, в которой глина была заменена гидрогенизацией по соображениям эффективности и устойчивости. Масло обезвоживается при атмосферном давлении для удаления легких углеводородов и воды. Затем применяется вакуумная дистилляция при температуре 250 °С, с использованием обычной вакуумной трубки или испарителя с тонкой пленкой для разделения дизельного топлива. Далее следуют такие материалы, как остаточные вещества, тяжелые металлы, продукты разрушения добавок и другие, после чего происходит капитализация асфальтовых продуктов. Последним шагом является гидрогенизация дистиллированного продукта, чтобы удалить токсичные азотистые и сернистые соединения, а также другие оксиды, присутствующие в химическом составе использованного масла. Отработанный катализатор, полученный в процессе гидрогенизации, утилизируется за пределами предприятия. Также на этом этапе удаляются запахи, вызванные окислением некоторых химических элементов, и улучшается цвет конечного продукта [8]. Во время процесса вакуумной обработки гидрогенизированное масло затем разделяется на фракции, используемые для двигателей, промышленных или гидравлических масел. Остаток, полученный в процессе вакуумной дистилляции, используется для производства битума и других асфальтовых продуктов [9].

Один из методов, который включает использование химических растворителей для переработки использованного моторного масла, — это экстракция растворителем. Этот процесс заключается в растворении ароматических компонентов, которые влияют на свойства масел, при этом сохраняются желаемые компоненты, такие как насыщенные углеводороды [10]. Перед обработкой использованное масло фильтруется для удаления твердых частиц. Затем масло обрабатывается растворителем, смешиваясь с определенным количеством масла и растворителя в течение одного часа, после чего раствор оставляется на 24 часа для отстаивания. Масло, отделенное от осадка, перекачивается в испаритель для облегчения разделения растворителей от переработанного масла. Далее масло смешивается с активированным алюминием для удаления темного цвета и специфических запахов [11]. К

растворителям, которые могут быть использованы для обработки отработанных масел, относятся 1-бутанол, метанол, этанол, пропан, толуол, метилэтилкетон, ацетон и другие [12].

Разработано и применено множество методов и технологий для переработки использованных моторных масел, которые используются по-разному в разных частях мира. Эти технологии зависят в основном от природы базового масла (минерального или синтетического), а также от природы и количества загрязнителей.

3. Методы и технологии переработки использованного моторного масла, применяемые в мировом масштабе, с использованием зеленых технологий

Переработка использованного моторного масла приносит не только экологическую пользу, но и является эффективным методом снижения загрязнения окружающей среды с помощью зеленых технологий. Этот процесс также приносит значительную экономическую и финансовую выгоду компаниям, которые разработали или внедрили такие технологии и процессы переработки отходов. По этой причине на предприятиях по всему миру применяются различные методы переработки использованного моторного масла с использованием зеленых технологий, которые уже принадлежат известным компаниям или находятся на стадии разработки.

В следующем разделе будут представлены три примера таких зеленых технологий, которые в настоящее время применяются в мировом масштабе.

3.1. Технология Revivoil – Регенерация Itelyum (Viscolube) с использованием зеленых технологий

Отфильтрованное использованное масло из резервуаров для хранения предварительно нагревается и смешивается с добавками для уменьшения загрязнения, что является примером применения зеленых технологий в переработке масла. Смесь нагревается до 140°C перед подачей в колонну предварительной промывки, что помогает минимизировать выбросы и эффективно разделять компоненты, не нанося вреда окружающей среде. Далее смесь воды и легких углеводородов конденсируется с разделением компонентов после удаления из верхней части разделительной колонны.

Обезвоженное масло из установки предварительной промывки направляется в установку термической очистки от асфальта (TDA), где оно отделяется от соединений, которые могут загрязнять промежуточный резервуар. Масло нагревается до 350°C и фракционируется в ректификационной колонне TDA под вакуумом (15 Торр), что способствует эффективному использованию энергии и снижению выбросов CO₂, являясь экологически безопасным методом переработки. Дизельная фракция отделяется от верхней части колонны, а фракция асфальта — от нижней. Измельченные отходы отделяются и охлаждаются в ректификационной колонне.

Обработка масла после TDA завершается водородной обработкой катализатора, что позволяет удалить металлы и металлоиды, органические кислоты, серосодержащие и азотсодержащие соединения, улучшая цвет и термическую стабильность масла. Этот процесс, благодаря использованию водородной обработки и высокотехнологичной переработки, значительно уменьшает экологический след и улучшает устойчивость продукта [14].

Данная технология используется на заводах Viscolube по всей Европе. Компания Viscolube, основанная в 1963 году, применяет зеленые технологии в производстве базового смазочного масла, характеристики которого, как утверждается, превосходят характеристики базовых масел первого отжима, что способствует более рациональному использованию ресурсов. Компания Viscolube представлена в Италии двумя производственными мощностями и способна перерабатывать более 190 000 тонн отработанного масла в год, производя более 110 000 тонн повторно очищенного базового масла и 20 000 тонн битума в год, тем самым способствуя устойчивому использованию ресурсов и снижению отходов [15].

3.2. Технология Safety Kleen – Clean Harbors Inc. с использованием зеленых технологий

Основными этапами процесса производства Safety Kleen, являются выпаривание

тонкой пленки и гидрирование, что является примером применения зеленых технологий для переработки отработанных масел. После атмосферной дегидратации происходит удаление легких остатков, что не только улучшает термическую стабильность, цвет и запах, но и одновременно снижает содержание полиядерных ароматических углеводородов и удаляет галогениды с высокой температурой кипения и полярные соединения, минимизируя вредное воздействие на окружающую среду.

Отработанные масла повторно перегоняются под более высоким вакуумом, а исходное сырье/фракции смазочного масла утилизируются с использованием зеленых технологий, направленных на рациональное использование ресурсов и снижение выбросов загрязняющих веществ. Остатки, образующиеся в качестве побочного продукта процесса, могут быть использованы в промышленности, например, в качестве наполнителя для асфальта, что способствует эффективному использованию отходов и сокращению загрязнения. Отходы вакуумной дистилляции также используются в качестве наполнителя для асфальта или в качестве топлива в доменных печах с контролем загрязнения окружающей среды, что снижает негативное воздействие на природу.

Отработанный катализатор на этапе гидроочистки может быть регенерирован, что способствует более устойчивому и экологически чистому процессу переработки. Оставшиеся масла обрабатываются водородом для удаления серы, азота, хлора, тяжелых металлов и других примесей, что улучшает качество масла и минимизирует вредные выбросы. На этом этапе также устраняются проблемы с запахом, цветом и коррозионными свойствами, что делает продукт более безопасным для дальнейшего использования [9].

3.3. Технология Lwart – Lwart Lubrificantes с использованием зеленых технологий

Процесс переработки отработанного моторного масла, применяемый компанией Lwart Lubrificantes, включает в себя методы термической деасфальтизации (TDA) и экстракцию растворителем, что соответствует принципам зеленых технологий для устойчивой переработки и минимизации воздействия на окружающую среду. Отработанное моторное масло сначала подвергается атмосферному обезвоживанию, что позволяет эффективно удалить избыточное количество воды, снижая энергозатраты и экологический след процесса. Затем применяется мгновенная дистилляция, при которой удаляются легкие углеводороды, что способствует улучшению качества масла при минимальном воздействии на окружающую среду.

В процессе термической деасфальтизации удаляются тяжелые загрязнители, такие как полициклические ароматические углеводороды и тяжелые металлы, что способствует уменьшению токсичных веществ в переработанном продукте и повышает его экологическую безопасность. Обработка растворителем добавляет дополнительную очистку и нейтрализацию, улучшая свойства масла и снижая загрязнение, что полностью соответствует принципам зеленых технологий и устойчивого производства [21].

4. Заключение

Из-за высокого содержания загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, кислоты, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), которые наносят серьезный вред окружающей среде, использованное моторное масло классифицируется как опасные отходы в контексте зеленых технологий. Неправильное хранение или утилизация может привести к загрязнению почвы и грунтовых вод, повышенному риску гибели животных и деградации экосистем. Использованное моторное масло также представляет опасность для здоровья человека, поскольку некоторые загрязняющие вещества (например, ПАУ и ПХБ) являются канцерогенными. Также сообщалось о других вредных воздействиях на здоровье, таких как иммунологические, репродуктивные, фетотоксические и генотоксические эффекты. Пары масла токсичны и оказывают вредное воздействие на дыхательную и пищеварительную системы [23]. Таким образом, для этих отходов требуется специальная стратегия управления с использованием зеленых технологий. С экологической точки зрения и по экономическим причинам, утилизация использованного моторного масла с применением зеленых технологий является

наилучшей опцией его переработки.

В статье представлены примеры семи технологий переработки использованного моторного масла, которые применяются в разных частях мира. С экономической и экологической точек зрения они являются примером ответственного обращения с отходами, которое предотвращает попадание масла в окружающую среду, способствует защите экосистем и развитию устойчивого общества. Применяемые технологии зеленых технологий (а также другие методы переработки использованного моторного масла) находятся в процессе постоянного совершенствования, что позволяет увеличивать объем переработанного масла и повышать эффективность процесса переработки.

Список литературы

1. Региональный центр по чистому производству (RAC/CP) Средиземноморский план действий, 2000. Возможности переработки и повторного использования использованных масел, Барселона, Испания. Wolak, A.; Zając G.; Gołębiowski W.;
2. Ахамад М. Т., Чандрасекар Б. П., Мохан П. Н., Джоши К. С., Шри Т. Д. Р., 2015. Переработка и анализ отработанных моторных масел, Международный журнал научных и инженерных исследований, 6(11), стр. 711-715.
3. Программа ООН по окружающей среде, Отдел технологий, промышленности и экономики, Международный центр экологических технологий, 2012. Сборник технологий переработки и уничтожения отходов масел, Осака, Япония.
4. <http://www.machinerylubrication.com/Read/1327/viscosity-index-improvers>
5. Осман Д. И., Атия С. И., Таман А. Р., 2018. Переработка использованного моторного масла с различными растворителями, Египетский журнал нефти, 27, стр. 221-225.
6. “Green Technology: An Overview of Its Role in Sustainable Development” – Авторы: S. R. S. Bhatia, H. K. Saravanakumar, 2019. Журнал: Sustainable Environmental Research.
7. “Emerging Green Technologies for Sustainable Development” – Авторы: D. L. Pless, M. S. MacDonald, 2017. Журнал: Journal of Environmental Management.
8. Mohammed, A.H.A.K.; Shehab, Rubai, A. K.; “Улучшение индекса вязкости фракции смазочного масла (SAE – 30)”; Petroleum Science and Technology; 9 (2008) 51-57.
9. “Waste to Wealth: The Circular Economy Advantage” – Автор: R. G. McKibben, 2021. Журнал: Renewable and Sustainable Energy Reviews.
10. Kraguljac, K.; Vidovic, E.; Jerbic I.S.; Jukic, A.; “Хроматографическое исследование устойчивости к сдвигу полимера поли(стирол-со-алкилметакрилат) как модификатора вязкости для смазочных масел”; Petroleum Science and Technology; 33 (2015) 374–380.
11. “Heavy Metals in Used Oils: Identification, Risks, and Remediation” – Авторы: L. M. Basso, F. H. Kormar, 2020. Журнал: Ecotoxicology and Environmental Safety.
12. Nassar, A.M.; “Поведение полимеров как улучшителей индекса вязкости”; Polymer Science and Technology; 26 (2008).
13. Nassar, A.M.; “Синтез и оценка улучшителей индекса вязкости и депрессоров точки застывания для смазочных масел”; Petroleum Science and Technology; 26 (2008).
14. “Environmental Impact of Used Motor Oil Disposal: Risks and Sustainable Solutions” – Авторы: P. J. Smith, M. M. Anderson, 2015. Журнал: Journal of Environmental Protection.
15. Nassar, A.M.; Ahmed, N.S.; “Изучение влияния некоторых полимерных добавок как улучшителей индекса вязкости, депрессоров точки застывания и дисперсанты для смазочных масел”; Petroleum Science and Technology; 28 (2010).
16. Covitch, M.J.; Trickett, K.J.; “Как полимеры ведут себя как улучшители индекса вязкости в смазочных маслах”; Petroleum Science and Technology; 5 (2015).
17. Fan, J.; Muller, M.; Stohr, T.; Spikes, H.A.; “Снижение трения с помощью функционализированных улучшителей индекса вязкости”; Springer, 28 (2007).
18. “Sustainable Recycling of Used Motor Oil: A Green Technology Approach” – Авторы: G. M. Y. Silva, R. D. Lima, 2020. Журнал: Science of the Total Environment.

19. Wang, J.Ye.Z.; Zhu, S.; “Топологически инженерные гиперразветвленные высокомолекулярные полиэтилены как улучшители индекса вязкости смазочных материалов с высокой устойчивостью к сдвигу”; Industrial and Engineering Chemistry; 46 (2007) 1174-1178.
20. “Technological Advances in Waste Oil Recycling: Challenges and Opportunities” – Авторы: F. J. Lozano, M. S. Franco, 2018. Журнал: Environmental Engineering Science.
21. Nassar, A.M.; Ahmed, N.S.; Kamal, R.S.; Abdel Azim, A.A.A.; Nagdy, E.I.; “Подготовка и оценка акрилатных полимеров как улучшителей индекса вязкости для смазочных масел”; Petroleum Science and Technology; 23 (2005).
22. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1719>
23. “Advancements in Green Chemistry for the Recycling of Industrial Waste Oils” – Авторы: A. F. Rodrigues, S. L. Pereira, 2022. Журнал: Journal of Green Chemistry and Technology.

¹Ж.Е. Молдажанова, ²А.С.Қалауова

¹С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан,

²Х.Досмұхамедова атындағы Атырау мемлекеттік университеті, Атырау, Қазақстан

ЖАСЫЛ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚОЛДАНЫЛҒАН МОТОР МАЙЫН ҚАЙТА ӨНДЕУ

Аннотация. Қазіргі қоғамдағы экологиялық мәселелердің маңыздылығының артуына байланысты әлемдік экономика қоршаған ортаны аз ластайтын, қалдықтарды қайта өндеуге негізделген экологиялық таза технологияларға көбірек бейімделуге мәжбүр болды. Бұл технологиялар өнімнің өмірлік циклының соңында экономикалық құндылықты қамтамасыз етіп қана қоймай, сонымен қатар қалдықтарды полигондарда дұрыс сақтамау мәселесін шешуге мүмкіндік береді. Сонымен бірге, көлік құралдарының санының өсу үрдісіне байланысты майлау материалдарына деген сұраныс артып, нәтижесінде пайдаланылған мотор майының көлемі ұлғаяуда. Пайдаланылған мотор майы қауіпті қалдықтарға жататындықтан, оны қайта өңдеу кезінде тұрақты даму қағидаттарын сақтау қажет. Осыған байланысты, екінші реттік қайта өңдеу ең тиімді әдіс ретінде қарастырылады, себебі ол экономикалық тұрғыдан да тиімді.

Осы мақалада пайдаланылған мотор майын қайта өндеуде жаһандық деңгейде сәтті енгізілген кейбір технологиялар мен олардың экологиялық және экономикалық артықшылықтары ұсынылады.

Кілт сөздер: Мотор майы, жасыл технологиялар, қалдықтарды утилизациялау, экологиялық қауіпсіздік, майды регенерациялау.

¹Zh. E. Moldazhanova, ²A.S. Qalauova

¹ Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev, Atyrau, Kazakhstan,

² Atyrau State University named after. Kh. Dosmukhamedova, Atyrau, Kazakhstan

RECYCLING OF USED ENGINE OIL USING GREEN TECHNOLOGY APPROACH

Annotation. Due to the growing importance of environmental issues in modern society, the global economy has been compelled to refocus further towards eco-friendly, low-pollution technologies based on waste recycling. Furthermore, these technologies not only offer economic value to products at the end of their life cycle, but they have the ability to address the issue of inadequate waste storage in landfills. At the same time, given the growing trends in the number of vehicles, the demand for lubricants is also increasing, which involves the generation of larger and larger amounts of used engine oil. Being included in the category of hazardous waste, it requires management based on sustainable principles, and recycling is recommended as a preferred method of treatment, as it still has a high economic value. This article aims to present some of the technologies that have been effectively implemented on a global scale for the recycling of used engine oil, as well as a series of advantages that these processes present, both ecologically and from an economic perspective.

Keywords: Motor oil, Green technologies, Waste disposal, Environmental safety, Oil regeneration.

ГЛАВА 3. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ, ТРАНСПОРТА И СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 621.315.611

МРНТИ 44.33.01

Н.Г.Джумамухамбетов¹, Е.Т.Ербаев², Д.А. Джапарова²

¹НАО Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина,
Астана, Казахстан, E-mail: nasikhan_d@mail.ru

²НАО Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск,
Казахстан, E-mail: erbol.erbaev@mail.ru, E-mail: dinara_jra@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОЕКТИРУЕМОЙ В КАЗАХСТАНЕ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Аннотация. В данной работе рассмотрены аспекты радиационной безопасности на атомной электростанции (АЭС) средней мощности, с реакторной установкой ВБЭР-300. Этот тип реактора предназначен для производства электроэнергии и может быть использован как в составе крупных энергоблоков, так и в рамках малых АЭС, обеспечивающих энергетическую независимость отдельных регионов. Одним из важнейших вопросов, который вызывает беспокойство у населения Казахстана при строительстве АЭС, является радиационная безопасность. Главной целью радиационной безопасности является защита здоровья населения и персонала от вредного воздействия ионизирующего излучения, что достигается соблюдением международных стандартов и норм в этой области.

Ключевые слова: Атомные электрические станции, реактор, уран, радиация, радиационная безопасность, ионизирующее излучение, мощность.

Введение.

6 октября 2024 года в Казахстане был проведен республиканский референдум, на котором большинство граждан поддержали идею строительства АЭС. 14 марта 2025 года Глава государства Токаев К.К. выступая на заседании Национального курултая страны сказал о возможном строительстве трех АЭС, а также создано Агенство по атомной энергетике при Президенте РК. Строительство первой АЭС мощностью от 2 до 2,8 ГВт запланирован в Жамбылском районе Алматинской области вблизи села Улькен, а также ведутся переговоры с потенциальными поставщиками ядерной технологии, создана межведомственная комиссия, которая рассматривает предложения всех вендоров на конкурентной основе. Место строительства и мощности остальных АЭС в настоящее время изучаются [1,2].

Реакторы большой мощности (электрической мощностью 1000 МВт и более), позволяющие получить меньшую стоимость 1 кВт установленной мощности и, соответственно, 1 кВт·ч вырабатываемой энергии, требуют больших капитальных затрат и длительные сроки строительства 6-8 лет. Это сильно повышает риск возврата больших капитальных вложений. В связи с этим в последнее время в мире проявляется интерес к реакторам малой и средней мощности.

В последнее время дискусируется вопрос о выборе проекта реактора для АЭС средней мощности 300 МВт в качестве базового проекта для строительства АЭС в районах децентрализованного энергоснабжения Казахстана. В любом случае проект реактора, принимаемый в качестве базового для строительства в Казахстане должен отвечать самым высоким международным требованиям XXI века в части ядерной, радиационной и экологической безопасности, надёжности и экономической конкурентоспособности.

Атомная энергетика играет ключевую роль в обеспечении мира электроэнергией.

Несмотря на свои экологические и экономические преимущества, атомные электростанции (АЭС) требуют особого внимания к вопросам радиационной безопасности. Радиационная безопасность на АЭС — это комплекс мер, направленных на защиту персонала, населения и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения [3-5].

Материалы и методы.

АЭС – предприятия, входящие в состав атомного энергетического цикла, включающего в себя широкий круг предприятий по добыче и переработке урановой руды, производству естественного обогащенного урана и т.д.

Основными структурными подразделениями по атомной энергетике Казахстана – Комитетом атомного и энергетического надзора и контроля Министерства энергетики РК, ТОО «Казахстанские атомные электрические станции», РГП на ПХВ «Национальный ядерный центр РК», РГП на ПХВ «Институт ядерной физики», а также органами Госсанэпиднадзора совместно со службами радиационной безопасности будут проведены широкие исследования на всех этапах ядерного цикла. С этой точки зрения специфика АЭС состоит в потенциальной радиационной опасности, которую несет с собой эксплуатация ядерного реактора.

Основными источниками радиации на АЭС являются:

- ядерное топливо (до, во время и после использования);
- продукты деления урана и плутония;
- активированные материалы (элементы, ставшие радиоактивными в процессе эксплуатации);
- радиоактивные отходы.

Система радиационной безопасности строится на нескольких международно признанных принципах [6,7]:

1. **Оправданность** — любое действие, связанное с радиацией, должно приносить больше пользы, чем вреда.
2. **Оптимизация (принцип ALARA)** — уровни облучения должны быть как можно ниже, насколько это разумно возможно.
3. **Нормирование** — существуют строгие предельно допустимые дозы облучения для персонала и населения.

Для обеспечения радиационной безопасности на АЭС применяются следующие меры:

- **Физическая защита:** использование биологических экранов, бетонных и свинцовых оболочек.
- **Контроль утечек:** системы герметизации реактора и вентиляции с фильтрацией.
- **Автоматизированный радиационный контроль:** постоянный мониторинг уровней радиации в помещениях и на территории станции.
- **Системы аварийной защиты:** автоматическое снижение мощности реактора, системы охлаждения и изоляции.

На каждой АЭС действует служба радиационной безопасности, которая отвечает за:

- разработку инструкций и регламентов;
- обучение персонала;
- регулярные проверки и дозиметрический контроль;
- планирование и проведение аварийных учений.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) разрабатывает стандарты радиационной безопасности и проводит инспекции на АЭС разных стран. Соблюдение международных норм позволяет поддерживать высокий уровень безопасности и предотвращать радиационные аварии [3,8].

Основными документами, на которые опирается обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации АЭС, являются [9,10]:

- "Правила технической эксплуатации АЭС",
- "Санитарные правила проектирования АЭС",
- "Общие положения обеспечения безопасности АЭС при проектировании,

строительстве и эксплуатации".

Радиационная безопасность обеспечивается, прежде всего:

- за счет качественного выполнения устройств нормальной эксплуатации (активной зоны, органов управления радиоактивностью, первичного и вторичного контуров теплоносителя, системы контроля и автоматики, системы электроснабжения потребителей надежного питания и др.);
- обеспечения системы профилактических противоаварийных мер;
- обеспечение АЭС необходимыми защитными и локализирующими системами;
- выбором необходимой санитарно-защитной зоны;
- разработки и осуществления внешнего противоаварийного плана.

Наряду с этим проектом, должна быть подтверждена безопасность АЭС при любом принципиально возможном нарушении устройств нормальной эксплуатации за счет действия защитных систем (системы аварийного останова реактора или включения оборудования, аварийного охлаждения активной зоны, предохранительные сбросные устройства и т.д.) и локализирующих систем (герметичные помещения первого устройства и т.д.) и реализации противоаварийного плана на территории промышленной площадки и санитарно-защитной зоны.

Основной организационно-технический принцип обеспечения радиационной безопасности в процессе эксплуатации АЭС – строгое соблюдение режима зон, устанавливаемых в соответствии с "Санитарными правилами проектирования АЭС", а также строгий контроль за пересечением людьми установленных границ зон. Особому контролю подлежат выбросы радиоактивности в окружающую среду.

К числу эксплуатационных мероприятий по защите от опасности облучения обслуживающего персонала относятся система допусков работы в зоне строгого режима, применение сигнализации в зоне строгого режима, применение сигнализации об аварийных уровнях излучения и предельно-допустимых концентрациях, применение защитных средств и приспособлений, дистанционное выполнение работ, ограничение времени пребывания в зоне повышенной радиации и т.д.

На АЭС в качестве топлива применяется радиоактивное вещество, в связи с этим большой круг работающих людей может подвергнуться облучению. Согласно действующим "Нормам радиационной безопасности", установлены разовые пределы для персонала (категории А) и лиц, которые не работают непосредственно с источниками излучений, но по условиям работы или проживания, могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ.

Результаты и их обсуждение

Для оценки радиационной опасности используется понятие эквивалентной дозы $D_{эк}$ – величины хронического облучения произвольного состава (учитывается различный вид излучения):

$$D_{эк} = D \cdot K,$$

где K - безразмерный коэффициент, определяющий биологические последствия (весовой коэффициент); D - поглощенная доза в биологической ткани (Дж/кг). Эквивалентными единицами являются бэр и Зиверт (1 бэр = 0,01 Зв = 0,01 Дж/кг).

В таблицах 1.1. и 1.2. указаны дозовые пределы внешнего и внутреннего облучения за год.

Таблица 1.1. Допустимые пределы эквивалентной дозы за год

Группа критических органов	ПДД для персонала категории А, бэр	ПДД для ограниченной части населения категории В, бэр
Тело, красный костный мозг	2	0.1
Мышцы, щитовидная железа, печень, почки, жировая ткань	15	1.5
Кожный покров, костная ткань, стопы	30	3.0

Таблица 1.2. Пределы эффективных доз облучения при нормальной эксплуатации

Нормируемые величины для персонала и населения	Значение
1. Предел индивидуальной эффективной дозы в среднем за 5 лет для персонала	20 мЗв/год
2. Эксплуатационный предел индивидуальной эффективной дозы контролируемого персонала	5 мЗв/год
3. Эксплуатационный предел средней индивидуальной эффективной дозы контролируемого персонала	2 мЗв/год
4. Индивидуальная эффективная доза для проведения нештатных работ и замены крупных единиц оборудования, особо радиационноопасных работ	10 мЗв
5. Эксплуатационный предел коллективной эффективной дозы на работы по разборке-сборке реактора, перегрузке топлива и работе АЭС на мощности средний за весь срок эксплуатации	0,5 чел.Зв/год
6. Эксплуатационный предел коллективной эффективной дозы при проведении нештатных работ и замене крупных единиц оборудования	5 чел.Зв/год
7. Эксплуатационный предел дозы облучения населения	10 мкЗв/год
8. Дозовая квота облучения населения на случаи нарушения нормальной эксплуатации	100 мкЗв/год

В таблице 1.1 представлены годовые допустимые пределы эквивалентной дозы (ПДД) для различных критических органов и двух категорий лиц: персонала категории А (профессионально контактирующего с источниками излучения) и населения категории В (ограниченно подвергающегося радиационному воздействию).

Анализ данных таблицы показывает, что допустимая доза для населения в 20 раз ниже, чем для профессионального персонала, что отражает принцип дифференцированного радиационного контроля в зависимости от уровня риска. Например, допустимая доза для красного костного мозга составляет 2 бэр/год для персонала и лишь 0,1 бэр/год для населения, что связано с высокой чувствительностью этого органа к ионизирующему излучению и риском развития лейкоза.

В таблице 1.2 представлены эффективные дозовые ограничения при нормальной эксплуатации объектов атомной энергетики. Здесь учитываются как индивидуальные, так и коллективные дозы, в том числе при нештатных ситуациях и при проведении технически сложных или радиационно опасных работ.

Особо следует отметить, что при проведении нештатных работ и замене крупных единиц оборудования допускается разовое облучение до 10 мЗв, что в 2 раза превышает обычный эксплуатационный предел (5 мЗв/год). Однако такие случаи регламентированы строгими мерами защиты и организационно-техническими процедурами.

Коллективная доза, выражаемая в чел·Зв, используется для оценки радиационного воздействия на группу работников в течение определённого этапа эксплуатации. Например, установлен предел 0,5 чел·Зв/год при обычной работе АЭС на мощности, что свидетельствует о высоком уровне радиационной безопасности и соответствии международным стандартам (IAEA, ICRP).

Для населения годовой предел составляет 10 мкЗв, что в 1000 раз меньше профессионального уровня, а в условиях возможного нарушения нормальной эксплуатации дозовая квота увеличивается до 100 мкЗв, что всё ещё остаётся в пределах безопасного уровня, рекомендованного международными нормами.

Таким образом, представленные данные подтверждают, что существующая система радиационной безопасности обеспечивает адекватную защиту как персонала, так и населения.

Полученные значения доз соответствуют нормативам и указывают на эффективное функционирование системы радиационного контроля в атомной энергетике.

Для оценки полноты и достаточности национальных требований по радиационной безопасности целесообразно провести сравнение с международными стандартами, в частности рекомендациями **Международной комиссии по радиологической защите (ICRP)** и **Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ)** [11-14].

Категория	Россия/Казахстан	ICRP/МАГАТЭ
Предел индивидуальной эффективной дозы для персонала	20 мЗв/год (в среднем за 5 лет)	20 мЗв/год (в среднем за 5 лет)
Предел в экстренной ситуации	до 50 мЗв/год	до 50 мЗв/год
Предел для населения	1 мЗв/год	1 мЗв/год
Разрешённая доза при нештатных/аварийных работах	до 10 мЗв за эпизод	до 20–50 мЗв, в зависимости от ситуации

Как видно, национальные нормативы в полной мере соответствуют рекомендациям международных организаций. Это говорит о приверженности к глобально признанным стандартам и высоком уровне обеспечения радиационной безопасности.

С развитием **нового поколения ядерных реакторов** (включая малые модульные реакторы – SMR) и применением **цифровых технологий управления**, ожидается **снижение индивидуальных и коллективных дозовых нагрузок** за счёт:

- Повышения автоматизации процессов и дистанционного управления;
- Использования новых конструкционных материалов с меньшим уровнем активации;
- Повышения уровня подготовки персонала и более точного дозиметрического контроля;
- Внедрения дополнительных барьеров защиты и новых стратегий управления авариями.

Кроме того, развитие **роботизированных систем** и технологий **разборки отслуживших блоков АЭС** позволит существенно сократить дозовые нагрузки при проведении сложных технических операций.

На основании текущих данных и международного опыта можно предположить, что к 2035 году средняя индивидуальная доза персонала на новых АЭС снизится до **1–2 мЗв/год**, а коллективная доза – до **менее 0,2 чел·Зв/год**, что будет способствовать дальнейшему укреплению общественного доверия к атомной энергетике.

Выводы

Строительство и эксплуатация АЭС средней мощности, таких как ВБЭР-300, требует внимательного подхода к радиационной безопасности. Соблюдение международных стандартов, надёжная защита персонала и населения от радиационных рисков, а также эффективное управление выбросами радиоактивных веществ являются ключевыми аспектами для обеспечения безопасности. Внедрение современных технологий и постоянный контроль за эксплуатацией АЭС позволят обеспечить высокую степень безопасности и минимизировать риски для окружающей среды и здоровья населения Казахстана.

Список литературы

1. Референдум по АЭС в Казахстане. <https://www.aa.com.tr>. Дата обращения: 6 октября 2024г.
2. Агентство по атомной энергетике в Казахстане. <https://www.zakon.kz>. Дата

обращения: 18 марта 2025г.

3.Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). **Основы радиационной защиты и безопасность источников ионизирующего излучения.** — Вена: IAEA, 2018.

4.Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». **Радиационная безопасность на объектах атомной энергетики.** — <https://www.rosatom.ru>

5.Федоров, А. Н. **Радиационная безопасность: Учебное пособие.** — М.: Энергоатомиздат, 2021. — 256 с.

6.Кузнецов, В. И., Сидоров, М. Е. **Атомные электростанции: устройство, безопасность, экология.** — СПб.: Питер, 2020. — 312 с.

7.Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. "**Правила обеспечения радиационной безопасности (НРБ-99/2009)**". — Москва, 2009.

8.МАГАТЭ. **Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards.** — IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, 2014.

9.Официальный сайт Ростехнадзора — <https://www.gosnadzor.ru>

10.Носков, И. Г. **Безопасность атомных станций.** — М.: Академкнига, 2019. — 198 с.

11.ICRP Publication 103 (2007). *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* <https://www.icrp.org/publications/20103>

12.IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3 (2014). *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards.* <https://www.iaea.org/publications/8930>

13.НРБ-99/2009. *Нормы радиационной безопасности Российской Федерации.* <http://docs.cntd.ru/document/1200073687>

14.Кодекс Республики Казахстан "О радиационной безопасности населения" <https://adilet.zan.kz>

Н. Г. Жұмамұхамбетов¹, Е. Т. Ербаев², Д. А. Жапарова²

¹КЕАҚ Қазақ агротехникалық зерттеу университеті.С. Сейфуллина, Астана, Қазақстан,

²КЕАҚ Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті. Жәңгір хан, Орал, Қазақстан

ҚАЗАҚСТАНДА ЖОБАЛАНАТЫН АТОМ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНДА РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

Аннотация. Бұл жұмыста ВБЭР-300 реакторлық қондырғысы бар орташа қуатты атом электр станциясындағы (АЭС) радиациялық қауіпсіздік аспектілері қарастырылған. Реактордың бұл түрі электр энергиясын өндіруге арналған және оны ірі энергия блоктарында да, жекелеген аймақтардың энергетикалық тәуелсіздігін қамтамасыз ететін шағын атом электр станцияларында да пайдалануға болады. АЭС салу кезінде Қазақстан халқының алаңдаушылығын тудыратын маңызды мәселелердің бірі радиациялық қауіпсіздік болып табылады. Радиациялық қауіпсіздіктің басты мақсаты халық пен персоналдың денсаулығын иондаушы сәулеленудің зиянды әсерінен қорғау болып табылады, оған осы саладағы халықаралық стандарттар мен нормаларды сақтау арқылы қол жеткізіледі.

Түйінді сөздер: атом электр станциялары, реактор, уран, радиация, радиациялық қауіпсіздік, иондаушы сәулелену, қуат.

N.G.Dzhumamukhambetov¹, E.T.Yerbayev², D.A. Dzhaparova²

¹NAO Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, Kazakhstan

²NAO West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan, Uralsk, Kazakhstan

ENSURING RADIATION SAFETY AT A NUCLEAR POWER PLANT BEING DESIGNED IN KAZAKHSTAN

Annotation. In this paper, the aspects of radiation safety at a medium-power nuclear power plant (NPP) with a VBER-300 reactor unit are considered. This type of reactor is designed to generate electricity and can be used both as part of large power units and as part of small nuclear power plants that ensure the energy independence of individual regions. One of the most important issues that is of concern to the

population of Kazakhstan during the construction of nuclear power plants is radiation safety. The main goal of radiation safety is to protect the health of the public and personnel from the harmful effects of ionizing radiation, which is achieved by complying with international standards and norms in this field.

Keywords: Nuclear power plants, reactor, uranium, radiation, radiation safety, ionizing radiation, power.

ӨОЖ 69.001.5;504.05;620.92

FTAMP 67.07.29;31.41.41;68.39.29

Т.Г. Гизатулла

«Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті» КеАҚ, Атырау,
Қазақстан

E-mail: tlekkaby11999@gmail.com

ЭНЕРГОТИІМДІ ҚҰРЫЛЫСТЫҢ ҚАЗАҚСТАННЫҢ КӨМІРТЕГІ ІЗІНЕ ӘСЕРІ: СЦЕНАРИЙЛІК ТАЛДАУ

Аңдатпа. Энерготиімді құрылыс өңірдегі ең ірі CO₂ шығарындыларының бірі болып табылатын Қазақстанның көміртегі ізін төмендетуде шешуші рөл атқарады. Бұл мақалада құрылыста энерготиімді технологияларды енгізудің парниктік газдар шығарындыларының деңгейіне әсерін сценарийлік талдау ұсынылған. Зерттеу үш сценарийді салыстыруға негізделген: негізгі (қолданыстағы құрылыс нормаларында өзгерістердің болмауы), орташа (энергияны үнемдейтін стандарттарды біртіндеп енгізу) және оптимистік («жасыл» технологияларды ауқымды енгізу). Талдау нәтижесінде энергияны үнемдейтін құрылысқа көшу 2050 жылға қарай құрылыс секторының көміртегі ізін 30-50% төмендетуі мүмкін екендігі анықталды. Мақалада тұрақты құрылыс жолындағы негізгі технологиялық, экономикалық және нормативтік кедергілер қарастырылады, сонымен қатар оларды жеңу жолдары ұсынылады. Алынған деректер энерготиімді стандарттарға жедел көшу және тиісті бастамаларды мемлекеттік қолдау қажеттігін көрсетеді.

Кілт сөздер: энерготиімді құрылыс, көміртегі ізі, Қазақстан, парниктік газдар, тұрақты даму, «жасыл» технологиялар.

Кіріспе. Соңғы онжылдықтарда климаттың өзгеруі мәселесі негізгі жаһандық қауіптердің біріне айналды. Қазақстан белсенді өнеркәсіптік дамуы және экстремалды климаттық жағдайлары бар ел ретінде энергияны тұтынудың және CO₂ шығарындыларының жоғары деңгейіне тап болады (1-сызба). Қазақстан Республикасының стратегиялық жоспарлау және реформалар жөніндегі агенттігінің мәліметінше, құрылыс секторы елдің көміртегі ізіне елеулі үлес қосады, бұл энерготиімді технологияларды енгізу бойынша шұғыл шараларды талап етеді [1].

Бұл жұмыстың мақсаты энерготиімді құрылыстың Қазақстанның көміртегі ізін төмендетуге әсерін талдау және саланы дамытудың ықтимал сценарийлерін болжау болып табылады.

Зерттеу пәні: энергияны үнемдейтін құрылыстың CO₂ шығарындыларына әсері.

Зерттеу мақсаты: энерготиімді технологияларды енгізу есебінен Қазақстанның құрылыс секторының көміртегі ізін төмендету әлеуетін бағалау.

Зерттеу міндеттері:

1. Қазақстанның құрылыс секторының көміртегі ізінің ағымдағы жай-күйін талдау.
2. Қолданыстағы энергияны үнемдейтін технологияларды және оларды елде қолдануды қарастыру.
3. Энерготиімді құрылысты дамытудың үш сценарийін әзірлеу.

4. Олардың CO₂ шығарындыларының төмендеуіне әсерін бағалау.
5. Негізгі кедергілерді анықтау және оларды жою бойынша ұсыныстар беру.



1-сызба. Энерготииімді құрылыс арқылы Қазақстанның көміртегі ізін азайту [4]

Мәселенің өзектілігі мен зерттелу дәрежесі. Қазақстан 2060 жылға қарай көміртегі бейтараптығына қол жеткізу міндетін қойды [1]. Алайда, қазіргі уақытта елдің құрылыс саласы энергия тиімділігінің төмен деңгейімен, көмір мен газды көп тұтынумен, сондай-ақ «жасыл» стандарттарды баяу енгізумен сипатталады.

Энерготииімді құрылыс саласындағы зерттеулер ЕО, АҚШ және Қытайда белсенді жүргізілуде, алайда Қазақстанда бұл мәселе жеткілікті зерттелмеген. Қолданыстағы жұмыстар (мысалы, UNEP [2] және Еуропалық комиссия [4]) жекелеген аспектілерді қарастырады, бірақ көміртегі ізі контекстінде саланың даму сценарийлерін кешенді талдау әлі жоқ.

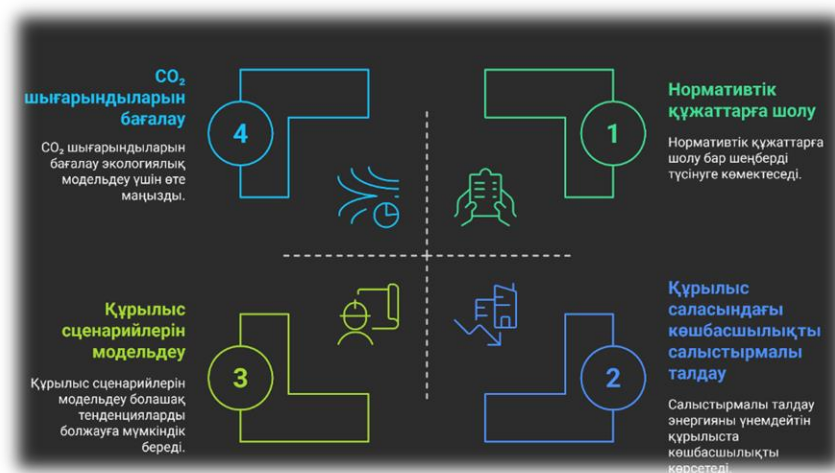
Зерттеу әдістері. Зерттеу мақсаттарына жету үшін келесі әдістер қолданылды (2-сызба):

1. Әдебиеттерді талдау – тақырып бойынша нормативтік құжаттарды, ғылыми жарияланымдар мен есептерді зерттеу [2,3,5].

2. Сценарийлік талдау – энергияны үнемдейтін құрылысты дамытудың үш сценарийін модельдеу.

3. Экономикалық және экологиялық модельдеу – әр түрлі сценарийлер бойынша CO₂ шығарындыларының ықтимал төмендеуін бағалау [3].

4. Салыстырмалы талдау – Қазақстанды энерготииімді құрылыс саласындағы жетекші елдермен салыстыру [4].



2-сызба. Энергияны үнемдейтін құрылысты зерттеу әдістері

Зерттеу нәтижелері. Талдау көрсеткендей, 2023 жылы Қазақстанның құрылыс секторы CO₂ ұлттық шығарындыларының шамамен 13%-ына жауап береді [1]. Сценарийлік талдау аясында дамудың үш мүмкін жолы жасалды:

1. Негізгі сценарий (айтарлықтай өзгеріссіз) – 2050 жылға қарай шығарындылардың ағымдағы деңгейін шамалы төмендетумен (5-10%) сақтау.
2. Орташа сценарий (энергияны үнемдейтін стандарттарды біртіндеп енгізу) – 2050 жылға қарай шығарындылардың 20-30%-ға төмендеуі.
3. Оптимистік сценарий («жасыл» технологияларды, пассивті үйлерді және жаңартылатын энергияны белсенді енгізу) – шығарындыларды 50% немесе одан да көп қысқарту.

Энерготиімді технологияларды енгізудің табыстылығына әсер ететін негізгі факторлар:

1. Құрылыс салушылар үшін қаржы құралдарының болуы.
2. Мемлекеттік стандарттар мен нормаларды қатаңдату.
3. Жаңартылатын энергия нарығын және тұрақты құрылыс материалдарын дамыту

[4].

Талқылау. Зерттеу нәтижелері, егер энерготиімді стандарттарды белсенді енгізуге көшетін болса, Қазақстан құрылыс секторының көміртегі ізін айтарлықтай төмендете алатынын растайды. Алайда бірқатар кедергілер бар:

- Экономикалық: энергияны үнемдейтін технологиялардың жоғары құны және инвесторлар үшін ынталандырудың болмауы [3].
- Технологиялық: «жасыл» құрылыс материалдарын өндіруді жеткіліксіз окшаулау [5].

- Реттеуші: ғимараттардың энерготиімділігіне қатаң талаптардың болмауы [2].

Бұл кедергілерді еңсеру үшін салықтық жеңілдіктер, энергияны үнемдейтін жобаларды субсидиялау және тұрақты құрылысты танымал ету сияқты кешенді шаралар қажет [1,4].

Қорытынды. Жүргізілген талдау көрсеткендей, энерготиімді құрылысқа көшу 2050 жылға қарай Қазақстандағы CO₂ шығарындыларын 30-50%-ға қысқартуға қабілетті. Ең тиімді сценарий – «жасыл» технологияларды белсенді енгізу болып табылады, ол мемлекеттік қолдауды және ынталандырудың қаржылық тетіктерін талап етеді.

Болашақ зерттеулер құрылыс секторын ынталандырудың егжей-тегжейлі стратегияларын әзірлеуге, сондай-ақ Қазақстан жағдайында энерготиімді ғимараттардың өмірлік циклін бағалауға бағытталуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. Қазақстан Республикасының стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі. «Көміртекті бейтараптыққа жетудің ұлттық стратегиясы». 2021.

2. UNEP. Global Status Report for Buildings and Construction. 2023.
3. IPCC. Climate Change and Sustainable Buildings. 2022.
4. Еуропалық комиссия. «Энергияны үнемдейтін құрылысқа көшу: ЕО тәжірибесі». 2020.
5. Назарбаев Университеті. Қазақстан құрылысындағы энерготиімді технологияларды зерттеу. 2021.

Т.Г.Гизатулла

НАО «Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева», Атырау, Казахстан

E-mail: tlekkabyll1999@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД КАЗАХСТАНА: СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ

Аннотация. Энергоэффективное строительство играет ключевую роль в снижении углеродного следа Казахстана, одного из крупнейших выбросов CO₂ в регионе. В данной статье представлен сценарный анализ влияния внедрения энергоэффективных технологий в строительстве на уровень выбросов парниковых газов. Исследование основано на сравнении трех сценариев: основных (отсутствие изменений в действующих строительных нормах), средних (постепенное внедрение энергосберегающих стандартов) и оптимистичных (масштабное внедрение «зеленых» технологий). Анализ показал, что переход к энергоэффективному строительству может снизить углеродный след строительного сектора на 30-50% к 2050 году. В статье рассматриваются основные технологические, экономические и нормативные препятствия на пути устойчивого строительства, а также предлагаются пути их преодоления. Полученные данные свидетельствуют о необходимости ускоренного перехода на энергоэффективные стандарты и государственной поддержки соответствующих инициатив.

Ключевые слова: энергоэффективное строительство, углеродный след, Казахстан, парниковые газы, устойчивое развитие, «зеленые» технологии.

T.G.Gizatulla

Atyrau University of Oil and Gas named after Safi Utebayev, Atyrau, Kazakhstan

THE IMPACT OF ENERGY-EFFICIENT CONSTRUCTION ON KAZAKHSTAN'S CARBON FOOTPRINT: SCENARIO ANALYSIS

Annotation. Energy-efficient construction plays a key role in reducing Kazakhstan's carbon footprint, one of the largest CO₂ emissions in the region. This article presents a scenario analysis of the impact of the introduction of energy-efficient technologies in construction on greenhouse gas emissions. The study is based on a comparison of three scenarios: basic (no changes in current building regulations), medium (gradual introduction of energy-saving standards) and optimistic (large-scale introduction of «green» technologies). The analysis showed that the transition to energy-efficient construction can reduce the carbon footprint of the construction sector by 30-50% by 2050. The article examines the main technological, economic and regulatory obstacles to sustainable construction, as well as suggests ways to overcome them. The data obtained indicate the need for an accelerated transition to energy-efficient standards and government support for relevant initiatives.

Keywords: energy-efficient construction, carbon footprint, Kazakhstan, greenhouse gases, sustainable development, "green" technologies.

УДК 625.85.574.1
МРНТИ 67.13.69

Е.Б. Мажитов, Д.Ж. Шаукенев

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г.
Уральск
Mazhitov201090@gmail.com
daniyar.shau@mail.ru

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ КАЗАХСТАНА

Аннотация. В статье рассматривается влияние качества дорожных материалов и внедрения инновационных технологий на строительство и эксплуатацию дорог. Обсуждается, как характеристики асфальтобетона, щебня и цемента определяют долговечность дорожной инфраструктуры. Особое внимание уделяется современным технологиям, таким как рециркуляция материалов, нанотехнологии и создание умных дорог, которые способствуют повышению качества и снижению затрат. Также анализируется экологическое воздействие, вызванное использованием различных материалов и технологий. Выводы подчеркивают важность инвестирования в качественные материалы и инновации для обеспечения надежности, безопасности и устойчивого развития дорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: дорожная инфраструктура, дорожные геосинтетические материалы.

Введение. Дорожная инфраструктура Казахстана играет ключевую роль в обеспечении транспортных связей между регионами и способствует экономическому развитию страны. Качество дорожных материалов и применение новых технологий в дорожном строительстве являются важными факторами, влияющими на безопасность, долговечность и эффективность эксплуатации дорог. В данной статье рассматриваются основные аспекты влияния качества материалов и инновационных технологий на состояние дорожной инфраструктуры Казахстана.

Из-за растущей автомобилизации на дорогах и городских улицах Казахстана актуальным становится вопрос качества автомобильных дорог. Для строительства и ремонта транспортной инфраструктуры ежегодно выделяются огромные экономические и финансовые ресурсы [1].

Условия и методы исследований. В Казахстане используются различные типы дорожных материалов, включая асфальт, бетон и геосинтетические материалы. В основном автомобильные дороги строят из асфальтобетона.

Асфальт — это комплексный строительный материал, который изготавливается путем смешивания следующих компонентов: битум, песок и модификаторы. Тип дорожного покрытия подбирается в зависимости от характеристик и назначения проекта с учетом интенсивности движения. Асфальт, благодаря своей гибкости, хорошо подходит для условий с резкими перепадами температур, характерными для казахстанского климата [2]. Бетон, в свою очередь, обеспечивает высокую прочность и устойчивость к нагрузкам, что особенно важно для автомобильных магистралей и крупных транспортных артерий.

В последние годы индустрия дорожного строительства совершила значительный прорыв в разработке инновационных материалов. Эти новшества повышают долговечность и безопасность дорог, а также способствуют решению экологических проблем [3].

Самовосстанавливающийся асфальт — это настоящее чудо инженерной мысли. Благодаря специальным добавкам, этот материал способен «залечивать» мелкие трещины самостоятельно, что существенно продлевает срок службы дорожного полотна и сокращает затраты на ремонт.

Экологичность становится приоритетом в современном строительстве. Использование переработанного пластика и резиновой крошки в составе дорожного покрытия - отличный

пример того, как можно дать вторую жизнь отходам. Такой подход не только снижает нагрузку на окружающую среду, но и улучшает характеристики дорожного полотна [4].

Фотокаталитические покрытия — это настоящий прорыв в борьбе с загрязнением воздуха. Они способны разлагать вредные вещества под воздействием солнечного света, превращая их в безопасные соединения. Представьте себе дорогу, которая очищает воздух в городе.

Проницаемые покрытия решают проблему отвода воды с дорожного полотна. Они позволяют дождевой воде просачиваться сквозь поверхность, что улучшает дренаж и снижает риск образования луж и наледи. Это повышает безопасность движения и помогает сохранить естественный водный баланс в почве.

Любое асфальтовое покрытие (рис. 1) должно обладать высоким качеством, определенными физико-механическими свойствами, а также отвечать всем существующим требованиям.



Рисунок 1. Асфальтовое покрытие

Чтобы этого добиться, нужно предусмотреть массу факторов, произвести верные расчеты, соблюсти правильную технологию асфальтирования, а также уделить особое внимание плотности, учитывая коэффициент уплотнения асфальта [5].

Для оценки качества дорожных материалов в Казахстане применяются стандартизированные методы тестирования, включая испытания на прочность, устойчивость к воздействию окружающей среды и долговечность. Эти тесты помогают определить, насколько материалы будут устойчивы к механическим и климатическим воздействиям, что критически важно для обеспечения долговечности дорожного покрытия [6].

Качество дорожных материалов напрямую влияет на эксплуатационные характеристики дорог в Казахстане. Высококачественные материалы способствуют увеличению срока службы дорожного покрытия и снижению затрат на его обслуживание [7]. Напротив, использование низкокачественных материалов может привести к преждевременному разрушению дороги и необходимости частых ремонтов, что особенно актуально для удаленных и труднодоступных регионов.

Современные технологии, такие как 3D-печать и автоматизированные системы укладки, начинают внедряться в Казахстане. Эти методы позволяют повысить точность и скорость выполнения работ, а также снизить количество отходов, что особенно важно в условиях ограниченных ресурсов.

С учетом растущей озабоченности по поводу экологии, внедрение устойчивых технологий становится все более актуальным. Применение переработанных материалов и экологически чистых технологий помогает снизить негативное воздействие на окружающую среду и способствует более рациональному использованию ресурсов. В Казахстане уже есть примеры использования переработанного асфальта, что позволяет не только экономить средства, но и улучшить экологическую ситуацию.

Внедрение сенсоров и систем мониторинга на дорогах Казахстана позволяет повысить безопасность и эффективность эксплуатации. Умные дороги могут автоматически собирать данные о состоянии покрытия, загруженности и погодных условиях, что позволяет оперативно реагировать на изменения и предотвращать аварийные ситуации [8].

Инновации не только повысят эффективность дорожной сети, они значительно снизят ее воздействие на окружающую среду, открывая новую эру в развитии транспортной инфраструктуры.

Умные дороги будущего объединят инновационные технологии для создания более эффективной транспортной инфраструктуры. Встроенные солнечные панели позволят дорогам генерировать экологически чистую энергию, а системы беспроводной зарядки обеспечат непрерывное питание электромобилей во время движения. Интеллектуальные системы освещения адаптируются к условиям окружающей среды и трафику, экономя энергию и повышая безопасность. Датчики, встроенные в дорожное полотно, будут постоянно отслеживать его состояние, что позволит своевременно выявлять и устранять повреждения.

Уже сегодня перечисленные технологии проходят тестирование - а завтра они станут нашей реальностью.

При анализе затрат на дорожное строительство в Казахстане важно учитывать, как первоначальные инвестиции, так и долгосрочные выгоды. Новые технологии могут требовать больших затрат на этапе внедрения, однако в дальнейшем они могут привести к значительной экономии на обслуживании и ремонте [9].

В последние годы многие страны мира активно внедряют новые технологии в дорожное строительство, что позволяет не только улучшить качество дорог, но и снизить затраты на их обслуживание. Рассмотрим несколько примеров успешного применения инновационных технологий в различных странах [10].

Скандинавские страны, такие как Швеция и Норвегия, активно используют геосинтетические материалы для укрепления дорожных оснований. Это позволяет значительно увеличить срок службы дорог и снизить затраты на их ремонт. Например, использование геотекстиля для дренажа и предотвращения разрушения дорожного покрытия стало стандартом в этих странах.

В США внедрение 3D-печати в дорожном строительстве стало настоящим прорывом. Компании, такие как ICON, разрабатывают технологии, позволяющие печатать дорожные элементы с высокой точностью. Это не только ускоряет процесс строительства, но и снижает количество отходов, что положительно сказывается на экологии.

Германия активно использует переработанные материалы в дорожном строительстве. Например, переработанный асфальт применяется для укладки новых дорожных покрытий, что позволяет снизить затраты и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. В некоторых регионах страны доля переработанного асфальта в новых покрытиях достигает 50%.

Япония известна своими «умными дорогами», которые оснащены сенсорами и системами мониторинга. Эти технологии позволяют собирать данные о состоянии дорожного покрытия, загруженности и погодных условиях, что способствует повышению безопасности и эффективности эксплуатации. Например, системы мониторинга помогают оперативно реагировать на изменения в состоянии дорог, что снижает количество аварий.

В Австралии активно применяются автоматизированные системы укладки, которые значительно упрощают процесс и повышают его эффективность. Это позволяет сократить время строительства и снизить затраты на рабочую силу. Кроме того, использование дронов для мониторинга состояния дорог стало обычной практикой, что позволяет оперативно выявлять проблемы и проводить необходимые ремонты.

Контроль качества уплотнения асфальтобетонных слоев может выполняться как неразрушающими способами (с использованием радиоизотопных и ультразвуковых

приборов), так и разрушающими способами (метод вырубков), которые и рассматриваются в настоящей работе [11].

Соблюдение технологии укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей является основой качества асфальтобетона в основаниях и покрытиях автомобильных дорог и мостов. После уплотнения асфальтобетонной смеси покрытие приобретает необходимую плотность, прочность, водонепроницаемость и водостойчивость [12].

Используемые приборы и оборудование: керноотборник, термошкаф, ложка или шпатель, гидравлический пресс, форма и два вкладыша, выжимное приспособление, штангенциркуль, виброплощадка, сосуд с водой, лабораторные весы класс точности 4-й для взвешивания вырубков-кернов (гидростатическость). Качество уплотнения асфальтобетонного слоя определяется по показателям кернов (вырубков) в трех местах на 4000 м^2 покрытия. Для горячих асфальтобетонов вырубки-керны следует отбирать от края покрытия более 1 м через 1-3 суток после того, как их уплотняют, а для холодных асфальтобетонов - через 15-30 суток [13].

Отбор вырубков-кернов слоев дорожной одежды осуществляется на выбранном участке автодороги с помощью керноотборника: один по центру (ось дороги) и два по краям (1,0-1,2 м от края проезжей части), размер вырубков-кернов $0,5 \times 0,5 \text{ м}$.

Вырубки-керны высверливают на всю толщину асфальтобетонного покрытия (в лаборатории разделяют слои - верхний и нижний), масса вырубки-кернов, взятых с одного места, должна составлять: 1,0 кг - для песчаных смесей; 2,0 кг - для мелкозернистых смесей; 6,0 кг - для крупнозернистых смесей. Диаметр кернов должен быть не менее, мм: 50 – для проб из песчаного асфальтобетона; 70 - для проб из мелкозернистого асфальтобетона; 100 - для проб из крупнозернистого асфальтобетона [14]. Вырубки-керны, разделенные по слоям, переформовываются в образцы, которые испытываются с целью определения фактического коэффициента уплотнения каждого конструктивного слоя смеси асфальтобетона в дорожной одежде (рис. 2).



Рисунок 2. Внешний вид переформованных образцов

Получение и исследование лабораторных образцов. Перед началом испытаний, образцы необходимо высушивать в термошкафу при температуре не более 50°C в течение 1-1,5 ч, затем следует охладить образцы при комнатной температуре около 30 минут, после чего произвести взвешивание образцов.

Объем образца - керна вычисляется по геометрическим формулам определения объема цилиндра. Объем образцов, полученных из вырубки и имеющих неправильную форму, находится способом гидростатического взвешивания. Сущность способа заключается в

определении объема вытесненной воды при погружении в нее образца.

За результат определения среднего значения фактической плотности принимают округленное до второго десятичного знака среднеарифметическое значение результатов определения средней плотности трех образцов. Если расхождение между наибольшим наименьшим результатами параллельных определений превышает $0,03 \text{ г/см}^3$, то проводят повторные испытания и вычисляют среднеарифметическое из шести значений [14]. Испытанные вырубki-керны можно использовать для переформовки новых образцов, с целью уточнения полученных данных.

Для определения стандартной плотности материала образцы цилиндрической формы изготавливают путем переформовки кернов или части вырубki, привезенных с места отбора на автомобильной дороге. Полученный материал, нагревают на песчаной бане в термощкафу до температуры 200°C , затем с помощью ложки (лопатки) перемешивают все в однородную асфальтобетонную смесь. Уплотнение образцов из полученной асфальтобетонной смеси, содержащей по массе щебня до 50 %, производят прессованием под давлением $(40,0 \pm 0,5) \text{ МПа}$ на гидравлическом прессе в специальной цилиндрической форме. Для изготовления образцов из горячей смеси асфальтобетона, формы и вкладыши необходимо разогреть до $90\text{--}100^\circ\text{C}$, для образцов из холодных смесей формы как правило не подогревают. В цилиндрическую форму закладывают приготовленную асфальтобетонную смесь (табл. 1).

Таблица 1

Количество асфальтобетонной смеси на один образец		
Размеры образца, мм		Ориентировочное количество смеси на образец, г
диаметр	высота	
50,5	$50,5 \pm 1,0$	220÷240
71,4	$71,4 \pm 1,5$	640÷670
101,0	$101,0 \pm 2,0$	1900÷2000

Смесь равномерно распределяют в форме штыкованием ножом или шпателем, вставляют верхний вкладыш и, прижимая им смесь, устанавливают форму со смесью на нижнюю платформу (плиту) пресса для уплотнения (рис.3), при этом нижний вкладыш должен выступать из формы на 1,5-2,0 см.



Рисунок 3. Уплотнение смеси на гидравлическом прессе

Верхнюю платформу (плиту) пресса подводят до соприкосновения с верхним вкладышем вручную, затем запускают электродвигатель гидравлического пресса. В течение 5-10 с нагрузку (давление) на уплотняемую, асфальтобетонную смесь доводят до 40 МПа, выдерживают примерно 3 минуты, затем убирают давление. С помощью выжимного приспособления образец извлекают из формы, измеряют его геометрические характеристики штангенциркулем (высоту и диаметр, с погрешностью до 0,1 мм).

Кривые образцы бракуют, такие как с не параллельностью верхнего и нижнего оснований либо дефектами кромок, частичным не заполнением.

Сформованные образцы - цилиндры взвешивают и находят их объем для определения стандартной плотности.

Результаты исследований. Значение фактического коэффициента уплотнения сравнивается со значением требуемого и даётся заключение о степени уплотнения асфальтобетонного покрытия (табл. 2) [15].

Анализ производственного и лабораторных методов уплотнения прессованием и укаткой показал, что максимально близкие значения физико-механических свойств можно достичь при уплотнении асфальтобетонных смесей секторным прессом.

Высокие значения коэффициента уплотнения свидетельствуют о том, что плотность, полученная в лаборатории, ниже полученной при уплотнении дорожными катками.

В то время как низкий коэффициент длительной водоустойчивости образцов свидетельствует об изменении гранулометрического состава смеси в процессе его уплотнения гидравлическим прессом.

Таблица 2

Нормативные и экспериментальные данные коэффициента уплотнения

№ п/п	Испытуемые образцы асфальтобетона	Требуемый коэффициент уплотнения	Фактический коэффициент уплотнения
1	холодные смеси	0,97-0,95	0,96-0,98
2	горячие смеси тип В	Более 0,98	0,98-0,99
3	горячие смеси тип А и Б	Более 0,99	1,00-1,04

Физико-механические свойства образцов, уплотненных секторным прессом, показали хорошую сходимость результатами производственного уплотнения асфальтобетонных покрытий дорожными катками [16]. Слабое или даже с минимальной нормой уплотнение, как правило, сводит на нет все технологические приемы, направленные на повышение качества и свойства асфальтобетона.

Низкокачественное уплотнение покрытия ведет к сокращению срока его службы и к росту затрат на его ремонты. По многочисленным исследованиям установлено, что увеличение коэффициента уплотнения щебеночного асфальтобетона сверх минимальной нормы на 0,01 влечет за собой или устойчиво обеспечивает рост прочности на сжатие при +50 °С и +20 °С в среднем соответственно на 9 и 13 %; рост прочности на растяжение при изгибе на 8,5 %; повышение предельной деформации растяжения при изгибе на 21 - 22 %; снижение оптимального содержания битума до 0,5% из реального его расхода; рост сдвиговой и усталостной прочности примерно в 1,3 - 1,5 раза [17].

Все типы смесей укладывались на участки дорог общего назначения III технической категории в Алматинской области. Фактический коэффициент уплотнения находился в допустимом нормами диапазоне, отклонение составило не более 3 %.

Если фактический коэффициент уплотнения ниже требуемого - анализируются причины, вызвавшие недоуплотнение слоя: температура уплотнения ниже значений критической

(привести значения критической температура для данного состава); недостаточное количество проходов катка (привести рекомендуемое количество проходов); недостаточная масса катка и т. д.

Оценка экономической эффективности внедрения новых технологий и материалов является важным аспектом для принятия решений в области дорожного строительства. Исследования показывают, что высокое качество материалов и использование инновационных технологий могут обеспечить высокий возврат инвестиций за счет снижения затрат на эксплуатацию и увеличение срока службы дорог.

Обсуждение научных результатов. В Казахстане уже были успешно внедрены новые технологии и материалы в дорожном строительстве. Например, в рамках программы «Нурлы Жол» активно используются переработанные материалы для укладки асфальта, что позволило значительно снизить затраты и улучшить экологическую ситуацию. Также в ряде городов внедрены системы мониторинга состояния дорог, что позволило повысить безопасность и снизить количество аварий.

В Казахстане начали исследование по улучшению качества дорог с использованием отечественных стабилизаторов для грунта.

В Западно-Казахстанской и Актюбинской областях стартовали работы по анализу грунтов и тестированию стабилизаторов, внесенных в Единую базу дорожно-строительных материалов и новых технологий. Особое внимание уделяется отечественным разработкам, которые прошли проверку и получили «желтый» и «зеленый» статус, что подтверждает их соответствие стандартам качества и безопасности, сообщает Министерство транспорта РК.

В Казахстане начали исследование по улучшению качества дорог с использованием отечественных стабилизаторов для грунта «Казахстан делится на четыре почвенно-географические зоны: от солончаков до песчаных суглинков. Не существует универсального продукта, который одинаково эффективно работает на всех типах грунтов и в разных климатических условиях. Для каждой зоны требуется свой подход в выборе стабилизаторов. Ошибки в подборе материалов могут снизить эффективность проводимых работ и значительно ухудшить качество дорог».

Исследования уже начались в Западно-Казахстанской и Актюбинской областях, где местные исполнительные органы выразили заинтересованность в научно-техническом сопровождении для улучшения качества автомобильных дорог и заключили соответствующий меморандум с учеными «КаздорНИИ».

Специалистами в лабораториях проводятся детальные тесты материалов для каждой климатической зоны, чтобы подобрать наиболее эффективные решения. По итогам исследований разрабатываются рекомендации для подрядных организаций по оптимальному использованию стабилизаторов для грунта в зависимости от типа почвы и климатических условий. Что позволяет улучшить качество дорожных оснований по всей стране и продлить срок службы дорог.

Заключение. Опыт зарубежных стран показывает, что внедрение новых технологий в дорожное строительство может значительно улучшить качество дорог, повысить безопасность и снизить затраты на их обслуживание.

Казахстан может извлечь уроки из этих примеров, активно внедряя инновации и современные материалы в свою дорожную инфраструктуру. Инвестиции в новые технологии и высококачественные материалы станут залогом успешного развития дорожного строительства в стране.

Исследование показывает, что высокое качество дорожных материалов в сочетании с новыми технологиями может значительно улучшить состояние дорожной инфраструктуры Казахстана, повысить безопасность и снизить затраты на обслуживание. Важно продолжать исследования в этой области для разработки более эффективных и устойчивых решений в дорожном строительстве.

Применение современных асфальтобетонных смесей, армированных дорожными геосетками, позволяет улучшить сцепление колес транспортных средств с покрытием.

Использование битумных мастик и пропиток для геосинтетики предусматривает отличное сцепление всех слоев дорожной одежды.

Инвестиции в инновации и качество материалов являются залогом успешного и безопасного дорожного строительства в будущем.

Таким образом, современные материалы для дорожного покрытия не просто улучшают качество дорог и увеличивают срок эксплуатации, но и вносят существенный вклад в решение экологических проблем и повышение безопасности дорожного движения [18].

Список литературы

1. Петров, С. В. Новые технологии в дорожном строительстве: от теории к практике. Алматы: КазГАСА., 2020.
2. Иванов А. П., Смирнова Е. В. Влияние переработанных материалов на долговечность асфальтобетонных покрытий. Журнал дорожного строительства. – 2019. №12(3), 45-52 с.
3. Ким, Т. С., Нурмухамедов А. Экологические аспекты использования новых технологий в дорожном строительстве. Научные труды Казахского национального университета. – 2021. 78-85 с.
4. Сидорова, М. И. Исследование влияния качества дорожных материалов на эксплуатационные характеристики покрытий (диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук). Алматы: КазНТУ. - 2020.
5. Министерство транспорта Республики Казахстан. Технические условия на дорожные материалы. Алматы: Министерство транспорта РК. – 2020.
6. Акимов, Д. А. Использование инновационных добавок в асфальтобетонных смесях. В Сборнике материалов международной конференции по дорожному строительству. Астана: КазГАСА. – 2021. 123-130 с.
7. Казахстанская ассоциация дорожников. Анализ состояния дорожного строительства в Казахстане. - 2023.
8. И.С. Бондарь, М.Я. Квашнин, А.Ш. Айымбетов. Оценка прочности грунта в основании земляного полотна автомобильных дорог / Вестник КазАТК № 4 (115), 2020, 26-31 с.
9. И.С. Бондарь, Ж.Д. Мадиев. Оценка состояния дорожных одежд при динамическом воздействии / Сборник материалов XIX ежегодной Республиканской научной студенческой конференции. Часть I. КазГАСА, – 2019, 417-421 с.
10. И.С. Бондарь, М.Я. Квашнин, Е.Г. Кан. Методика упрочнения нежестких дорожных одежд / Материалы I Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика». - Алматы: АЛит, 2021. – Том 2, 181-183 с.
11. В.П. Корюк, Я.В. Ильин. Лабораторное и производственное уплотнение асфальтобетонных смесей. Вестник ХНАДУ, вып. 79. – 2017. 138-142 с.
12. М.С. Стороженко. Совершенствование технологии уплотнения асфальтобетонных покрытий с целью повышения прочности и долговечности. Вестник ХНАДУ, вып. 36. – 2007. 101-103 с.
13. СТ РК 1373-2013 «Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия». - Астана, 2013. - 42 с.
14. СТ РК 1225-2013 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия». – Астана, 2013. – 64 с.
15. ГОСТ 9128-09/Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – М., 1997. – 20 с.
16. СНиП РК 3.03-09-2006 / Автомобильные дороги / Астана. – 2006. – 112 с.
17. ГОСТ 12801-98 / Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытания. – М., 1999. – 54 с.

18. OpenAI. ChatGPT (версия GPT-4o): Большая языковая модель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chat.openai.com>

ЖОЛ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ САПАСЫНЫҢ ӘСЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖОЛ ҚҰРЫЛЫСЫНДА

Мажитов Е.Б. – доцент м.а., техника ғылымдарының кандидаты (РФ)
«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Орал қ.
Mazhitov201090@gmail.com
Д.Ж. Шаукенев – магистрант,
«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Орал қ.
daniyar.shau@mail.ru

Аннотация: Мақалада жол материалдарының сапасы мен инновациялық технологияларды енгізудің жол құрылысы мен пайдалануға әсері қарастырылған. Асфальтбетонның, қиыршық тастың және цементтің сипаттамалары жол инфрақұрылымының ұзақ мерзімділігін қалай анықтайтынын талқылайды. Материалды қайта өңдеу, нанотехнология және сапаны жақсартатын және шығындарды азайтатын смарт жолдар сияқты заманауи технологияларға ерекше көңіл бөлінеді. Өртүрлі материалдар мен технологияларды қолдану нәтижесінде қоршаған ортаға тигізетін әсерлері де талданады. Қорытындылар сенімді, қауіпсіз және тұрақты жол инфрақұрылымын қамтамасыз ету үшін сапалы материалдар мен инновацияларға инвестиция салудың маңыздылығын көрсетеді.

Негізгі сөздер: жол материалдарының сапасы, геосинтетикалық материалдар, жол инфрақұрылымы.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF QUALITY OF ROAD MATERIALS AND THE USE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF ROADS IN KAZAKHSTAN

Mazhitov E.B. – Acting Associate Professor, Candidate of Technical Sciences (RF)
NAO "West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan", Uralsk,
Mazhitov201090@gmail.com
D. Shaukenov – Master's student
NAO "West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan", Uralsk
daniyar.shau@mail.ru

Abstract. The article examines the impact of the quality of road materials and the introduction of innovative technologies on the construction and operation of roads. It discusses how the characteristics of asphalt concrete, aggregate and cement determine the durability of road infrastructure. Particular attention is paid to modern technologies such as material recycling, nanotechnology and the creation of smart roads, which contribute to improving quality and reducing costs. It also analyzes the environmental impact caused by the use of various materials and technologies. The findings highlight the importance of investing in quality materials and innovation to ensure the reliability, safety and sustainability of road infrastructure.

Keywords: road infrastructure, road material quality, geosynthetic materials.

ГЛАВА 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МРНТИ 50.47.29

С.С.Бекмагамбетов

Научный руководитель: канд. физ. мат. наук **Шабдиров Д.Н.**

НАО «Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева», Атырау, Казахстан

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Аннотация. Очистка газа от сероводорода (H_2S) и углекислого газа (CO_2) — это важная задача, с которой сталкиваются нефтегазовые компании. Эти вещества могут повредить оборудование и снизить качество продукции. В статье я рассказываю о трех основных методах очистки: аминовой очистке, мембранных технологиях и адсорбции. Также уделено внимание тому, как автоматизация, в частности SCADA-системы, датчики и PID-контроллеры, помогает повысить эффективность и стабильность работы этих установок.

Ключевые слова: Очистка газа, сероводород, углекислый газ, аминовая очистка, мембранные технологии, адсорбция, автоматизация, SCADA, PID-контроллеры, нефтеперерабатывающий завод, химические реакции.

Введение. В работе инженера на крупных объектах, таких как Тенгиз и нефтеперерабатывающие заводы Западного Казахстана, можно столкнуться с задачей очистки газа от сероводорода и углекислого газа. Эти загрязняющие вещества могут нанести ущерб оборудованию и повлиять на качество газа, что, в свою очередь, ведет к дополнительным затратам. Задача очистки газа от таких примесей — не просто теоретическая проблема, а конкретная инженерная задача, решаемая с помощью современных технологий и автоматизации.

Автоматизация этих процессов позволяет нам не только повысить точность контроля, но и оптимизировать работу всего оборудования. В этой статье я хочу поделиться опытом, как различные методы очистки газа работают в реальных условиях, а также каким образом автоматизация помогает улучшить эти процессы.

Цель. Цель этой статьи — рассмотреть методы очистки газа от сероводорода и углекислого газа, такие как аминовая очистка, мембранные технологии и адсорбция, и показать, как автоматизация помогает повысить их эффективность. Мы также обсудим, как SCADA-системы и PID-контроллеры помогают в реальном времени контролировать все параметры, влияющие на процесс очистки.

Обзор методов очистки газа от сероводорода и углекислого газа. В своей практике я столкнулся с несколькими методами очистки газа, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы в зависимости от условий эксплуатации. Важно понимать, что выбор метода зависит от того, с какой концентрацией загрязнителей мы работаем и какие технические возможности есть у установок.

Аминовая очистка. Аминовая очистка — это один из самых распространенных методов, который используется на таких крупных установках, как в Тенгизе. В этом процессе газ пропускается через раствор аминов (чаще всего используется моноэтаноламин, MEA), который химически взаимодействует с загрязняющими веществами, такими как сероводород и углекислый газ.

Как это работает? Газ, содержащий загрязняющие вещества, проходит через аминовый раствор. Химическая реакция приводит к образованию аммонийных солей, и загрязнители,

такие как H_2S и CO_2 , «захватываются» раствором аминов. После того как раствор насыщается загрязнителями, его нужно «освежить» — для этого используется процесс регенерации в специальном десорбере, где с помощью тепла и давления загрязнители отделяются, а раствор аминов снова готов к использованию.

Что хорошо в этом процессе?

- Аминовая очистка эффективна при любых уровнях загрязнения.
- Этот метод позволяет работать с несколькими загрязняющими веществами одновременно.
- После регенерации аминов можно повторно использовать раствор, что сокращает затраты.

Что вызывает проблемы?

- Регенерация аминов требует значительных энергозатрат, и этот процесс всегда будет связан с высоким потреблением энергии.
- Стоимость аминов и их регенерации также добавляет дополнительные расходы.

Как помогает автоматизация? С помощью SCADA-систем можно в реальном времени контролировать и корректировать такие важные параметры, как температура и давление. Это помогает избежать лишних затрат энергии, обеспечивает стабильную работу процесса и снижает риск возникновения аварий.

Для того чтобы понять, как изменение температуры и давления влияет на эффективность очистки газа, мы построили 3D-график. На графике отображена зависимость эффективности абсорбции загрязняющих веществ от температуры и давления. Это важно, чтобы оценить, какие условия будут оптимальными для аминовой очистки.

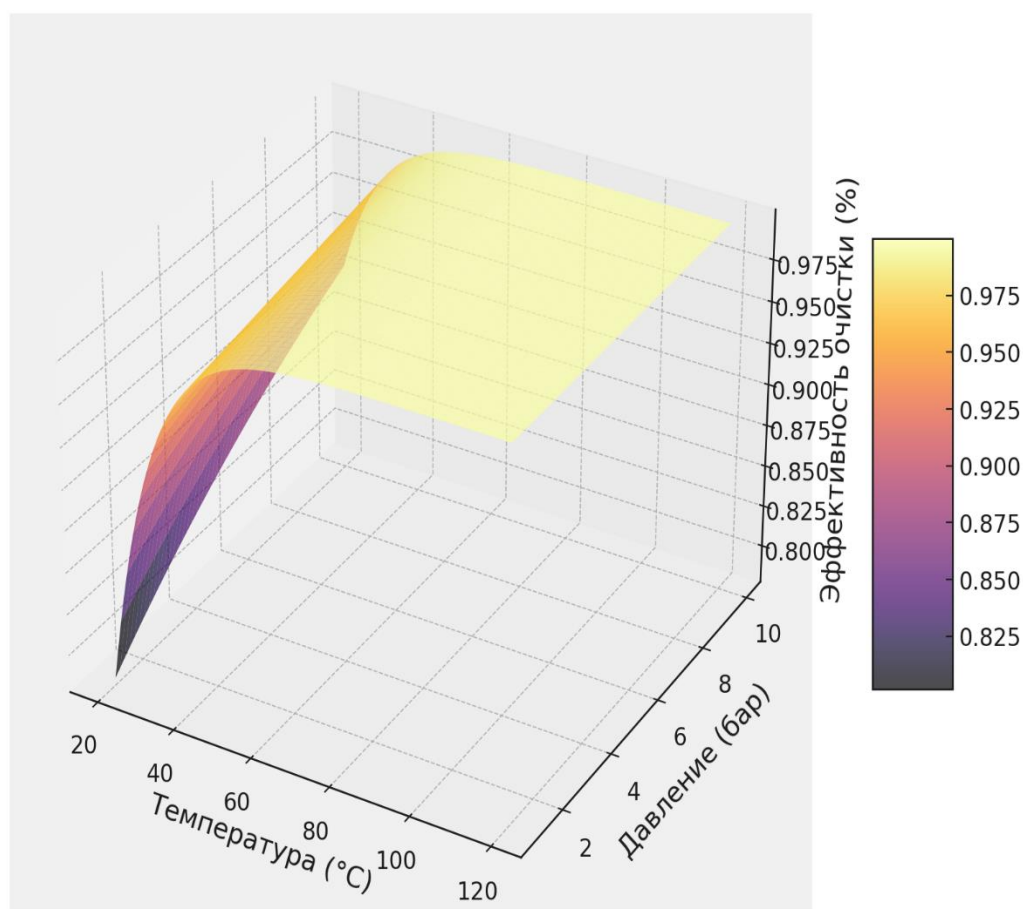


График 1. Зависимость эффективности очистки от температуры и давления

Как видно на графике, повышение температуры и давления способствует улучшению

абсорбции загрязнителей, что делает процесс более эффективным.

Мембранные технологии. Мембранные технологии стали популярными в последние годы, поскольку они относительно просты в эксплуатации и имеют низкие эксплуатационные расходы. Этот метод идеально подходит для очистки углекислого газа (CO_2) из газовых смесей.

Как это работает? Газ проходит через полупроницаемую мембрану, которая пропускает только молекулы CO_2 , оставляя другие компоненты, такие как азот и кислород, на другой стороне. Мембранные технологии не требуют химических реагентов, что делает их удобными для использования в условиях, где требуется минимизация химических затрат.

Преимущества:

- Простота в эксплуатации и отсутствие необходимости в химических реагентах.
- Низкие эксплуатационные расходы.

Недостатки:

- Эффективность мембран снижается при высоких концентрациях загрязнителей.
- Они лучше работают на процессах с низким содержанием CO_2 , что ограничивает их применение.

Как автоматизация помогает? Мембранные установки чувствительны к изменению давления и скорости потока газа. Использование SCADA-систем и датчиков давления позволяет отслеживать эти параметры и вовремя корректировать работу установки, чтобы поддерживать эффективность.

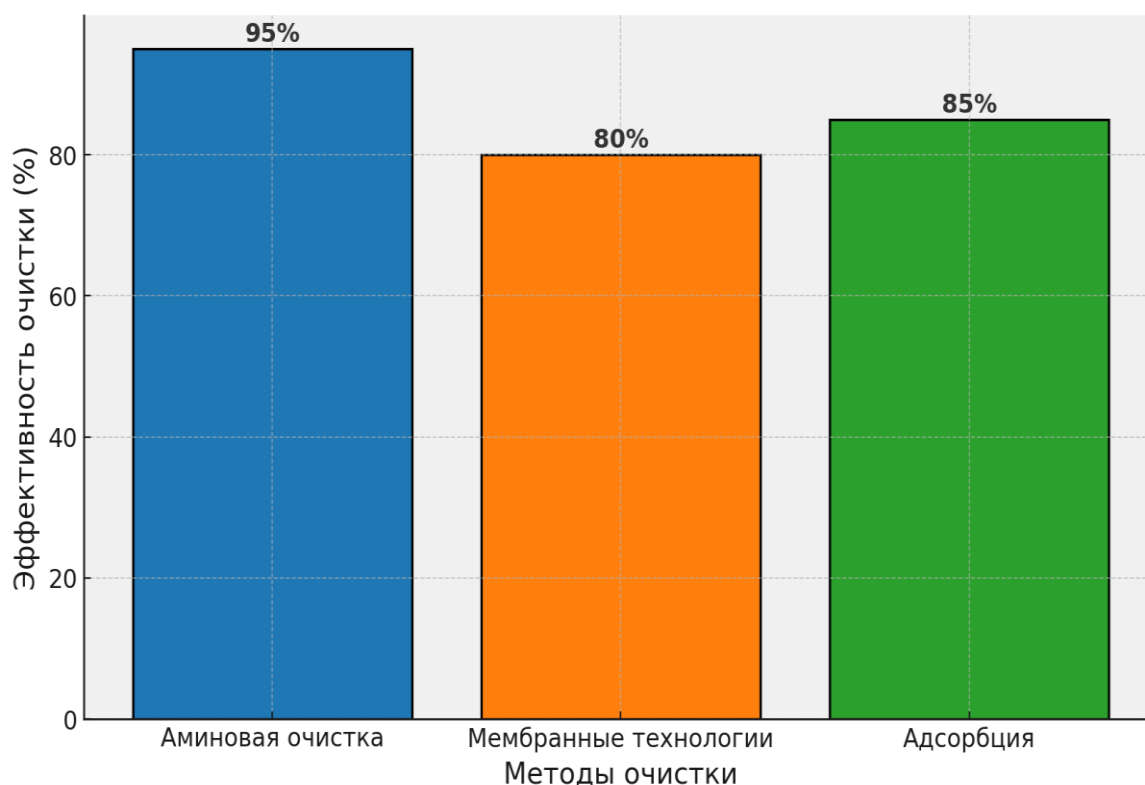


График 2. Сравнение эффективности методов очистки газа

На графике видно, что аминовая очистка дает наилучший результат при удалении как сероводорода, так и углекислого газа, в то время как мембранные технологии эффективны в основном для CO_2 .

Адсорбция. Адсорбция — это метод, который активно используется для очистки от углекислого газа и сероводорода. В этом процессе загрязняющие вещества задерживаются на поверхности твердого материала (адсорбента), такого как активированный уголь.

Как это работает? Газ проходит через слой адсорбента, и загрязняющие вещества оседают на его поверхности. После того как адсорбент насыщается, его нужно «освежить», то есть провести процесс регенерации. Обычно для этого используется изменение давления или нагрев.

Преимущества:

- Высокая эффективность очистки, особенно для малых концентраций загрязнителей.
- Простота в эксплуатации.

Недостатки:

- Адсорбенты имеют ограниченную емкость, и их нужно регулярно регенерировать.
- Этот процесс может быть не столь эффективным при высоких нагрузках на установку.

Как автоматизация помогает? Регулирование давления и температуры — критически важный момент в процессе адсорбции. Внедрение SCADA-систем и датчиков позволяет автоматически отслеживать насыщение адсорбента и вовремя запускать процесс регенерации, что способствует снижению расходов на замену и регенерацию адсорбента.

Таблица 1. Сравнение затрат на различные методы очистки

Метод очистки	Затраты на реагенты	Затраты на обслуживание	Энергозатраты	Общие затраты
Аминовая очистка	Средние	Высокие	Высокие	Высокие
Мембранные технологии	Низкие	Низкие	Средние	Средние
Адсорбция	Низкие	Средние	Низкие	Средние

Роль автоматизации в повышении эффективности процессов очистки газа.

Автоматизация значительно улучшает работу очистных установок. Когда мы работаем с такими масштабными объектами, как Тенгиз, где объемы газа колоссальны, и любая ошибка в расчетах или задержке может привести к значительным потерям, именно автоматизация помогает поддерживать точность и стабильность процессов.

SCADA-системы дают возможность в реальном времени отслеживать параметры всей установки: концентрацию загрязняющих веществ, температуру, давление, расход газа. Если какой-то из параметров выходит за пределы нормы, система автоматически подает сигнал для корректировки, что позволяет избежать внештатных ситуаций и аварий.

PID-контроллеры регулируют температуру, давление и другие важные параметры в реальном времени, что позволяет поддерживать оптимальные условия для каждого процесса очистки. В своей работе мы часто используем PID-контроллеры для регулирования температуры в десорбере аминовой очистки, что позволяет не только повысить эффективность, но и снизить энергозатраты.

Современные датчики дают возможность в реальном времени контролировать концентрацию загрязняющих веществ в газах. Эти данные отправляются в систему, которая автоматически корректирует процесс очистки. Например, если концентрация CO₂ или H₂S превышает норму, система будет автоматически регулировать расход газа или изменять другие параметры для оптимальной работы установки.

Таблица 2. Автоматизация в процессах очистки газа

Этап процесса	Параметры контролируемые автоматикой	Используемая система
Абсорбция загрязнителей	Температура, давление, концентрация загрязнителей	SCADA-система, PID-контроллеры
Регенерация аминов	Температура, давление	SCADA-система, PID-контроллеры
Процесс мембранной очистки	Давление, скорость потока	SCADA-система, датчики давления
Адсорбция	Давление, температура, насыщение адсорбента	SCADA-система, датчики

Заключение. Очистка газа от сероводорода и углекислого газа — это ключевая задача для обеспечения безопасной работы нефтегазовых установок. Методы аминной очистки, мембранные технологии и адсорбция — это эффективные способы, которые активно используются в нефтегазовой промышленности. Однако для достижения максимальной эффективности этих процессов необходимо внедрение автоматизации, включая SCADA-системы, PID-контроллеры и датчики, которые позволяют точно контролировать и регулировать параметры очистки.

Список литературы

1. Kohl, A. L., & Nielsen, R. B. (1997). Gas Purification (5th ed.). Gulf Publishing Company.
2. Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). Perry's Chemical Engineers' Handbook (8th ed.). McGraw-Hill.
3. Baker, R. W. (2004). Membrane Technology and Applications (2nd ed.). Wiley.
4. Bello, O. S., & Adebayo, T. A. (2015). Removal of CO₂ and H₂S from natural gas by adsorption: A review. Chemical Engineering Journal, 262, 164-179.
5. Tavakkolizadeh, M., & Wiebesiek, S. (2012). Automation in Gas Processing: SCADA, Control Systems, and PID Controllers. Process Automation Review, 33(4), 20-30.
6. Cowan, A. T., & Babcock, G. M. (2002). Gas Separation Technologies. Chemical Engineering Progress, 98(5), 34-40.

С.С.Бекмағамбетов

Ғылыми жетекші: физика-математика ғылымдарының кандидаты Шабдиров Д.Н.

ГАЗДЫ СЕРОВОДОРОД ЖӘНЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗДАН ОЧИСТАУ ӘДІСТЕРІ

Аннотация. Газды сероводород (H₂S) және углекислый газ (CO₂) – мұнай-газ компаниялары жиі кездесетін маңызды мәселе. Бұл заттар жабдыққа зақым келтіріп, өнімнің сапасын төмендетуі мүмкін. Бұл мақалада мен үш негізгі тазалау әдісін қарастырамын: амина тазалау, мембраналық технологиялар және адсорбция. Сонымен қатар автоматизацияның, атап айтқанда SCADA жүйелері, датчиктер және PID-контроллерлердің осы қондырғылардың тиімділігі мен тұрақтылығын арттыруға қалай көмектесетініне назар аударылған.

Кілт сөздер: Газды тазалау, сероводород, углекислый газ, амина тазалау, мембраналық технологиялар, адсорбция, автоматизация, SCADA, PID-контроллерлер, мұнай өңдеу зауыты, химиялық реакциялар.

S.S.Bekmagambetov

Scientific supervisor: Candidate of Physical and Mathematical Sciences Shabdirov D.N.

REVIEW OF METHODS OF GAS PURIFICATION FROM HYDROSULPHYGENES AND CURBON GAS

Abstract. Gas purification from hydrogen sulfide (H_2S) and carbon dioxide (CO_2) is an important task faced by oil and gas companies. These substances can damage equipment and reduce product quality. In this article, I discuss the three main purification methods: amine purification, membrane technologies, and adsorption. Attention is also given to how automation, particularly SCADA systems, sensors and PID controllers, helps to improve the efficiency and stability of these plants.

Keywords: Gas treatment, hydrogen sulfide, carbon dioxide, amine treatment, membrane technology, adsorption, automation, SCADA, PID controllers, refinery, chemical reactions.

MPHTI 82.05.21

M. Zhanay

Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan

Email: zhanaymargulan@gmail.com

A Monte Carlo-based Information System for Investment Decision-Making under Fuzzy Conditions

Abstract. Investment decision-making is inherently complex due to uncertainty, imprecise data, and multiple influencing factors. Traditional deterministic methods often fail to reflect real-world ambiguities and risks adequately. This paper presents the development of an information system that integrates the Monte Carlo simulation method with fuzzy logic to support investment decision-making under uncertain conditions. The proposed system enables the modeling of probabilistic investment outcomes through scenario-based simulations. At the same time, fuzzy logic is employed to handle linguistic and vague input data, such as expert assessments of market conditions or risk levels.

The information system is implemented using modern web technologies and provides users with an interactive interface to input data, perform simulations, and visualize results. A case study demonstrates how the system can assess the potential outcomes of an investment project, quantify risks, and support strategic financial planning. The integration of Monte Carlo and fuzzy methodologies enhances the reliability and interpretability of investment forecasts. The developed approach offers practical benefits for investors, analysts, and decision-makers seeking robust tools for navigating uncertainty in capital allocation.

Keywords: Monte Carlo simulation; fuzzy logic; investment decision-making; uncertainty modeling; information system; risk assessment; scenario analysis

Introduction

In the modern economic environment, investment decision-making is increasingly influenced by uncertainty, incomplete information, and dynamic market conditions. Traditional deterministic models are often insufficient to fully capture the complexity and variability of real-world investment scenarios. As a result, decision-makers require more flexible and robust analytical tools that can incorporate risk, uncertainty, and imprecise expert evaluations.

The Monte Carlo simulation method has proven effective in modeling stochastic processes and evaluating the probabilistic outcomes of investment projects. It allows for the generation and analysis of multiple scenarios based on random input variables, thus providing a more comprehensive

understanding of potential risks and returns. However, Monte Carlo alone is limited when dealing with qualitative or linguistically described data, such as expert judgments or assessments expressed in vague terms.

Fuzzy logic, on the other hand, offers a powerful means of modeling imprecision and subjectivity in decision-making. By incorporating fuzzy sets and membership functions, it becomes possible to represent linguistic variables such as "high risk," "moderate return," or "favorable conditions" in a structured and computable form.

This paper presents the design and implementation of an integrated information system that combines the Monte Carlo simulation technique with fuzzy logic to support investment decision-making under uncertainty. The system is designed to facilitate scenario-based risk analysis and enhance the quality of decisions through a hybrid modeling approach. Developed using modern web technologies, the system features an intuitive user interface for inputting data, executing simulations, and visualizing results.

The paper is structured as follows: Section 2 reviews related literature and identifies existing gaps in decision-support methods. Section 3 outlines the methodology and mathematical foundation of the integrated model. Section 4 details the system's architecture and implementation. Section 5 presents a practical case study. Section 6 discusses the implications and limitations of the approach. Finally, Section 7 concludes the paper and outlines future research directions.

1. Literature Review

Investment decision-making in uncertain environments has long been a focus of research in finance, operations research, and information systems. Numerous models have been developed to support capital allocation, risk analysis, and project evaluation. However, most traditional methods rely on deterministic assumptions and crisp numerical inputs, which limit their applicability in real-world contexts characterized by ambiguity and imprecision.

The Monte Carlo method has been widely used for quantitative risk assessment and forecasting. It enables the generation of multiple random scenarios based on probabilistic distributions, offering a statistical understanding of potential outcomes. Applications of Monte Carlo simulation in investment analysis are well-documented, including portfolio optimization, sensitivity analysis, and valuation of financial instruments (Metropolis & Ulam, 1949; Hertz, 1964). However, this method typically assumes that all input variables are known with certainty in terms of their distributions, which may not reflect real-life investor experience, where many factors are described in qualitative or linguistic terms.

To address this limitation, researchers have increasingly turned to fuzzy logic, introduced by Zadeh (1965), as a means of modeling uncertainty and imprecision. Fuzzy logic is particularly useful in investment environments where expert assessments are expressed using vague language such as "low risk," "acceptable return," or "favorable market trend." Several studies have applied fuzzy logic to investment appraisal, capital budgeting, and credit scoring, demonstrating improved flexibility and realism in decision models (Buckley, 1987; Zimmermann, 2001).

Recent research has explored hybrid approaches that combine Monte Carlo simulation and fuzzy logic to capture both stochastic variability and linguistic ambiguity. These methods have shown promise in areas such as project risk management (Wang & Elhag, 2007), supply chain planning, and multi-criteria decision-making (MCDM). Despite their theoretical potential, practical implementations of such hybrid systems remain limited, especially in the form of interactive information systems tailored for investment analysis.

This paper seeks to fill that gap by proposing and implementing an integrated decision-support information system that combines Monte Carlo simulation with fuzzy logic. Unlike previous works that focus on either probabilistic or fuzzy modeling in isolation, this research develops a cohesive framework and a functional prototype system to aid investment decision-makers in navigating uncertainty with greater confidence and clarity.

2. Methodology

The methodological framework of this research is based on the integration of two distinct yet complementary approaches: Monte Carlo simulation and fuzzy logic. By combining these tools

within a unified information system, we aim to provide a decision-making environment that reflects both the stochastic nature of market variables and the linguistic uncertainty inherent in expert-based judgments. This section elaborates on the principles, steps, and structure of the proposed methodology.

2.1 Monte Carlo Simulation for Scenario Generation.

Monte Carlo simulation is a statistical technique that utilizes repeated random sampling to compute the results of a model when inputs are uncertain. In investment analysis, this approach is used to simulate a wide range of possible outcomes for variables such as project cash flows, investment costs, discount rates, and market returns.

Instead of relying on single-point estimates, probability distributions are assigned to each uncertain input variable based on historical data or expert assumptions. The simulation model runs thousands of iterations, each time generating random values from the defined distributions and calculating the financial outcome of the investment.

For example, in calculating Net Present Value (NPV), the formula:

$$NPV = \sum_{t=1}^T (CF_t / (1 + r)^t) - C_0$$

is computed for each simulation run, where:

- CF_t : projected cash flow at time t
- r : discount rate (modeled as a random variable)
- C_0 : initial investment

The result is a probability distribution of NPV values, from which we can determine the likelihood of achieving desired return levels, as well as risk indicators such as Value at Risk (VaR) or Conditional Value at Risk (CVaR).

This enables decision-makers to evaluate:

- The probability of achieving profitability
- The expected value and variance of project returns
- Downside risks associated with adverse market conditions

2.2 Fuzzy Logic for Modeling Linguistic Uncertainty.

While Monte Carlo handles randomness in numerical inputs, fuzzy logic addresses ambiguity in qualitative inputs, particularly expert assessments that are difficult to quantify. Many investment factors—such as political stability, regulatory risk, or management quality—are often described using linguistic terms.

In this system, fuzzy logic is used to formalize such descriptions and integrate them into the decision-making process. The steps involved include:

- **Fuzzification.** Crisp input values (e.g., a score from 0 to 10) are converted into degrees of membership to fuzzy sets (e.g., "Low", "Medium", "High"). For instance, a risk score of 7 might belong partially to both "Medium" and "High" risk sets.
- **Rule-Based Construction.** Fuzzy IF-THEN rules are defined to represent expert knowledge. Example:
 - IF market volatility is high AND political stability is low, THEN investment risk is very high.
- **Inference Mechanism.** The Mamdani approach is used to evaluate the rules. The output of each rule is a fuzzy set.
- **Defuzzification.** To obtain actionable results, the fuzzy output is converted into a crisp value using methods like the centroid technique.

This allows for nuanced assessments such as:

- "The risk level is 7.2 out of 10 based on linguistic criteria."
- "Investment attractiveness is moderate with fuzzy confidence."

2.3 Hybrid Integration Model.

The main contribution of this research lies in the design of a hybrid model that seamlessly integrates Monte Carlo simulation with fuzzy logic into a single decision-support environment. While

these two methods originate from different theoretical foundations — one based on stochastic probability and the other on linguistic approximation — their integration offers a powerful framework for modeling investment decisions under real-world complexity.

In the developed model, the Monte Carlo simulation is responsible for generating a wide range of potential numerical outcomes based on randomly sampled input distributions. These outcomes represent different investment scenarios, each with associated financial metrics such as net present value (NPV) and internal rate of return (IRR). Simultaneously, the fuzzy logic component evaluates qualitative factors that influence the decision, such as political risk, regulatory uncertainty, or management effectiveness — parameters that are often assessed by experts and difficult to quantify precisely.

The integration is achieved through an aggregation mechanism that allows both quantitative and qualitative dimensions to inform the final evaluation. For instance, a scenario that yields a high NPV may still be considered unattractive if the fuzzy evaluation of contextual risks is poor. Conversely, a project with modest financial returns may be deemed favorable due to strong qualitative indicators. By combining these two forms of analysis, the system produces a more balanced and nuanced investment recommendation, supporting decision-makers in evaluating trade-offs between financial potential and situational risk.

This hybrid approach also enables scenario ranking, comparative analysis across multiple projects, and enhanced sensitivity testing, where users can observe how changes in qualitative judgments or probability assumptions affect the overall attractiveness of a project.

3. System Design and Implementation

To realize the proposed hybrid methodology in practice, a web-based information system was developed that integrates Monte Carlo simulation and fuzzy logic inference. The system is designed to assist users in evaluating investment decisions under uncertainty by offering both quantitative and qualitative analysis tools in a single interactive platform. This section provides a comprehensive overview of the system's architecture, functional components, and technical implementation.

The design follows a modular, three-tier architecture consisting of a presentation layer (user interface), an application layer (computational logic), and a data layer (persistent storage). This separation enhances maintainability, scalability, and facilitates future upgrades or integration with other analytical tools.

The backend is implemented using the Django framework, which offers a robust structure for managing application logic, routing, and user sessions. Django's compatibility with Python's scientific computing libraries makes it an ideal choice for this project. The Monte Carlo simulation component is built with NumPy and SciPy, allowing for efficient generation of thousands of investment scenarios using probabilistic distributions defined by the user. For example, inputs such as cash flows, inflation rates, and discount factors can be assigned normal, triangular, or uniform distributions, which the system samples during simulation.

For the fuzzy logic component, the scikit-fuzzy library is used. It supports the definition of fuzzy variables, membership functions, and inference rules. Users can input qualitative data through linguistic variables such as "high risk," "low political stability," or "moderate team experience," which are then processed using fuzzy logic to compute a contextual evaluation of the investment project. The Mamdani inference model is employed, with defuzzification via the centroid method to produce actionable scores.

The frontend interface is developed using standard web technologies (HTML, CSS, JavaScript) and enhanced with interactive visualization libraries such as Chart.js and Plotly. The interface allows users to input all required data, configure simulation parameters, run analyses, and view results in real time. Simulation outputs, such as net present value distributions or risk scores, are displayed through histograms, line charts, and summary tables to support interpretation.

Data is stored in a PostgreSQL database, which holds information on investment scenarios, fuzzy configurations, user profiles, and simulation results. This allows users to save and revisit prior analyses, compare different investment options, or adjust assumptions without re-entering all parameters.

The user workflow is designed to be intuitive and follows four main steps:

1. Input phase, where users provide both numerical and qualitative investment data;
2. Simulation phase, where Monte Carlo iterations are performed based on the user-defined distributions;
3. Fuzzy evaluation phase, where qualitative inputs are processed through the fuzzy rule base;
4. Results phase, where integrated outputs are presented and recommendations can be drawn.

This system bridges the gap between theoretical modeling and practical decision-making. Its combination of simulation and fuzzy inference provides users with a comprehensive toolkit to evaluate investment alternatives, explore risks, and justify decisions under uncertainty. The platform can be further expanded in the future to include additional modules, such as multi-criteria decision-making, machine learning-based forecasting, or integration with real-time financial data feeds.

4. Experimental Results / Case Study. To demonstrate the functionality and practical applicability of the developed information system, a simulated investment case was conducted. The objective was to assess the performance of a hypothetical investment project under uncertain economic conditions using the integrated Monte Carlo and fuzzy logic approach.

4.1 Case Description.

The case study involves an investment project in the construction of a mid-sized logistics center in an emerging market. The initial investment required is estimated at \$5 million, with projected annual cash flows over five years. However, due to market volatility, both the size and timing of these cash flows are uncertain. Additionally, qualitative factors such as regulatory risk, political stability, and the project management team's experience are significant but difficult to quantify.

The analysis was performed using the developed information system, which enabled both probabilistic and qualitative inputs. The simulation aimed to assess the distribution of Net Present Value (NPV) under different risk conditions and generate an overall investment attractiveness score based on fuzzy criteria.

4.2 Input Parameters.

Quantitative inputs were modeled using the following assumptions:

- Initial investment: \$5,000,000
- Project duration: 5 years
- Discount rate: Normally distributed with a mean of 10% and standard deviation of 2%
- Annual cash flows: Triangular distribution with minimum = \$900,000, mode = \$1,200,000, maximum = \$1,500,000

Qualitative inputs were entered as linguistic variables and processed using the fuzzy logic engine:

- Political stability: "Medium"
- Regulatory environment: "High Risk"
- Management team experience: "Strong"
- Market demand forecast: "Moderate"

A fuzzy rule base was defined to combine these factors into an overall risk score and investment attractiveness rating. For example:

- If political stability is low and the regulatory risk is high, then investment risk is very high.
- If team experience is strong and market demand is moderate, then investment potential is high.

4.3 Monte Carlo Simulation Results

The simulation module was executed with 10,000 iterations using the previously defined input distributions. The calculated net present value (NPV) outcomes ranged from a loss of approximately \$500,000 to a gain exceeding \$4.2 million. The average NPV across all simulations was estimated at around \$1.75 million, with a standard deviation of \$850,000, indicating a moderate degree of dispersion in potential outcomes.

Further statistical analysis revealed that the probability of the investment yielding a positive NPV was approximately 87 percent, suggesting a generally favorable outlook for the project. However, nearly one-fifth of the scenarios resulted in relatively low profitability, with NPVs below

\$1 million, indicating exposure to downside risk under less favorable market conditions. The Value at Risk (VaR), computed at a 95% confidence level, was estimated at \$420,000, providing a benchmark for the maximum expected loss within a defined confidence interval.

The simulation results were displayed through interactive histograms and cumulative distribution plots within the system's graphical interface, offering users an intuitive way to interpret the range and likelihood of financial outcomes.

4.4 Fuzzy Logic Evaluation Results

In parallel with the Monte Carlo simulation, the fuzzy logic module processed the qualitative inputs entered by the user, which included assessments of political stability, regulatory environment, management expertise, and market demand. These inputs were expressed in linguistic terms and translated into fuzzy sets, which were then evaluated using a predefined rule base. The Mamdani inference engine applied the relevant rules, and the resulting fuzzy outputs were defuzzified to yield crisp values.

The final investment risk score, on a scale from 0 to 10, was calculated at 3.1, indicating a relatively low perceived level of contextual risk. Conversely, the investment attractiveness score was determined to be 7.8, reflecting a generally strong qualitative profile for the project. These values suggest that despite some external uncertainties, the presence of an experienced management team and a reasonably favorable market environment contributed positively to the project's overall assessment.

Unlike the numerical simulation, which focuses strictly on financial metrics, the fuzzy logic component added a layer of expert judgment and contextual insight. This allowed for a more nuanced evaluation of the project, capturing qualitative factors that are often overlooked in conventional models.

4.5 Combined Decision Outcome

The final investment decision was derived from the integration of both the quantitative and qualitative results. The system aggregated the Monte Carlo simulation output with the fuzzy evaluation scores to generate a comprehensive investment profile. Based on the favorable probability of achieving profitability, combined with a moderate level of contextual risk, the system classified the investment opportunity as "moderately attractive with acceptable risk."

This classification was not solely dependent on expected financial returns but also reflected the project's exposure to non-financial risk factors. The hybrid evaluation process enabled decision-makers to balance statistical evidence with expert judgment, providing a more holistic and informed foundation for investment strategy.

This case demonstrates the value of hybrid decision support tools in environments characterized by uncertainty and complexity. The system's ability to process both probabilistic and linguistic inputs enhances decision transparency, supports scenario exploration, and fosters more confident and accountable investment planning.

Conclusion

This study has presented the development and application of an integrated information system for investment decision-making under uncertainty, combining Monte Carlo simulation and fuzzy logic. The hybrid approach addresses two fundamental challenges in investment analysis: the stochastic nature of financial variables and the imprecision of expert-driven, qualitative judgments. By incorporating both numerical modeling and linguistic evaluation, the system offers a robust framework that reflects the complexity of real-world decision environments.

Through the case study, the system demonstrated its capability to simulate a wide range of financial outcomes using probabilistic distributions while simultaneously assessing contextual risks through fuzzy inference. The Monte Carlo module provided quantitative insights into potential returns and risks, while the fuzzy logic component enabled structured incorporation of expert opinions and qualitative criteria. The integration of both outputs resulted in a more comprehensive assessment of investment viability, highlighting the system's strength in facilitating multidimensional scenario analysis.

In practice, this system offers tangible value to investors, analysts, and decision-makers by

improving the transparency, depth, and reliability of investment evaluations. It bridges the gap between hard data and human expertise, allowing for more informed and balanced strategic decisions.

Future work may extend the system's functionality by incorporating multi-criteria decision-making (MCDM) techniques, real-time market data integration, or machine learning modules for predictive analysis. Moreover, the system could be adapted for use in various domains beyond capital investments, including project management, financial planning, and policy evaluation, where uncertainty plays a critical role.

The research contributes not only a working software prototype but also a methodological framework that can be further refined and adapted. In doing so, it demonstrates how hybrid modeling techniques can serve as powerful tools for enhancing decision quality in complex and uncertain environments.

References

1. Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). *The Monte Carlo Method*. Journal of the American Statistical Association, 44(247), 335–341.
2. Hertz, D. B. (1964). *Risk Analysis in Capital Investment*. Harvard Business Review, 42(1), 95–106.
3. Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy Sets*. Information and Control, 8(3), 338–353.
4. Zimmermann, H.-J. (2001). *Fuzzy Set Theory — and Its Applications* (4th ed.). Springer.
5. Buckley, J. J. (1987). *Fuzzy Mathematics in Economics and Engineering*. Physica-Verlag.
6. Wang, Y.-M., & Elhag, T. M. S. (2007). *A Fuzzy Group Decision Making Approach for Bridge Risk Assessment*. Computers & Industrial Engineering, 53(1), 137–148.
7. Ross, T. J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications* (3rd ed.). Wiley.
8. Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). *Option Pricing: A Simplified Approach*. Journal of Financial Economics, 7(3), 229–263.
9. Triantaphyllou, E., & Lin, C. T. (1996). *Development and Evaluation of Five Fuzzy Multiattribute Decision-Making Methods*. International Journal of Approximate Reasoning, 14(4), 281–310.
10. Rausand, M., & Høyland, A. (2004). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications* (2nd ed.). Wiley-Interscience.
11. Jang, J.-S. R., Sun, C.-T., & Mizutani, E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice Hall.
12. Charnes, J. M. (2012). *Financial Modeling with Crystal Ball and Excel* (2nd ed.). Wiley Finance.
13. Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2011). *Decision Support and Business Intelligence Systems* (9th ed.). Pearson.
14. Fausett, L. (1994). *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*. Prentice Hall.
- Trigeorgis, L. (1996). *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. MIT Press.

Appendix

A1. Monte Carlo Simulation for Net Present Value (NPV)

```
import numpy as np

def monte_carlo_npv(initial_investment, cash_flow_mean, cash_flow_std,
discount_rate_dist, n_periods=5, n_sim=10000):
    npvs = []
    for _ in range(n_sim):
        cash_flows = np.random.normal(cash_flow_mean, cash_flow_std, n_periods)
        discount_rate = np.random.triangular(*discount_rate_dist)
        npv = -initial_investment + sum(cf / (1 + discount_rate) ** t for t, cf in
enumerate(cash_flows, start=1))
```

```
npvs.append(npv)
return npvs
```

A2. Fuzzy Logic Evaluation with scikit-fuzzy

```
import numpy as np
import skfuzzy as fuzz
from skfuzzy import control as ctrl

# Define fuzzy variables
political_stability = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 11, 1), 'political_stability')
team_expertise = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 11, 1), 'team_expertise')
risk = ctrl.Consequent(np.arange(0, 11, 1), 'risk')

# Membership functions
political_stability.automf(3) # low, average, high
team_expertise.automf(3)
risk.automf(3)

# Define fuzzy rules
rule1 = ctrl.Rule(political_stability['poor'] | team_expertise['poor'], risk['high'])
rule2 = ctrl.Rule(political_stability['average'] & team_expertise['average'], risk['medium'])
rule3 = ctrl.Rule(political_stability['good'] & team_expertise['good'], risk['low'])

# Create control system
risk_ctrl = ctrl.ControlSystem([rule1, rule2, rule3])
risk_simulation = ctrl.ControlSystemSimulation(risk_ctrl)

# Simulate input
risk_simulation.input['political_stability'] = 6
risk_simulation.input['team_expertise'] = 9
risk_simulation.compute()

# Output result
print(f"Calculated fuzzy risk score: {risk_simulation.output['risk']:.2f}")
```

A3. Example Django View: Integrating Simulation and Fuzzy Logic

```
from django.shortcuts import render
from .utils import monte_carlo_npv, run_fuzzy_logic

def investment_analysis_view(request):
    if request.method == 'POST':
        # Get user inputs
        investment = float(request.POST['initial_investment'])
        cash_mean = float(request.POST['cash_mean'])
        cash_std = float(request.POST['cash_std'])
        discount_min = float(request.POST['discount_min'])
        discount_mode = float(request.POST['discount_mode'])
        discount_max = float(request.POST['discount_max'])

        # Run simulation
        npv_results = monte_carlo_npv(investment, cash_mean, cash_std,
                                      (discount_min, discount_mode, discount_max))

        # Run fuzzy logic
```

```

political = int(request.POST['political_stability'])
team = int(request.POST['team_expertise'])
fuzzy_score = run_fuzzy_logic(political, team)

return render(request, 'results.html', {
    'npv_mean': round(np.mean(npv_results), 2),
    'npv_std': round(np.std(npv_results), 2),
    'fuzzy_score': round(fuzzy_score, 2),
})
return render(request, 'input.html')

```

М. Жанай

Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан

БҮЛДІРЕК ЖАҒДАЙЛАРДАҒЫ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУҒА АРНАЛҒАН МОНТЕ-КАРЛО ӘДІСІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ

Аннотация. Инвестициялық шешімдерді қабылдау жоғары деңгейдегі белгісіздікпен, ақпараттың толық болмауымен және көптеген факторлардың әсерімен байланысты. Дәстүрлі детерминирленген әдістер көбінесе тәуекелдер мен бастапқы деректердің анық еместігін жеткілікті түрде ескере алмайды. Осы жұмыста белгісіздік жағдайында инвестициялық талдауды қолдауға бағытталған Монте-Карло әдісі мен бұлдыр логика аппаратын біріктіретін ақпараттық жүйе ұсынылған.

Дайындалған жүйе инвестициялық жобаның ықтимал сценарийлерін Монте-Карло әдісі арқылы модельдеуге, сондай-ақ сараптамалық және тілдік сипаттағы деректерді бұлдыр логика көмегімен өңдеуге мүмкіндік береді. Бағдарламалық жүзеге асыру заманауи веб-технологиялар негізінде орындалған және деректерді енгізу, модельдеу жүргізу және нәтижелерді визуализациялау үшін ыңғайлы пайдаланушы интерфейсін қамтамасыз етеді. Мысал ретінде жүйенің инвестициялық тартымдылықты бағалау, тәуекелдерді талдау және шешімдерді негіздеу үшін практикалық қолданылуы көрсетілген. Стохастикалық және бұлдыр тәсілдерді біріктіру болжамның сенімділігі мен түсініктілігін арттырады, бұл әзірленген жүйені инвесторлар, аналитиктер және қаржы менеджерлері үшін пайдалы құрал етеді.

Түйінді сөздер: Монте-Карло модельдеуі; бұлдыр логика; инвестициялық шешім қабылдау; белгісіздікті модельдеу; ақпараттық жүйе; тәуекелді бағалау; сценарийлік талдау

М. Жанай

Атырауский университет им.Х.Досмұхамедова, Атырау, Казахстан

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Аннотация. Принятие инвестиционных решений связано с высокой степенью неопределенности, неполнотой информации и влиянием множества факторов. Традиционные детерминированные методы зачастую не позволяют адекватно учитывать риски и нечеткость исходных данных. В данной работе представлена информационная система, основанная на интеграции метода Монте-Карло и аппарата нечеткой логики, направленная на поддержку инвестиционного анализа в условиях неопределенности.

Разработанная система позволяет моделировать вероятностные сценарии инвестиционного проекта с помощью метода Монте-Карло, а также обрабатывать экспертные и лингвистически описанные данные с применением нечеткой логики. Программная реализация выполнена на основе современных веб-технологий и обеспечивает удобный пользовательский интерфейс для ввода данных, проведения моделирования и визуализации результатов. В качестве примера демонстрируется практическое применение системы для оценки инвестиционной привлекательности проекта, анализа рисков и обоснования решений. Интеграция стохастического и нечеткого подходов повышает достоверность и интерпретируемость прогноза, что делает разработанную систему полезным инструментом для инвесторов, аналитиков и финансовых менеджеров.

Ключевые слова: моделирование Монте-Карло; нечеткая логика; принятие инвестиционных решений; моделирование неопределенности; информационная система; оценка рисков; сценарный анализ

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИКА И СОЦИАЛЬНО–ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 339
МРНТИ 06.81.45

Д.С.Коптлеуов

Алматы Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА ЦЕНОВОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА РЫНКЕ КЕЙТЕРИНГОВЫХ УСЛУГ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы ценообразования в сфере кейтеринговых услуг в вахтовых городках. Анализируются методы ценообразования, применяемые предприятием ТОО «Адани-Кейтеринг», факторы, влияющие на ценовую политику, а также выявляются ключевые проблемы и пути их решения.

Ключевые слова: ценообразование, кейтеринг, ценовая политика, маржинальность, конкуренция, методы ценообразования.

Кейтеринг – один из ключевых сегментов сферы услуг, особенно востребованный в условиях вахтовых поселков, где необходимо обеспечивать работников питанием, клинингом и проживанием. Формирование ценовой политики в данной сфере отличается высокой сложностью, так как зависит от множества факторов: логистики, сезонности, структуры затрат, конкуренции и особенностей контрактных отношений.

Ценообразование – это процесс установления цен на товары и услуги с учетом затрат, конкуренции, спроса и других факторов. В кейтеринговом бизнесе выбор метода ценообразования особенно важен, так как рынок характеризуется высокой конкуренцией, нестабильными затратами на сырье и логистику, а также долгосрочными контрактами.

Существует несколько ключевых методов ценообразования, которые могут применяться в кейтеринговом бизнесе, в том числе в условиях вахтовых городков:

1. Метод полных затрат (Cost-Plus Pricing)

Этот метод основан на расчете себестоимости услуги с добавлением определенной наценки. Он широко используется в кейтеринге, так как позволяет обеспечить стабильную маржинальность.

Формула расчета цены:

$$P = C + (C \times M)$$

где:

- P – конечная цена,
- C – себестоимость услуги,
- M – наценка (в процентах).

Преимущества:

- Простота расчета.
- Гарантия покрытия затрат и получения прибыли.
- Применяется при долгосрочных контрактах, где необходимо заранее установить фиксированную цену.

Недостатки:

- Не учитывает уровень спроса и ценовую эластичность.
- Возможны потери клиентов, если цена окажется выше рыночной.

Метод используется для расчета цен на комплексное питание, клининговые услуги и проживание. Например, вахтовые поселки часто заключают контракты с фиксированной ценой, основанной на себестоимости продуктов, зарплате персонала и логистических затратах.

2. Ценообразование, ориентированное на конкурентов (Competitive Pricing)

При этом подходе цены устанавливаются на основе анализа конкурентной среды. Компании могут:

- Устанавливать цену ниже конкурентов – для привлечения новых клиентов.
- Держать цену на уровне конкурентов – если продукт не отличается от аналогов.
- Устанавливать цену выше конкурентов – если есть уникальные преимущества

(например, лучшее качество обслуживания, органические продукты и т. д.).

Преимущества:

- Помогает сохранить конкурентоспособность.
- Учитывает рыночные тенденции.

Недостатки:

- Может не учитывать реальные затраты компании.
- Не всегда позволяет достичь высокой маржинальности.

Метод используется при участии в тендерах, где нужно предложить конкурентоспособную цену, а также при работе в регионах с высокой конкуренцией между кейтеринговыми компаниями.

3. Ценообразование на основе ценности (Value-Based Pricing)

Этот метод ориентирован не на затраты или конкуренцию, а на воспринимаемую ценность услуги для клиента. Цена формируется исходя из того, сколько потребитель готов заплатить за продукт или сервис.

К примеру если кейтеринговая компания предлагает премиальные блюда (например, блюда от шеф-повара, органические продукты), клиенты могут быть готовы платить больше, даже если себестоимость таких блюд выше среднего уровня.

Преимущества:

- Позволяет устанавливать более высокие цены.
- Учитывает уникальность предложения.

Недостатки:

- Требуется глубокого понимания потребительских предпочтений.
- Может быть сложно обосновать более высокую цену без значимых отличий от конкурентов.

Применение в кейтеринге:

- Используется для индивидуального и корпоративного обслуживания премиум-класса.
- Может применяться при разработке специализированных рационов (например, спортивное питание, веганские меню).

4. Динамическое ценообразование (Dynamic Pricing)

Этот метод предполагает гибкое изменение цен в зависимости от спроса, сезона или других факторов:

- В периоды высокой загрузки (например, во время активных вахтовых смен) цены на проживание и питание могут повышаться.
- В низкий сезон или при сокращении числа заказчиков могут предлагаться скидки и акции.

Преимущества:

- Позволяет максимизировать прибыль в периоды высокого спроса.
- Учитывает сезонность и рыночную динамику.

Недостатки:

- Может вызвать негативную реакцию клиентов при резком повышении цен.
- Требуется постоянного мониторинга спроса и гибкой системы расчета цен.

Используется в случаях, когда спрос на услуги неравномерный. Например, вахтовые городки могут иметь пики загрузки в разные месяцы, и компания может адаптировать цены в

зависимости от этих колебаний.

5. Контрактное ценообразование (Contract Pricing)

Этот метод применяется в случае заключения долгосрочных контрактов, например, с промышленными компаниями, нефтегазовыми предприятиями или строительными организациями.

Варианты контрактного ценообразования:

- Фиксированная цена – сумма за услуги определена на весь срок действия договора.
- Цена с индексацией – корректируется с учетом инфляции и роста затрат.
- Цена с гибкими условиями – изменяется в зависимости от объемов потребления услуг.

Преимущества:

- Обеспечивает стабильный доход на длительный срок.
- Позволяет прогнозировать затраты и прибыль.

Недостатки:

- Ограничивает возможность оперативного изменения цен.
- Может привести к убыткам при резком росте себестоимости.

Наиболее распространенный метод при работе с крупными заказчиками. Например, если нефтяная компания заключает договор на обеспечение питания своих сотрудников вахтовым методом, цена фиксируется на 1-3 года, но может корректироваться с учетом инфляции.

В кейтеринговом бизнесе редко используется только один метод ценообразования.

Ценообразование в кейтеринговом бизнесе, особенно в специфических условиях вахтовых городков, имеет свои уникальные особенности. Эти особенности обусловлены специфическими факторами, влияющими на формирование ценовой политики, включая удаленность объектов, нестабильность спроса, требования к качеству услуг и другие аспекты:

1. Влияние удаленности и логистики: вахтовые городки часто расположены в отдаленных и труднодоступных районах, что существенно влияет на затраты на доставку продуктов и оборудования. Логистические расходы могут значительно увеличивать себестоимость предоставляемых услуг. Кроме того, сезонные и погодные условия могут осложнять транспортировку, требуя дополнительных затрат на хранение и обеспечение бесперебойного снабжения. К примеру, в северных регионах с суровыми климатическими условиями доставка продуктов может быть возможна только в определенные сезоны, что требует создания запасов и увеличивает расходы на хранение.

2. Нестабильность спроса и планирование ресурсов: количество работников в вахтовых городках может варьироваться в зависимости от этапа проекта, сезона или других факторов. Эта нестабильность спроса усложняет планирование и управление ресурсами, включая персонал, запасы продуктов и оборудование. Компании должны быть готовы к быстрому масштабированию или сокращению объемов услуг, что влияет на ценообразование. Во время пиковых нагрузок может потребоваться привлечение дополнительного персонала или аренда оборудования, что увеличивает затраты и, соответственно, цены на услуги.

3. Высокие требования к качеству и безопасности: работники вахтовых городков часто заняты в тяжелых и опасных условиях, что предъявляет повышенные требования к качеству питания, санитарным нормам и безопасности услуг. Соответствие этим требованиям может увеличивать себестоимость услуг, что необходимо учитывать при формировании цен. Необходимость соблюдения строгих санитарных норм может потребовать дополнительных инвестиций в обучение персонала и приобретение специализированного оборудования.

4. Ограниченная конкуренция и монополия: в отдаленных вахтовых городках количество поставщиков кейтеринговых услуг может быть ограничено, что снижает уровень конкуренции. Однако заказчики, особенно крупные компании, могут обладать значительной рыночной властью (монополия), диктуя условия и цены. Это создает необходимость балансировать между обеспечением прибыльности и удовлетворением требований клиентов. Крупная нефтяная компания может быть единственным заказчиком в регионе, устанавливая жесткие условия и ограничивая возможности повышения цен.

5. Долгосрочные контракты и фиксированные цены: в кейтеринговом бизнесе для вахтовых городков часто практикуются долгосрочные контракты с фиксированными ценами. Это позволяет обеспечить стабильность и прогнозируемость доходов, но также несет риски, связанные с изменением затрат на протяжении срока действия контракта. Компании должны учитывать возможные колебания цен на сырье, топлива и другие ресурсы при установлении цен. Резкий рост цен на продукты питания или топливо может снизить маржинальность услуг, если цены были зафиксированы без учета таких рисков.

6. Необходимость адаптации меню и услуг: работники вахтовых городков могут иметь разнообразные предпочтения и диетические требования, что требует гибкости в формировании меню и предоставлении дополнительных услуг. Адаптация услуг под потребности клиентов может увеличить затраты, что должно быть отражено в ценовой политике. Предоставление специализированного питания для работников с особыми диетическими потребностями может потребовать дополнительных ресурсов и увеличить себестоимость.

Ценообразование в кейтеринговом бизнесе для вахтовых городков является сложным и многогранным процессом, учитывающим специфические условия работы. Компании должны тщательно анализировать факторы, влияющие на себестоимость и спрос, чтобы устанавливать цены, обеспечивающие конкурентоспособность и устойчивую прибыльность.

Ценообразование в кейтеринговом бизнесе, особенно в условиях вахтовых городков, сопряжено с рядом специфических проблем и вызовов:

1. Высокие и нестабильные операционные затраты: операционная деятельность в отдаленных регионах вахтовых городков связана с повышенными расходами на логистику, хранение продуктов и обеспечение бесперебойного снабжения. Непредсказуемые колебания цен на топливо, продукты питания и другие ресурсы могут значительно влиять на себестоимость услуг, что усложняет стабильное ценообразование.

Причины:

- логистические сложности: отдаленность и труднодоступность объектов увеличивают затраты на доставку и требуют дополнительных инвестиций в инфраструктуру.
- колебания цен на сырье: нестабильность цен на продукты питания и топливо влияет на общие затраты компании.

Резкое повышение цен на топливо увеличивает транспортные расходы, что приводит к росту себестоимости услуг и снижению маржинальности.

2. Ограниченная гибкость ценовой политики из-за долгосрочных контрактов: заключение долгосрочных контрактов с фиксированными ценами обеспечивает стабильность доходов, но ограничивает возможность оперативно реагировать на изменения рыночных условий и затрат. Это может привести к снижению прибыльности при росте операционных расходов.

Причины:

- фиксированные условия контрактов: отсутствие механизмов пересмотра цен в случае изменения затрат.
- длительные сроки контрактов: невозможность адаптации ценовой политики к текущим рыночным условиям.

При заключении контракта на три года без учета инфляции и роста цен на сырье, компания может столкнуться с уменьшением прибыли.

3. Высокая зависимость от ограниченного числа крупных клиентов: в вахтовых городках основными клиентами являются крупные корпорации, что создает риск зависимости от небольшого числа заказчиков. Такая ситуация может привести к диктату условий со стороны клиентов и снижению ценовой маржи.

Причины:

- монополия: наличие одного или нескольких крупных заказчиков, обладающих рыночной властью.
- ограниченный рынок: невозможность диверсификации клиентской базы в

специфических регионах.

Единственный крупный заказчик требует снижения цен, используя свою рыночную власть, что снижает прибыльность компании.

4. Сложности в прогнозировании спроса и планировании ресурсов: нестабильность численности персонала в вахтовых городках затрудняет прогнозирование спроса на кейтеринговые услуги, что влияет на эффективность планирования и управления ресурсами.

Причины:

- колебания численности работников: изменения в проектах и сезонные факторы влияют на количество обслуживаемых сотрудников.
- непредсказуемость проектов: изменения в графиках и объемах работ влияют на потребность в услугах.

Внезапное сокращение численности персонала на объекте приводит к избыточным запасам продуктов и снижению эффективности использования ресурсов.

5. Необходимость соблюдения высоких стандартов качества при ограниченных ресурсах: обеспечение высокого качества услуг в условиях ограниченных ресурсов и удаленности объектов требует дополнительных затрат, что влияет на ценообразование и конкурентоспособность.

Причины:

- строгие требования клиентов: крупные компании предъявляют высокие стандарты к качеству и безопасности услуг.
- ограниченность местных ресурсов: недостаток квалифицированного персонала и инфраструктуры в отдаленных регионах.

Необходимость привлечения квалифицированного персонала из других регионов увеличивает затраты на оплату труда и логистику.

Проблемы в ценообразовании ТОО «Адани-Кейтеринг» обусловлены специфическими условиями работы в вахтовых городках, включая высокие и нестабильные затраты, ограниченную гибкость ценовой политики, зависимость от крупных клиентов, сложности в прогнозировании спроса и необходимость поддержания высоких стандартов качества. Для повышения эффективности ценообразования необходимо разработать адаптивные стратегии, учитывающие эти факторы и позволяющие гибко реагировать на изменения рыночной среды.

Анализ показателей маржинальности позволяет оценить эффективность деятельности компании и её конкурентоспособность на рынке.

Маржа (Маржинальный доход): разница между выручкой от реализации услуг и переменными затратами на их оказание. Этот показатель отражает сумму, остающуюся для покрытия постоянных затрат и формирования прибыли.

Коэффициент маржинальности: отношение маржинального дохода к выручке, выраженное в процентах. Он показывает долю выручки, остающуюся после покрытия переменных затрат, и является индикатором прибыльности компании. [10]

На маржинальность ТОО «Адани-Кейтеринг» влияют следующие факторы:

- эффективность управления затратами: контроль и оптимизация переменных затрат позволяют поддерживать стабильную маржинальность.
- ценовая политика: установление цен, учитывающих рыночные условия и издержки, способствует сохранению прибыльности.
- объём продаж: рост выручки при стабильных затратах может привести к увеличению маржинальности.
- конкурентная среда: высокая конкуренция может оказывать давление на цены и снижать маржинальность.

Для улучшения показателей маржинальности ТОО «Адани-Кейтеринг» рекомендуется:

- оптимизация затрат: пересмотр процессов закупок, снижение издержек на логистику и хранение продуктов.
- дифференциация услуг: предложение дополнительных услуг или улучшение качества существующих для обоснования более высокой цены.

- анализ ассортимента: выявление наиболее прибыльных услуг и концентрация усилий на их продвижении.

- повышение эффективности операций: внедрение технологий и обучение персонала для повышения производительности и снижения затрат.

Для снижения себестоимости услуг и повышения маржинальности рекомендуется:

- анализ и пересмотр логистических процессов: оптимизация маршрутов доставки, выбор надежных поставщиков и использование современных технологий управления цепочками поставок могут снизить транспортные и складские расходы.

- внедрение систем контроля за расходом ресурсов: использование автоматизированных систем учета и контроля позволит уменьшить перерасход продуктов и других материалов, что снизит переменные затраты.

- обучение и мотивация персонала: повышение квалификации сотрудников и внедрение систем мотивации могут улучшить производительность труда и качество предоставляемых услуг, что положительно скажется на удовлетворенности клиентов и финансовых показателях компании.

Для обеспечения адаптивности ценовой политики в условиях изменяющихся рыночных условий рекомендуется:

- введение скользящих ценовых условий в контрактах: предусмотрение в договорах с клиентами возможности корректировки цен в случае значительных изменений затрат на сырье, топливо или другие ключевые ресурсы позволит поддерживать прибыльность компании.

- дифференциация цен в зависимости от объема и условий обслуживания: предоставление скидок за крупные заказы или долгосрочное сотрудничество может стимулировать клиентов к увеличению объемов потребления услуг и укреплению партнерских отношений.

- разработка дополнительных пакетов услуг: предложение клиентам дополнительных опций, таких как улучшенные условия проживания или расширенное меню, позволит увеличить средний чек и удовлетворить разнообразные потребности заказчиков.

Для снижения зависимости от ограниченного числа крупных клиентов и обеспечения устойчивости бизнеса рекомендуется:

- расширение спектра услуг и выход на новые рынки: предоставление кейтеринговых услуг не только в вахтовых городках, но и в других сегментах рынка, таких как корпоративные мероприятия или общественное питание, позволит диверсифицировать доходы и снизить риски.

- активный маркетинг и продвижение бренда: участие в отраслевых выставках, реклама в специализированных изданиях и использование цифровых каналов продвижения помогут привлечь новых клиентов и повысить узнаваемость компании.

- разработка программ лояльности для существующих клиентов: предоставление бонусов, скидок или других привилегий для постоянных заказчиков будет способствовать укреплению долгосрочных отношений и повышению стабильности доходов.

Для оперативного реагирования на изменения в финансовых показателях и принятия обоснованных управленческих решений рекомендуется:

- создание системы регулярного мониторинга маржинальности: постоянный анализ показателей маржинальности по различным направлениям деятельности позволит выявлять отклонения и принимать меры по их корректировке.

- использование современных информационных систем для учета и анализа данных: внедрение специализированного программного обеспечения облегчит сбор, обработку и визуализацию финансовой информации, что повысит качество управленческих решений.

- проведение регулярных аудитов и бенчмаркинга: Сравнение показателей компании с отраслевыми стандартами и лучшими практиками позволит выявлять области для улучшения и внедрять передовые методы управления.

Для укрепления конкурентных позиций и обеспечения устойчивого роста

рекомендуется:

- внедрение систем управления качеством: сертификация по международным стандартам, таким как ISO 9001, повысит доверие клиентов и улучшит внутренние процессы компании.

- сбор и анализ обратной связи от клиентов: регулярное получение отзывов и предложений от заказчиков позволит оперативно реагировать на их потребности и повышать качество услуг.

- обучение персонала навыкам клиентского сервиса: развитие у сотрудников коммуникативных навыков и ориентации на клиента улучшит взаимодействие с заказчиками и повысит их удовлетворенность.

Реализация предложенных мероприятий по совершенствованию ценовой политики позволит повысить эффективность деятельности компании, укрепить ее позиции на рынке кейтеринговых услуг и обеспечить устойчивый рост в долгосрочной перспективе.

Список литературы

1. Котлер Ф. Основы маркетинга. – М.: Вильямс, 2021.
2. Портер М. Конкурентная стратегия. – М.: Альпина Паблшер, 2020.
3. Smith J. Catering Business Pricing Strategies. – New York: Business Press, 2019.
4. Тарасевич В.М. Ценовая политика предприятия. СПб: Питер, 2014.- С. 272
5. И. И. Захарова, Р. В. Крылова. Механизмы и стратегии ценообразования в индустрии питания. <file:///C:/Users/User/Downloads/mehanizmy-i-strategii-tsenoobrazovaniya-v-industrii-pitaniya.pdf>
6. Ким, И.Д. (2015). Многоуровневая модель ценообразования меню сетевого предприятия на рынке общественного питания. Российское предпринимательство, 16(20), 3599–3610. doi: 10.18334/rp.16.20.2006 <file:///C:/Users/User/Downloads/mnogourovnevaya-model-tsenoobrazovaniya-menyu-setevogo-predpriyatiya-na-rynke-obschestvennogo-pitaniya.pdf>
7. Ардамакова Д.С. Ценообразование в сфере общественного питания. <file:///C:/Users/User/Downloads/tsenoobrazovanie-v-sfere-obschestvennogo-pitaniya.pdf>

Д.С.Коптлеуов

Алматы Менеджмент Университеті, Алматы, Қазақстан

КЕЙТЕРИНГ ҚЫЗМЕТТЕРІ НАРЫҒЫНДА КӘСІПОРЫННЫҢ БАҒА САЯСАТЫН ДАМУ

Аннотация. Мақалада вахталық қалашықтардағы кейтеринг қызметтері саласындағы баға қалыптастыру мәселелері қарастырылады. «Адани-Кейтеринг» ЖШС кәсіпорнында қолданылатын баға қалыптастыру әдістері, баға саясатына әсер ететін факторлар талданады, сондай-ақ негізгі проблемалар мен оларды шешу жолдары анықталады.

Түйінді сөздер: баға қалыптастыру, кейтеринг, баға саясаты, маржиналдылық, бәсекелестік, баға қалыптастыру әдістері.

D.S. Koptleuov

Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF ENTERPRISE PRICING POLICY IN THE CATERING SERVICES MARKET

Abstract. The article examines pricing issues in the field of catering services in rotational camps. It analyzes the pricing methods used by "Adani-Catering" LLP, the factors influencing pricing policy, and identifies key problems and ways to solve them.

Keywords: pricing, catering, pricing policy, margin, competition, pricing methods.

МАЗМҰНЫ

1-БӨЛІМ. МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ ҰҢҒЫМАЛАРЫН ИГЕРУ ЖӘНЕ БҰРҒЫЛАУ, ГЕОЛОГИЯ МӘСЕЛЕЛЕРІ	3
<i>Сулейменова Р.Т., Шаяхметова Ж.Б., Сәрсен Ж.Б., Батырханова Ж.Н.</i>	
ӨЗЕН КЕНОРНЫНЫҢ НЕГІЗГІ МҰНАЙ ҚАБАТТАРДЫ ИГЕРУДІ ТАЛДАУ	3
<i>Шаяхметова Ж.Б., Сәрсен Ж.Б., Жолмырзаева Н., Асылбекова С., Исмурзина Ф.А.</i>	
ӨТКІЗГІШТІКТІ ИЗОЛЯЦИЯЛАУ БОЙЫНША ӨНДІРІСТІК-СЫНАҚ ЖҰМЫСТАРЫН ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІ (ҚҰМКӨЛ КЕН ОРНЫ)	12
<i>Садықбек Қ.Е., Еспусинова А.С., Құттыбаев С.А., Чинтасова Г.М., Кустанов М.С., Тулегенова О.Ш.</i>	
МҰНАЙ-ГАЗ САЛАСЫНДАҒЫ ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ҮШІН РҮТНОН ПАЙДАЛАНУ ҚАЖЕТТІЛІГІНІҢ НЕГІЗДЕМЕСІ	21
<i>Рысбеков А. М.</i>	
ГОРИЗОНТАЛДЫ БҰРҒЫЛАУ КЕЗІНДЕ ОПТИМАЛДЫ БҰРЫШТЫ АНЫҚТАУ: БАЛАМА ЕСЕПТЕУ ӘДІСІ	30
<i>Есенжолов Д.М., Мецзякова Д.И., Молдабаева Г. Ж., Сулейменова Р.Т.</i>	
ҰҢҒЫМА ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН ПЕТРОФИЗИКАЛЫҚ, МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ ФАКТОРЛАРДЫ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП КЕШЕНДІ ТАЛДАУ	40
<i>Есенжолов Д.М., Мецзякова Д.И., Молдабаева Г. Ж., Сулейменова Р.Т.</i>	
КАСПИЙ ТЕҢІЗІНДЕГІ ШЕЛЬФТІК КЕН ОРЫНДАРЫНДА БҰРҒЫЛАУ МЕН ӨНДІРУ САЛАСЫНДАҒЫ ЖАБДЫҚТАРДЫ ЖЕРГІЛІКТЕНДІРУ БОЙЫНША ЗЕРТТЕУ	47
<i>Ержан Б.Ә., Измагамбетов А.З.</i>	
КӨЛБЕУ-БАҒЫТТАЛҒАН БҰРҒЫЛАУ КЕЗІНДЕ БҰРҒЫЛАУ КОЛОННАСЫНЫҢ КЕПТЕЛУ ЖАҒДАЙЛАРЫН ТАЛДАУ: СЕБЕПТЕРІ, АЛДЫН АЛУ ЖӘНЕ ШЕШУ ЖОЛДАРЫ	53
2-БӨЛІМ. МҰНАЙХИМИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ МӘСЕЛЕЛЕРІ	58
<i>Ғабдысамат Б.Ғ., Есиркепова М.М.</i>	
ҚОСПАЛАРДЫҢ ДИЗЕЛЬ ОТЫНЫНЫҢ ТӨМЕН ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ	58
<i>Досмагамбетова М.К., Құлбатыров Д.К., Жақсиева Г.Р., Құлқайрова А.Б., Ауғанбаев А.А., Қусманова Ж.Х., Бисенкулов Д.</i>	
ЖОЛ ТАҢБАЛАУ МАТЕРИАЛДАРЫН ӨНДІРУ ҮШІН ҚАЙТА ӨНДЕЛГЕН ПЛАСТИКТІ ПАЙДАЛАНУ	62
<i>Гилязов Е.Г., Құлбатыров Д.К., Амир Д.А., Гилязов М.Ф., Кузнецова Н.В.</i>	
ИЗОБУТИЛОВОГО СПИРТІ МЕН ДИМЕТИЛЭТИНИЛКАРБИНОЛДЫҢ ТІКЕЛЕЙ АЙДАУДАН АЛЫНҒАН БЕНЗИННІҢ ОКТАН САНЫН АРТТЫРУ ТИІМДІЛІГІ	69
<i>Сағынаев А.Т., Ибрашева Ә. Н., Қуанышева А.Н.</i>	
МЕТАНДЫ ОКСИКОНДЕНСАЦИЯЛАУ РЕАКЦИЯСЫН ЖАҒАНДЫҚ ОҢТАЙЛАНДЫРУ	78
<i>Әбілхайыр А.И., Тилегенов А.А.</i>	
МҰНАЙ ӨНДЕУ ЗАУЫТЫНДА МҰНАЙДЫҢ АУЫР ҚАЛДЫҚТАРЫН ҰТЫМДЫ ПАЙДАЛАНУ ЖОЛДАРЫ	84
<i>Молдажанова Ж.Е., Қалауова А.С.</i>	88
СИНТЕТИКАЛЫҚ КОМПОНЕНТТІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, МОТОР МАЙЛАРЫНЫҢ САПАСЫН ЖАҚСАРТУДЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ	
<i>Молдажанова Ж.Е., Қалауова А.С.</i>	104
ЖАСЫЛ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚОЛДАНЫЛҒАН МОТОР МАЙЫН ҚАЙТА ӨНДЕУ	

3-БӨЛІМ. ЭНЕРГЕТИКА, КӨЛІК ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС МӘСЕЛЕЛЕРІ	110
<i>Жұмамұхамбетов Н. Г., Ербаев Е. Т., Жапарова Д. А.</i>	
ҚАЗАҚСТАНДА ЖОБАЛАНАТЫН АТОМ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНДА РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ	110
<i>Гизатулла Т.Г.</i>	116
ЭНЕРГОТИІМДІ ҚҰРЫЛЫСТЫҢ ҚАЗАҚСТАННЫҢ КӨМІРТЕГІ ІЗІНЕ ӘСЕРІ: СЦЕНАРИЙЛІК ТАЛДАУ	
<i>Мажитов Е.Б., Шаукенев Д.Ж.</i>	120
ЖОЛ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ САПАСЫНЫҢ ӘСЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖОЛ ҚҰРЫЛЫСЫНДА	
4-БӨЛІМ. АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ ФИЗИКАЛЫҚ-МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР	129
<i>Бекмағамбетов С.С.</i>	
ГАЗДЫ СЕРОВОДОРОД ЖӘНЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗДАН ОЧИСТАУ ӘДІСТЕРІ	129
<i>Жанай М.</i>	
БҮЛДІРЕК ЖАҒДАЙЛАРДАҒЫ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУҒА АРНАЛҒАН МОНТЕ-КАРЛО ӘДІСІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ	134
5-БӨЛІМ. ЭКОНОМИКА ЖӘНЕ ӘЛЕУМЕТТІК-ГУМАНИТАРЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР	143
<i>Коптлеуов Д.С.</i>	
КЕЙТЕРИНГ ҚЫЗМЕТТЕРІ НАРЫҒЫНДА КӘСІПОРЫННЫҢ БАҒА САЯСАТЫН ДАМУ	143

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ, БУРЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН	3
<i>Сулеменова Р.Т., Шаяхметова Ж.Б., Сәрсен Ж.Б., Батырханова Ж.Н.</i>	
АНАЛИЗ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНЫХ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗЕНЬ	3
<i>Шаяхметова Ж.Б., Сәрсен Ж.Б., Жолмырзаева Н., Асламбекова С., Исмурзина Ф.А.</i>	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ РАБОТ ПО ИЗОЛЯЦИИ ВОДОПРИТОКА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КУМКУЛЬ	12
<i>Садықбек Қ.Е., Еспусинова А.С., Құттыбаев С.А., Чинтасова Г.М., Кустанов М.С., Тулегенова О.Ш.</i>	
ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РҮТНОН ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	21
<i>Рыспеков А. М.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ БУРЕНИИ: АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ РАСЧЕТНЫЙ ПОДХОД	30
<i>Есенжолов Д.М., Мецзякова Д.И., Молдабаева Г.Ж., Сулейменова Р.Т.</i>	
КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СКВАЖИН С УЧЁТОМ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	40
<i>Есенжолов Д.М., Мецзякова Д.И., Молдабаева Г.Ж., Сулейменова Р.Т.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ В БУРЕНИИ И ДОБЫЧИ НА ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ	47
<i>Ержан Б.Ә., Измагамбетов А.З.</i>	
АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ ПРИХВАТОВ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ В НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ: ПРИЧИНЫ, ПРОФИЛАКТИКА И СТРАТЕГИИ УСТРАНЕНИЯ	53
ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕХИМИИ И ЭКОЛОГИИ	58
<i>Габдысамат Б.Г., Есиркепова М.М.</i>	
ВОЗДЕЙСТВИЕ ДОБАВОК НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА	58
<i>Досмагамбетова М.К., Кулбатыров Д.К., Жаксиева Г.Р., Кулкайрова А.Б., Ауганбаев А.А., Кусманова Ж.Х., Бисенкулов Д.</i>	62
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТАННОГО ПЛАСТИКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАТЕРИАЛОВ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ	
<i>Гилязов Е.Г., Кулбатыров Д.К., Амир Д.А., Гилязов М.Ф., Кузнецова Н.В.</i>	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗОБУТИЛОВОГО СПИРТА И ДИМЕТИЛЭТИНИЛКАРБИНОЛА НА ПОВЫШЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА ПРЯМОГОННОГО БЕНЗИНА	69
<i>Сагинаев А.Т., Ибрашева Ә.Н., Қуанышева А.Н.</i>	78
ГЛОБАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕАКЦИИ ОКСИКОНДЕНСАЦИИ МЕТАНА	
<i>Абилхайров А.И., Тилегенов А.А.</i>	84
СПОСОБЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ОТХОДОВ НЕФТИ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ	
<i>Молдажанова Ж.Е., Калауова А.С.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ С ПОМОЩЬЮ СИНТЕТИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА	88
<i>Молдажанова Ж.Е., Калауова А.С.</i>	104
ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДЯЩЕГО МОТОРНОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	

ГЛАВА 3. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ, ТРАНСПОРТА И СТРОИТЕЛЬСТВА	110
<i>Джумамухамбетов Н.Г., Ербаев Е.Т., Джапарова Д.А.</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОЕКТИРУЕМОЙ В КАЗАХСТАНЕ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	110
<i>Т.Г.Гизатулла</i>	
ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД КАЗАХСТАНА: СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ	110
<i>Мажитов Е.Б., Шаукенев Д.Ж.</i>	120
АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ КАЗАХСТАНА	
ГЛАВА 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ	129
<i>Бекмагамбетов С.С., Шабдиров Д.Н.</i>	129
ОБЗОР МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	
<i>Жанай М.</i>	
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ	134
ГЛАВА 5. ЭКОНОМИКА И СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ	143
<i>Коптлеуов Д.С.</i>	
РАЗРАБОТКА ЦЕНОВОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА РЫНКЕ КЕЙТЕРИНГОВЫХ УСЛУГ	143

CONTENTS

CHAPTER 1. PROBLEMS OF GEOLOGY, DRILLING AND DEVELOPMENT OF OIL AND GAS WELLS	3
<i>Suleimenova R.T., Shayakhmetova Zh. B., Sarsen Zh. B., Batyrkhanova Zh. N.</i> ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE MAIN OIL RESERVOIRS OF THE UZEN FIELD	3
<i>Shayakhmetova Zh. B., Sarsen Zh. B., Zholmyrzaeva N., Assylbekova S., Ismurzina F.A.</i> EFFECTIVENESS OF PILOT-INDUSTRIAL WORKS ON WATER INFLOW ISOLATION AT KUMKOL FIELD	12
<i>Садықбек Қ.Е., Еспусинова А.С., Құттыбаев С.А., Чинтасова Г.М., Құстанов М.С., Тулегенова О.Ш.</i> JUSTIFICATION OF THE NEED TO USE PYTHON FOR DATA PROCESSING AND ANALYSIS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY	21
<i>A. M. Ryspekov</i> DETERMINATION OF THE OPTIMAL ANGLE IN HORIZONTAL DRILLING: AN ALTERNATIVE CALCULATION APPROACH	30
<i>Yessenzholov D.M., Mechsheryakova D.I., Moldabaeva G.Z., Suleimenova R.T.</i> COMPREHENSIVE ANALYSIS OF WELLBORE STABILITY CONSIDERING PETROPHYSICAL, MECHANICAL AND GEOMECHANICAL FACTORS	40
<i>Yessenzholov D.M., Mechsheryakova D.I., Moldabaeva G.Z., Suleimenova R.T.</i> RESEARCH ON EQUIPMENT LOCALIZATION IN OFFSHORE DRILLING AND PRODUCTION AT THE CASPIAN SEA FIELDS	47
<i>Yerzhan B. A., Izmagambetov A. Z.</i> ANALYSIS OF DRILL STRING STUCK PIPE INCIDENTS IN DIRECTIONAL DRILLING: CAUSES, PREVENTION, AND REMEDIATION STRATEGIES	53
CHAPTER 2. PROBLEMS OF PETROCHEMISTRY AND ECOLOGY	58
<i>Gabdyssamat B.G., Esirkepova M.M.</i> THE EFFECT OF ADDITIVES ON THE LOW-TEMPERATURE PROPERTIES OF DIESEL FUEL	58
<i>Dosmagambetova M.K., Kulbatyrov D.K., Zhakseyeva G.R., Kulkairova A.B., Auganbaev A.A., Kusmanova Zh.H., Bisenkulov D.</i> USE OF RECYCLED PLASTIC FOR THE PRODUCTION OF ROAD MARKING MATERIALS	62
<i>Gilazhov Y.G., Kulbatyrov D.K., Amir D.A., Gilazhov M.F.², Kuznetsova N.V.¹</i> EFFECTIVENESS OF ISOBUTYL ALCOHOL AND DIMETHYLETHYNYLCARBINOL ON INCREASE OF OCTANE NUMBER OF STRAIGHT-RUN GASOLINE	69
<i>Saginayev A.T., Ibrasheva A.N., Kuanysheva A.N.</i> GLOBAL OPTIMISATION OF METHANE OXYCONDENSATION REACTION	78
<i>Abilkhairov A. I., Tilegenov A. A.</i> WAYS OF RATIONAL USE OF HEAVY OIL WASTE AT AN OIL REFINERY	84
<i>Moldazhanova Zh. E., Qalauova A.I. S</i> RESEARCH ON CHEMICAL METHODS TO IMPROVE THE QUALITY OF MOTOR OILS USING A SYNTHETIC COMPONENT	88
<i>Moldazhanova Zh. E., Qalauova A.S.</i> RECYCLING OF USED ENGINE OIL USING GREEN TECHNOLOGY APPROACH	104

CHAPTER 3. PROBLEMS OF ENERGY, TRANSPORT AND CONSTRUCTION

110

Dzhumamukhambetov N.G., Yerbayev E.T., Dzhaparova D.A.

ENSURING RADIATION SAFETY AT A NUCLEAR POWER PLANT BEING
DESIGNED IN KAZAKHSTAN

110

Gizatulla T.G.

116

THE IMPACT OF ENERGY-EFFICIENT CONSTRUCTION ON KAZAKHSTAN'S
CARBON FOOTPRINT: SCENARIO ANALYSIS

Mazhitov E.B., Shaukenov D.

120

ANALYSIS OF THE IMPACT OF QUALITY OF ROAD MATERIALS AND THE USE
OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF ROADS IN
KAZAKHSTAN

**CHAPTER 4. INFORMATION TECHNOLOGIES AND PHYSICAL AND
MATHEMATICAL SCIENCES**

129

Bekmagambetov S.S., Shabdirov D.N.

REVIEW OF METHODS OF GAS PURIFICATION FROM HYDROSULPHYGENES
AND CURBON GAS

129

Zhanay M.

134

A Monte Carlo-based Information System for Investment Decision-Making under Fuzzy
Conditions

CHAPTER 5. ECONOMICS AND SOCIAL AND HUMANITIES

143

Koptleuov D.S.

DEVELOPMENT OF ENTERPRISE PRICING POLICY IN THE CATERING
SERVICES MARKET

143

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакционная коллегия просит авторов при подготовке статей для опубликования в журнале руководствоваться следующими правилами.

Условия размещения публикаций в журнале

Для публикации принимаются статьи на казахском, русском и английском языках, содержащие ранее не опубликованные проблемные, обзорные, дискуссионные статьи в области естественных и технических наук, где освещаются результаты фундаментальных и прикладных исследований. А также публикуются рецензии, хроники научной жизни и мн. др.

К оформлению статей предъявляются следующие требования

Объем статьи, включая список литературы, таблицы и рисунки с подрисуночными надписями, аннотации, не должен превышать 15 страниц печатного текста. Минимальный объем статьи для технических направлений — 5 страниц, естественных — 3 страницы. В редакцию необходимо представить электронную версию статьи в полном соответствии с распечаткой. Имя файла должно начинаться фамилией первого автора на латинице (например, Ivanov.doc(rtf)); Страницы статьи должны быть пронумерованы. Указывается код по УДК.

Текст должен быть набран в программе Word любой версии, представляется на CD или другом носителе либо отправляется по электронной почте vestnik@aogu.edu.kz.

Шрифт текста — Times New Roman, размер кегля 12 пт, межстрочный интервал — одинарный. Выравнивание по ширине.

Абзацный отступ — 1,25 см. Поля верхнее — 2, нижнее — 2, левое — 2, правое — 2. Гарнитура нормальная. В таблицах, рисунках, формулах не должно быть разночтений в обозначении символов, знаков. Рисунки должны быть четкими, чистыми. На рисунки и таблицы в тексте должны быть ссылки.

В тексте число формул должно быть минимальным. Формулы должны быть набраны в соответствующем редакторе (для математических и химических формул). Таблицы должны быть озаглавлены, не допускается наличия в них пустых граф. Условные сокращения и символы следует пояснять в примечании. Иллюстративные материалы представляются в форматах: для фото, рисунков — tiff или jpeg (300 dpi для черно-белых и цветных); графики, диаграммы. На обороте рисунка или под ним указывается фамилия автора, название статьи и номер рисунка. Иллюстрации могут размещаться по тексту. Подрисуночные подписи даются отдельным списком, в конце статьи. В конце статьи рукопись подписывается всеми авторами.

Список литературы должен оформляться в соответствии с ГОСТ 7.1–2003

«Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Ссылки на источники в тексте статьи даются только в квадратных скобках (без цитирования [12], при цитировании или пересказе авторского текста [12, с. 29]). Нумерация ссылок в статье производится по порядковому номеру источника в пристатейном списке литературы. Архивные материалы в список не включаются, ссылки на них помещаются в тексте в круглых скобках. При использовании в статье источников из электронных ресурсов или удаленного доступа (Интернета) в списке литературы приводится библиографическая запись источника и ссылка на сетевой ресурс с полным сетевым адресом в Интернете.

Например (библиографические сведения условны):

Для книг: Фамилии и инициалы авторов. Заглавие. — Сведения о повторности издания.

— Место издания: Издательство, Год издания. — Количество страниц. Например: Ильин В.А., Позняк Э.Г. Линейная алгебра. — 3-е изд. — М.: Наука, 1984. — 294 с.

Для статей из журналов: Фамилии и инициалы авторов. Название статьи // Заглавие издания. (Серия). — Год издания. — Том. — Номер. — Страницы.

Например: Панчук Д.А., Садакбаева Ж.К., Пуклина Е.А. и др. О структуре межфазного слоя на границе металлическое покрытие–полимерная подложка // Российские нанотехнологии. — 2009. — Т. 4. — № 5-6. — С. 114–120.

Для материалов конференций, сборников трудов и т.д.: Фамилии и инициалы авторов. Название статьи // Заглавие издания: Вид издания. — Место, год издания. — Том. — Номер. — Страницы.

Например: Приходько Н.Г., Лесбаев Б.Т., Ченчик Д.И., Нажипкызы М., Мансуров З.А. Синтез углеродных наноструктур в пламени при низком давлении // VI Международный симпозиум: Физика и химия углеродных материалов/ Наноинженерия. – Алматы, 2010. - С. 135-138.

Список литературы предоставляется на том языке, на котором цитируется статья. Сведения об авторах

К рукописи прилагаются:

- 1) справка о каждом из авторов статьи с указанием фамилии, имени, отчества; ученой степени; ученого звания; основного места работы; должности; домашнего, служебного или мобильного телефонов; электронного и почтового адресов (для связи с редакцией);
- 2) для магистрантов, аспирантов и соискателей — выписка из протокола заседания кафедры, заверенная в деканате и руководителем темы;
- 3) информация о том, кому из соавторов следует адресовать вопросы ответ.редактора и/или направлять корректуру.

Все статьи, поступившие в редакцию, рецензируются.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла статьи.

Статьи публикуются по мере поступления.

Схематический пример оформления статьи

УДК
МРНТИ

В. Борисов, И.Утепов, С.Ранова

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

E-mail: v.borISOV@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ НПЗ НА ЭКОСИСТЕМУ РЕГИОНА

Аннотация.

Ключевые слова:

Текст статьи.

Список литературы

В конце статьи приводится ФИО авторов, название статьи и аннотация на казахском (русском), английском языках (размер шрифта на кегель меньше, чем основной).

Ответственность за содержание материала несут авторы.

С уважением, редакция научного журнала «Вестник АУНГ».

С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай газ университетінің хабаршысы
Ғылыми журнал

Материалдарды компьютерде беттеп, баспадан шығарған Атырау мұнай және газ
университетінің Баспа орталығы.
Басуға 29.04.2025ж. қол қойылды.
Пішімі А4. Көлемі 16,29 б.т. Таралымы 100 дана.

Вестник Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева
Научный журнал

Верстано и тиражировано в Издательском центре Атырауского университета нефти и газа.
Подписано в печать 29.04.2025 г.
Формат А4. Объем 16,29 п.л. тираж 100 экз.